

# SUSTITUCION DE LOS ACEROS AL Cr-Ni, EN LAS ARMAS AUTOMATICAS POR ACEROS AL MAN- GANESO

POR

MARIA TERESA RUBIO REYNOSO

ESTA TESIS COMPRENDE LAS PARTES SIGUIENTES

- 1.º *Antecedentes.*
- 2.º *Estudio general de los aceros al Mn.*
- 3.º *Descripción de los Laboratorios mecánicos metalográficos.*
- 4.º *Estudio completo del acero al Cr-Ni.*
- 5.º *Estudio de diferentes aceros al Mn.*
- 6.º *Resultados.*

## PRIMERA PARTE.—ANTECEDENTES

La contienda actual que determina innumerables dificultades en la importación de materias primas, ha emplazado a los técnicos de todos los países a la resolución de multitud de problemas relacionados con la sustitución de ciertas primeras materias, por otras de más fácil adquisición y que se encuentran en el suelo nacional en cantidades suficientes para satisfacer sus necesidades.

Consecuencia de la escasez de cromo-niquel, metales que dan a los aceros características mecánicas excelentes para su empleo en la construcción de armas automáticas, ha habido que pensar en las fábricas de armamento en la sustitución por otros elementos que, abundando en el mercado nacional, den a los aceros características aproximadas a los primeros consiguiendo previo tratamiento térmico adecuadas cifras mecánicas dentro de límites aceptables.

Los órganos de las máquinas que no requieren cifras de dureza muy elevada y no precisan por tanto tratamiento térmico, son fácilmente sustituíbles por aceros al carbono de buena calidad; no ocurre lo mismo con las piezas que por la clase de esfuerzo a que durante el funcionamiento del arma están sometidas, exigen altas cifras de dureza, resiliencia y tracción, que únicamente elementos especiales pueden proporcionar.

El elemento que cumple mejor las condiciones que anteceden es el manganeso, y por lo mismo a esta categoría de aceros orientamos preferentemente nuestras investigaciones sobre el particular.

## SEGUNDA PARTE.—ESTUDIO GENERAL DE LOS ACEROS AL MANGANESO

La influencia del manganeso en los aceros es muy semejante a la del níquel, elevando considerablemente la resistencia a la tracción con cifras de dureza relativamente bajas.

Los aceros al manganeso se clasifican metalográficamente con arreglo a la riqueza manganeso-carbono en tres grupos:

- 1.º Aceros perlíticos.
- 2.º De constitución martensítica.
- 3.º Austeníticos.

a las que corresponden características mecánicas completamente diferentes.

El diagrama de Guillet pone de manifiesto las estructuras de los tres grupos en estado de recocido.

Vamos ahora someramente a examinar los tres grupos con el

fin de ver en cual de ellos debemos principalmente fijar nuestra atención, para la elección del material que deseamos.

**AUSTENITICOS:** Se incluyen en este grupo aceros que tienen una dosis de manganeso superior al 12 por 100. Su estructura microscópica es la de la austenita pura, semejante a un hierro también puro.

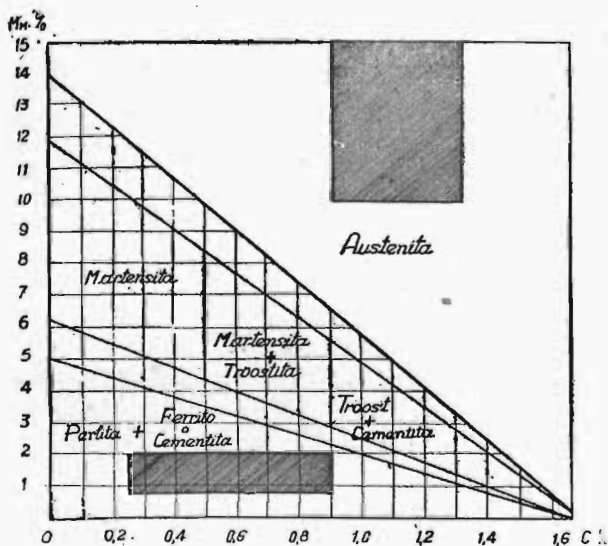


Diagrama de los aceros al manganeso (Guillet)

En este grupo, los aceros poco carburados, no tienen aplicación práctica por no adquirir dureza por el temple, y en cuanto a los de mayor dosis de carbono si bien proporcionan excelentes características mecánicas, alargamiento, resiliencias y resistencia a la tracción, su límite elástico es excesivamente bajo, lo que está en oposición a las condiciones exigidas por los órganos sometidos a esfuerzos de fatiga, en los que el límite elástico ha de estar muy próximo al de rotura y ser además elevado. Esta última cualidad por sí sola hace a los aceros de esta categoría inservibles para los fines propuestos.

**MARTENSITICOS:** Constituyen este grupo aquellos aceros

que contienen una dosis de manganeso entre 5 y 11 por 100, tienen en estado de recocido semejante estructura a los aceros ordinarios templados y esta constitución los hace extremadamente frágiles y difíciles de trabajar, por cuya razón tampoco se prestan a los fines que nosotros perseguimos.

**PERLITICOS:** Forman este grupo los aceros que contienen menos de 3 por 100 de manganeso. Su estructura es la de los aceros ordinarios al carbono en estado de recocido.

Se caracterizan los aceros de este grupo por que el límite elástico y la resistencia a la tracción crecen con el aumento en manganeso bajando, aunque muy poco, el alargamiento y estricción, lo que les hace algo frágiles; la dureza apenas es variada por la dosis en manganeso.

Por el temple se comportan como los aceros ordinarios al carbono, es decir, presentan la estructura martensítica aunque adquiriendo una dureza más elevada y menor resiliencia; con un revenido que hace pasar parte de la martensita a sórbita, aumenta considerablemente la resiliencia perdiendo muy pocas cifras la dureza.

Examinados ya los tres grupos con vista a una posible utilización en las armas automáticas de los materiales comprendidos en ellos deducimos que los que únicamente pueden tener aplicación son los perlíticos por cuya razón comenzamos a preparar muestras de aceros incluidos en esta clasificación para someterlos a tratamientos diversos hasta lograr cifras que se aproximen a las que presentan los aceros al níquel.

Como es sabido que el manganeso proporciona a los aceros mayor fragilidad que el níquel, pensamos en la conveniencia de eliminar, o reducir por lo menos al mínimo, aquellos elementos que entrando como componentes usuales en los aceros les comunican fragilidad; entre éstos destaca el azufre, por cuya razón hemos procurado siempre escoger para nuestros trabajos los aceros muy pobres en este elemento.

Dentro de este grupo, nos propusimos realizar las investiga-

ciones sobre aceros de contenido variable en carbono y manganeso.

Empezamos por preparar cinco aceros, en los cuales la proporción de carbono era prácticamente constante, mientras que la de manganeso variaba según se detalla a continuación.

Su composición química determinada por los métodos que indicamos más adelante era:

(A)—C=0'42 Mn= 0'75 % Si= 0'25. P= 0'04 % S=0'025 %

(B)—C=0'45 % Mn=1'00 % Si= 0'23. % P= 0'034 % S=0'025

(C)—C= 0'39 % Mn= 1'50 % Si= 0'25 % P= 0'05 % S=0'024 %

(D)—C= 0'41 % Mn= 2'0 % Si= 0'20 % P= 0'035 % S=0'028 %

(E)—C= 0'42 % Mn= 2'7 % Si= 0'30 % P= 0'05 % S=0'027 %

Prescindamos del estudio de aceros con menor contenido en carbono, toda vez que aquéllos en que la proporción es inferior a 0'35 por 100, toman con dificultad el temple.

Sobre cada uno de estos aceros llevamos a cabo un estudio completo para poder conocer con precisión la temperatura ideal de recocido, que le coloca en las mejores condiciones de recibir el temple, la temperatura a que debe realizarse éste, y por último la más conveniente a emplear en el revenido.

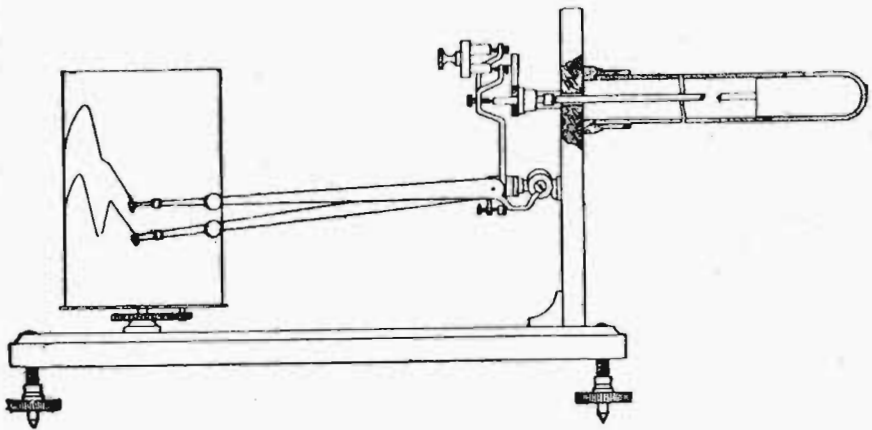
Estas investigaciones sobre recocido, temple y revenido, fueron precedidas de un análisis térmico indispensable para determinar por el conocimiento de los puntos críticos e histeresis, las temperaturas de recocido y temple, y la velocidad de enfriamiento, respectivamente.

A pesar de conocerse ya en la Fábrica el tratamiento a que debía someterse el cromo-niquel para su empleo en la construcción de las piezas objeto de este trabajo, hemos preferido realizar sobre él un estudio completo que no existía, a fin de lograr que el acero capaz de sustituirle, sea semejante a él, no solo a la temperatura en que presentamos las características exigidas, sino, también, a otras distintas con lo cual se afianzaría mucho más su empleo como sustituyente.

### TERCERA PARTE.—DESCRIPCION DEL LABORATORIO MECANICO-METALOGRAFICO

Consta este Laboratorio de dos secciones, integrada la primera por el aparato de análisis térmico y el microscopio metalográfico, y la segunda por la sala de pruebas metalográficas. En esta última se encuentra la máquina de tracción, el péndulo medidor de la resiliencia y la máquina de durezas Rockwell.

ANALIZADOR TERMICO DE CHEVENARD.—Se representa en la figura 2.<sup>a</sup> y consiste en un aparato dilatométrico, que pre-



Analizador térmico CHEVENARD

senta la ventaja de registrar automáticamente a un mismo tiempo dos curvas, una indicadora de tiempos y dilatación y otra de tiempos y temperatura. Los diagramas obtenidos presentan, como todos los aparatos de este género, ordenadas curvilíneas e indican las temperaturas en grados centígrados, y las dilataciones en milésimas de milímetro. Las abscisas señalan tiempos. El aparato consta de un hornito eléctrico de resistencia, un juego de agujas amplificadoras y un tambor que gira uniformemente, donde se coloca el papel registrador. Para medir la temperatura se emplea un pirómetro de dilatación.

Las dilataciones experimentadas por la muestra cuyos puntos

críticos se quieren determinar y la de la muestra testigo, se registran simultáneamente sobre el tambor. Las inflexiones de la curva inferior, (dilatación-tiempo), denuncian los fenómenos críticos y la temperatura a la cual se efectúan se lee en la curva superior, (temperatura-tiempo).

Las transformaciones sufridas por el acero, son claramente denunciadas por las anomalías de la curva. La temperatura a que corresponden estas anomalías, se determinan haciendo coincidir estos puntos sobre la curva, por medio de arcos paralelos a la ordenada de origen. La inflexión en la curva ascendente, corresponde a la transformación Ac, y la de la descendente a la transformación Ar. Si el acero no experimentase ninguna transformación, la marcha de la curva de dilatación sería regular, pero como podemos considerar que cambia de estado, al ir calentando y llegar al punto crítico, se produce un fenómeno de carácter endotérmico o sea que roba calor al horno, enfriándose, por lo que experimenta una contracción, que es la inflexión observada. Este calor latente de transformación es restituído en el enfriamiento, convirtiéndose en fenómeno exotérmico, que origina otra anomalía en la curva descendente que es el punto Ar. Es sabido que estos puntos no se presentan a la misma temperatura, y que la histeresis originada aumenta con la cantidad del elemento especial agregado.

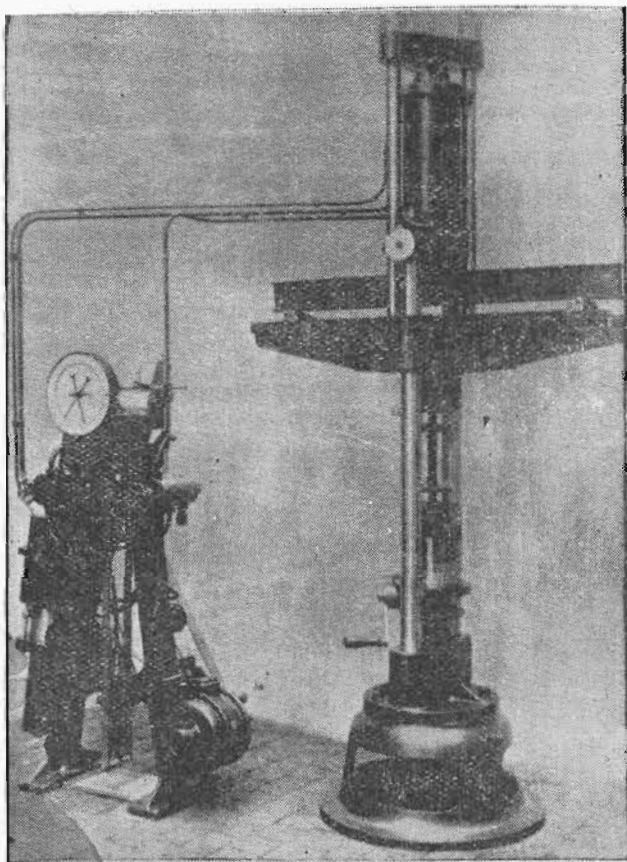
En este estudio, que es esencialmente comparativo, hemos procurado realizar todos los ensayos en las mismas condiciones, o sea que todos los aceros fueron calentados hasta 950°, con enfriamiento lento dentro del horno, a fin de evitar así, la influencia que los factores, temperatura final, tiempo de enfriamiento y velocidad del mismo, ejercen sobre la posición de los puntos críticos.

En los tratamientos térmicos a que sometimos las muestras, seguimos el mismo criterio, es decir, realizarlos en lo posible, en las mismas condiciones. La temperatura de recocido la elegimos en cada caso de acuerdo con el resultado del análisis térmico y el enfriamiento lo efectuamos siempre lentamente dentro del horno.

Para determinar la temperatura de temple acudimos también a

conocer los puntos críticos, pero, efectuando siempre algún ensayo a temperatura inferior a la indicada, con el fin de estudiar todo el proceso de formación de los constituyentes de temple. Debido al bajo valor que como es lógico tratándose de aceros especiales, tiene el punto crítico  $A_r$ , no es necesario realizar un temple muy enérgico, por lo que empleamos en todos los casos baño de aceite para el enfriamiento. La temperatura de revenido empleada en cada caso, depende de la óptima de temple. El enfriamiento lo realizamos siempre al aire para poder comparar mejor los resultados.

LABORATORIO DE PRUEBAS MECANICAS.—*Máquina de*



Máquina de tracción «Amsler» de 20 toneladas



*tracción Amsler de 20 toneladas.*—La fuerza necesaria para el ensayo es ejercida por una bomba de aceite funcionando según el principio de la prensa hidráulica. El pistón de la bomba está ajustado en el cilindro con tal precisión que se hace innecesaria cualquier garnición. El roce infinitamente pequeño existente entre el pistón y el cilindro permite una ligera infiltración del aceite que hace el movimiento muy suave, suprimiendo todas las rozaduras y permitiendo medir la fuerza con una gran precisión.

El cilindro de la prensa está situado en la parte superior de la máquina y el conjunto móvil que lleva las cabezas de sujeción superiores, está suspendido libremente al pistón de esta prensa por medio de unas columnas ligadas entre sí por una traviesa que descansa sobre el testero del pistón. La base del cilindro está sujeta por unas barras sólidas al pié de la máquina.

La cabeza de sujeción inferior está montada al extremo de un tornillo que sirve para regular rápidamente la altura inicial.

Si la presión del aceite hace subir al pistón en el cilindro, la cabeza de sujeción sube, y entonces la probeta se encuentra sometida al esfuerzo de tracción.

Esta fuerza está medida por un dinamómetro colocado al lado de la máquina y que lleva los mandos de la misma. Una aguja señala en un círculo, la fuerza ejercida en cada instante, mientras que la otra, loca, muestra la máxima alcanzada. El dinamómetro, lleva un registrador automático, donde se obtiene una gráfica que relaciona la deformación de la muestra y el esfuerzo producido.

Mediante este ensayo determinamos: La resistencia a la tracción o sea, la carga de rotura por  $m/m^2$  de sección, que representamos en los gráficos por R.

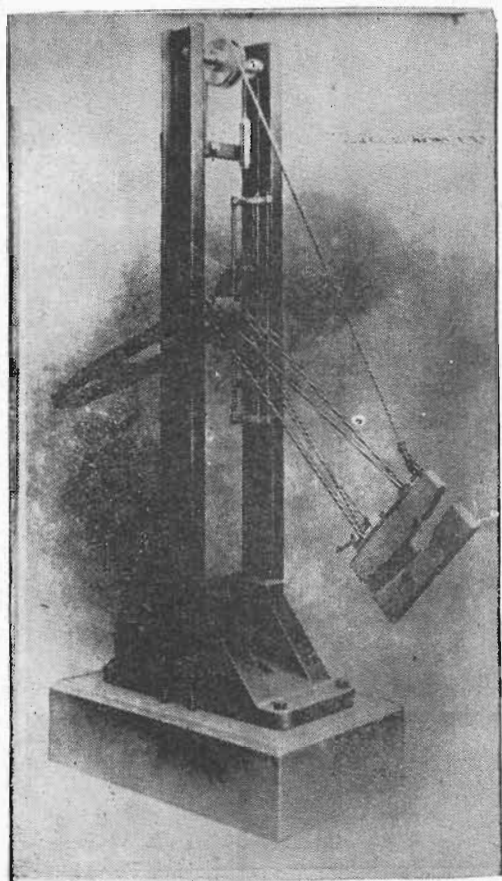
El límite elástico aparente, que representamos por E, que es la carga por  $m/m^2$  de sección a partir de la cual los alargamientos crecen muy rápidamente; se conoce este punto por el cambio de dirección experimentado por la curva del diagrama.

El alargamiento después de la rotura, que determinamos unien-

do los trozos producidos en la operación y que en los gráficos va expresado por 100 y representado por A.

Finalmente, la estricción, o sea la disminución de la sección determinada de la misma forma que el alargamiento y también por 100, que representamos en los gráficos por  $\epsilon$ .

MARTILLO PENDULAR AMSLER.—Para determinar la resi-



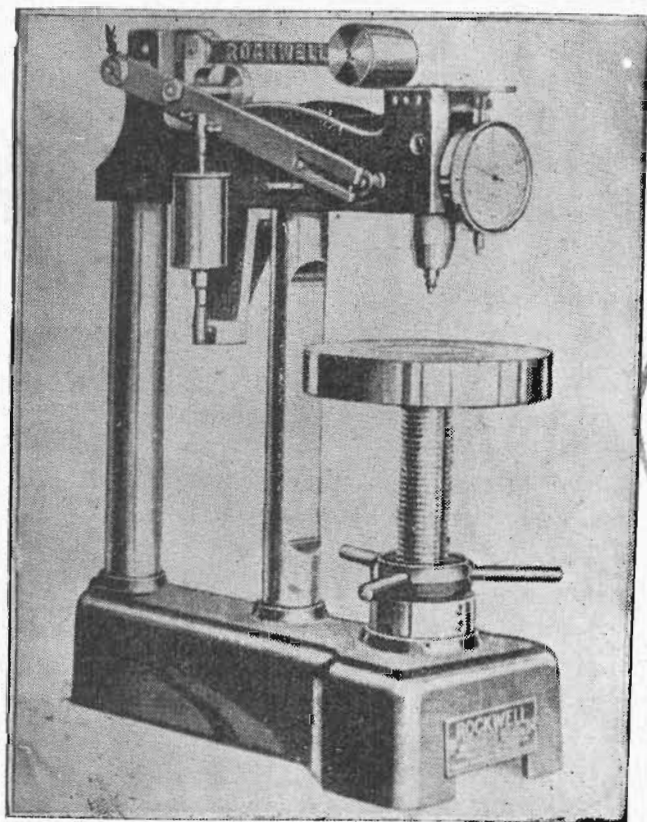
Martillo pendular de 30 kilogrametros

liencia, empleamos el martillo pendular Amsler, representado en la fotografía. La barreta de ensayo se coloca entre dos apoyos que dejan entre sí un espacio libre. Al soltar el martillo, viene en el curso de su caída, a golpear con el filo contra la barreta de ensa-

yo, en la parte situada entre los apoyos y provoca su rotura. Una parte de la fuerza viva del martillo es absorbida por el trabajo de rotura, el resto, hace subir el martillo al otro lado de la vertical, que pasa por el punto de suspensión, hasta que se consume toda la energía residual. Durante su curso ascendente, el péndulo arrastra hacia arriba, un cursor en una escala vertical, que queda inmóvil a la altura máxima alcanzada e indica directamente, la energía empleada para la rotura de la barreta de ensayo (y no la de la energía residual del martillo).

El valor obtenido en cada caso, lo representamos en los gráficos mediante la letra S.

MAQUINA DE DUREZAS ROCKWELL.—Para la determina-



Máquina de durezas «Rockwell»



ción de la dureza elegimos la máquina Rockwell representada en la fotografía.

Este método consiste en la determinación de la profundidad de la huella producida en la superficie del material, por un cono de diamante en ángulo de  $120^\circ$  bajo una presión de 150 kilos. En el caso de materiales blandos puede emplearse, en vez del cono, una bola de acero, de 1,59 m/m de diámetro y 100 kilos de carga. El indicador directo de dureza colocado en la misma máquina, lleva por tanto dos escalas; una la llamada C, referida al cono de diamante, y otra B, para cuando se emplea la bola.

Esta máquina tiene la ventaja de ser muy precisa y de proporcionar automáticamente la cifra de dureza, lo que evita los errores producidos por el distinto coeficiente personal. Además como la huella es muy pequeña, basta con realizar la experiencia en una superficie reducida.

En los gráficos el valor de la dureza lo representamos por la letra A.

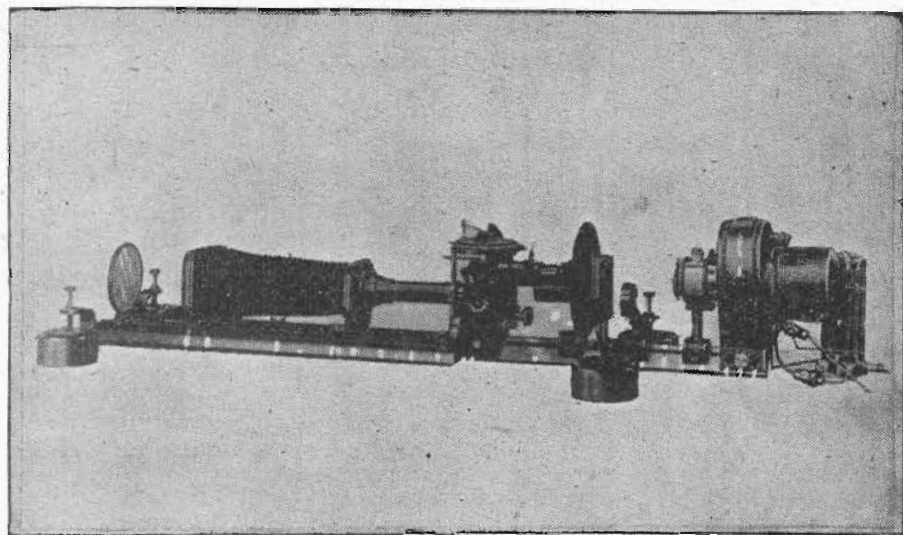
En todas las pruebas mecánicas y para que el estudio resulte verdaderamente comparativo, hemos puesto especial empeño en realizar las correspondientes a los distintos aceros en las mismas condiciones. De igual modo procederemos en lo que se refiere a procedimiento de fusión de los aceros y preparación de las barretas.

En los ensayos de recocido y revenido, investigamos todas las características mecánicas citadas anteriormente, en el de temple, solo efectuamos pruebas de dureza y resiliencia, por ser esto suficiente, para caracterizar dicho estado.

**MICROSCOPIO METALOGRAFICO.**—El examen metalográfico, con el fin de evitar que por emplear distintos métodos, pudiera haber algún error en la comparación de las estructuras, lo realizamos preparando todas las muestras en la misma forma. Después de desbastadas con esmeril de creciente finura de grano, se pulimentaron con alúmina. El ataque lo efectuamos con solución alcohólica de ácido pícrico, empleando en los ensayos de obtención de cementita globular, el picrato de sodio.

Para la observación directa y obtención de microfotografías empleamos el microscopio metalográfico «Zeiss Neophot», representado en la fotografía, provisto de platina móvil y pantalla de proyección, iluminación por arco voltaico y suspensión elástica.

Antes de sacar las fotografías, observamos directamente las muestras empleando distintos aumentos. Efectuamos las fotografías en las zonas donde mejor se apreciaban los constituyentes, empleando aumentos de cien diámetros, en los estudios de recocido y de trescientos o más en algún caso particular, en los de revenido y temple.



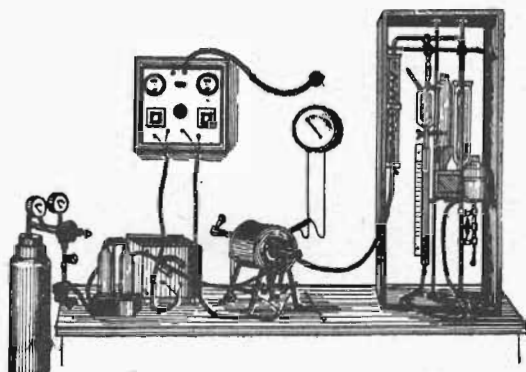
Microscopio metalográfico Zeiss-Neophat

En lo que se refiera a la apertura del diafragma es variable en cada caso pues depende de la luminosidad de la probeta. A fin de determinar con exactitud la composición de los aceros estudiados, realizamos en cada uno de ellos un análisis químico.

MÉTODOS DE ANÁLISIS EMPLEADOS.—Para la determi-

nación del carbono empleamos el aparato de Ströhlein, que representa el dibujo.

El fundamento es el mismo que en todos los aparatos corrientes de combustión, es decir, transformar todo el carbono contenido en la muestra en anhídrido carbónico determinado el contenido en dicho elemento volumétricamente. El aparato consta de un horno eléctrico para introducir en él, un tubo de cuarzo con la navecilla portadora de la muestra. La combustión se realiza en corriente de oxígeno. Los productos de ella se recogen en una

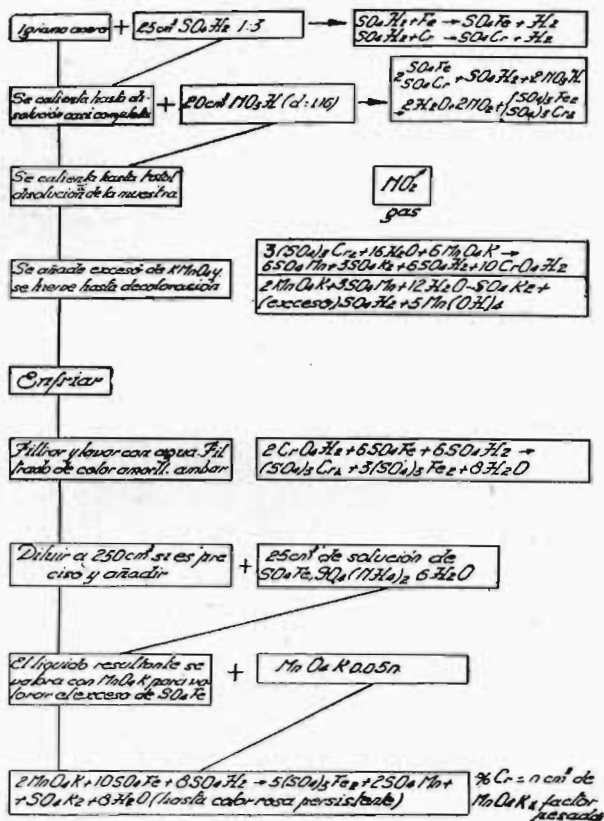


Aparato Ströhlein para la determinación del carbono

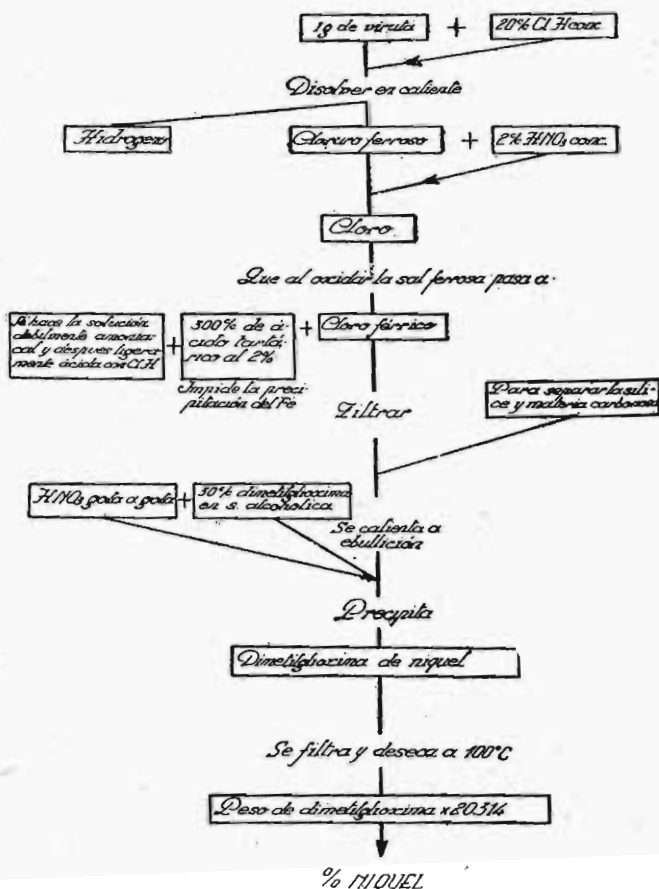
bureta medidora de gases llena de agua, que baja de nivel, a medida que van llegando el anhídrido carbónico y el exceso de oxígeno. Una vez llena se cierra la llave de paso y se hace una lectura; después se hace pasar todo el contenido a unos vasos que contienen solución concentrada de potasa, destinada a absorber el anhídrido carbónico. El oxígeno se hace volver a la bureta y entonces se realiza una nueva lectura. Por la diferencia entre los dos, se determina el anhídrido carbónico producido y por tanto el porcentaje de carbono en el acero.

El procedimiento además de su exactitud, tiene la ventaja de la rapidez, pues empleando un gramo de viruta, la escala viene graduada de forma que, la diferencia de lecturas, da ya el porcentaje, sin necesidad de efectuar ningún cálculo.

Para la determinación de los restantes elementos, empleamos los procedimientos que se detallan en los gráficos siguientes:

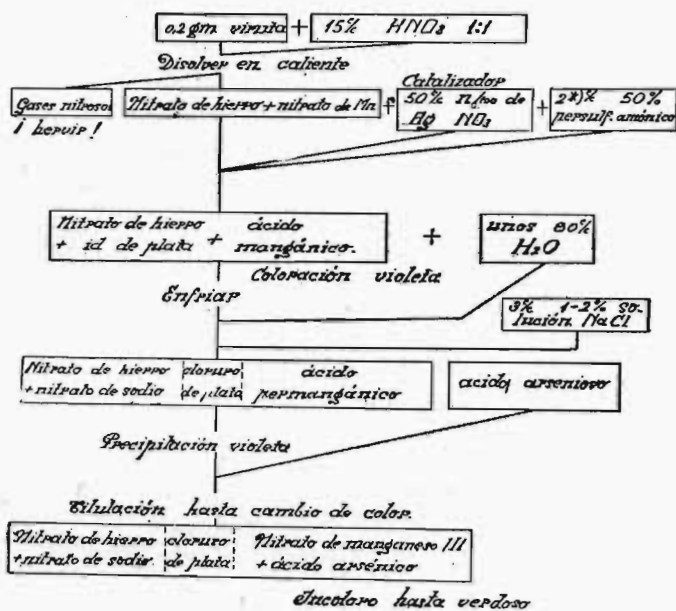


Determinación del cromo en los aceros

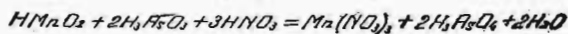
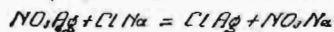
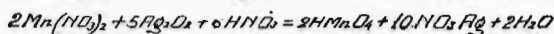
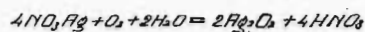
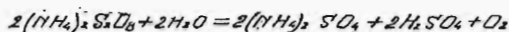


Determinación del níquel en los aceros

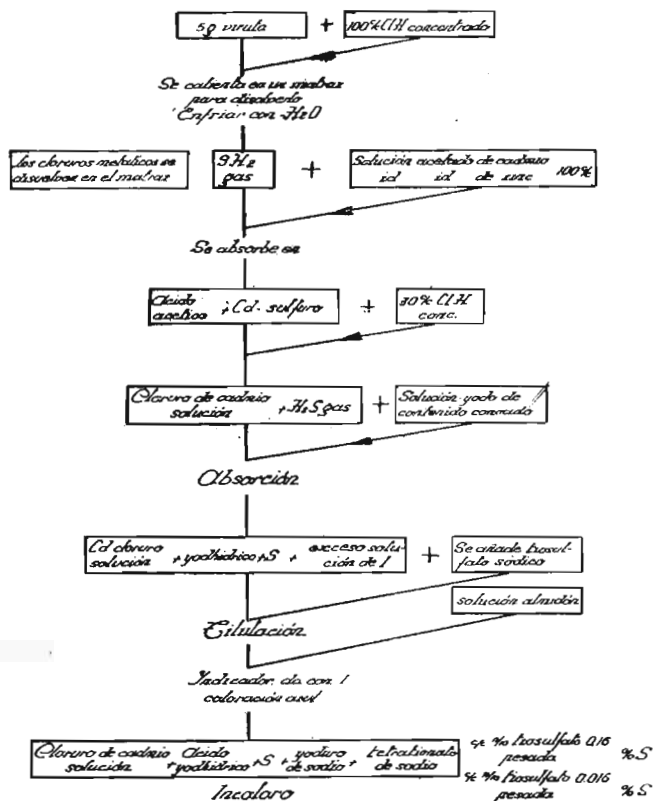




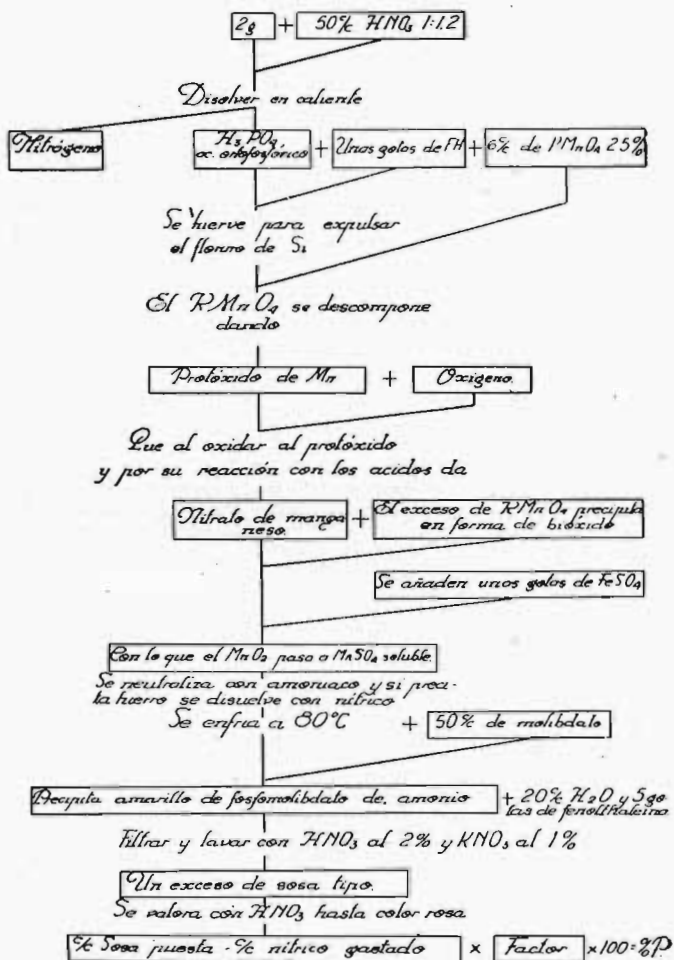
$$\frac{\% \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ titula}}{\text{pesada}} = \% \text{Mn}$$



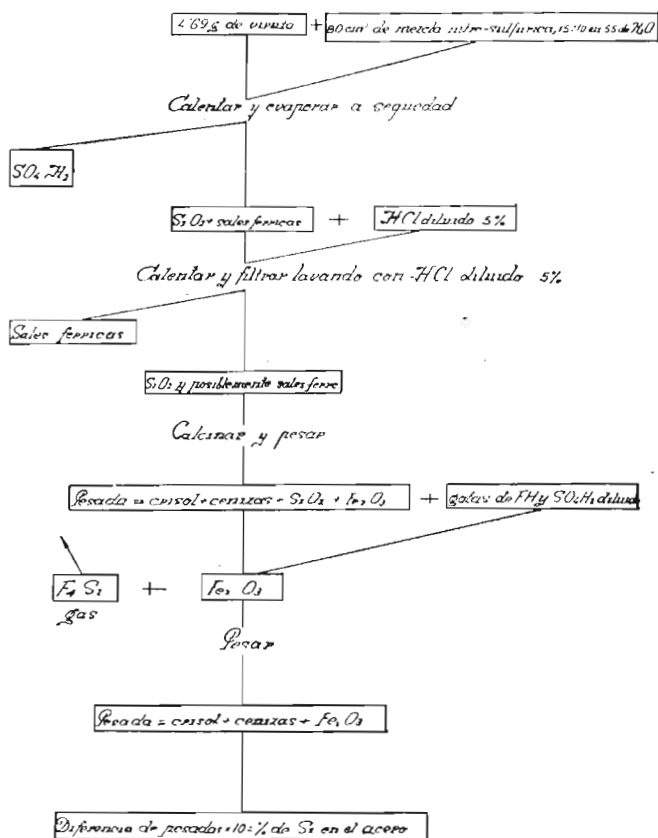
Determinación del manganeso en los aceros



Determinación del azufre en los aceros



Determinación del fósforo en los aceros



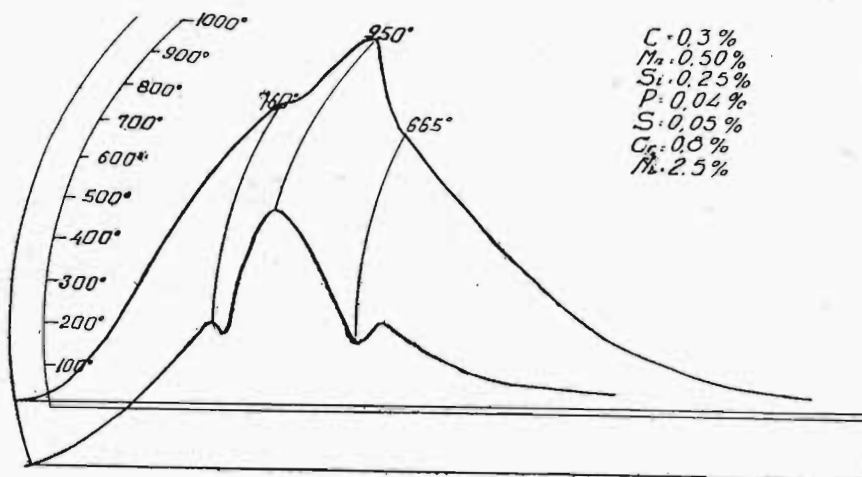
Determinación del silicio en los aceros

## CUARTA PARTE.—ESTUDIO COMPLETO DEL ACERO AL Cr — Ni

Detallados los métodos empleados en los ensayos de los materiales, pasamos a hacer un estudio a fondo del acero Cr-Ni, que pretendemos sustituir.

Se investigaron los tres estados de recocido, temple y revenido.

RECOCIDO DEL ACERO CROMO-NIQUEL.—Recordemos que la operación de recocido consiste en calentar el acero a temperatura superior a la zona crítica, mantenerle en ella durante un cierto tiempo y enfriar después lentamente.



Análisis térmico del cromo-niquel

Una vez alcanzada una temperatura superior a la zona crítica, el acero estará constituido por austenita, de grano tanto más grueso cuanto más elevado sea el calentamiento. Después del enfriamiento, las dimensiones del grano de perlita dependerán de las del austenítico, por cuya razón debe evitarse un calentamiento excesivo. Esto no quiere decir que el horno deba tener una temperatu-

ra muy próxima a la crítica, pues en tal caso pudiera el consumo de calor debido a la transformación, no permitir llegar la temperatura unos grados por encima del punto crítico.

La duración del calentamiento depende de diversas causas especialmente de las dimensiones de la pieza.

La velocidad del enfriamiento ha de ser lenta pues debe dar lugar a que el acero quede perlítico, y para esto hay que emplear el tiempo necesario a la realización de todas las transformaciones alotrópicas.

En este caso por tratarse de un acero hipoeutectoide, a la perlita acompañara ferrita libre. Si se aumenta la velocidad de enfriamiento, el acero puede quedar, al menos en parte, sorbítico.

Mediante el recocido si bien disminuye la dureza, se logra disminuir las tensiones internas en el metal obteniéndose un grano más fino y aumento de ductilidad.

Del resultado del análisis térmico se deduce que la temperatura de recocido debiera ser 875-885°, ya que es conveniente sobrepasar en 50 o 60° el punto  $A_3$ . No obstante efectuamos varios ensayos, por duplicado para mayor exactitud, a partir de 800°, aumentando la temperatura de 25 en 25° hasta 950. La duración del calentamiento fué de 30 minutos.

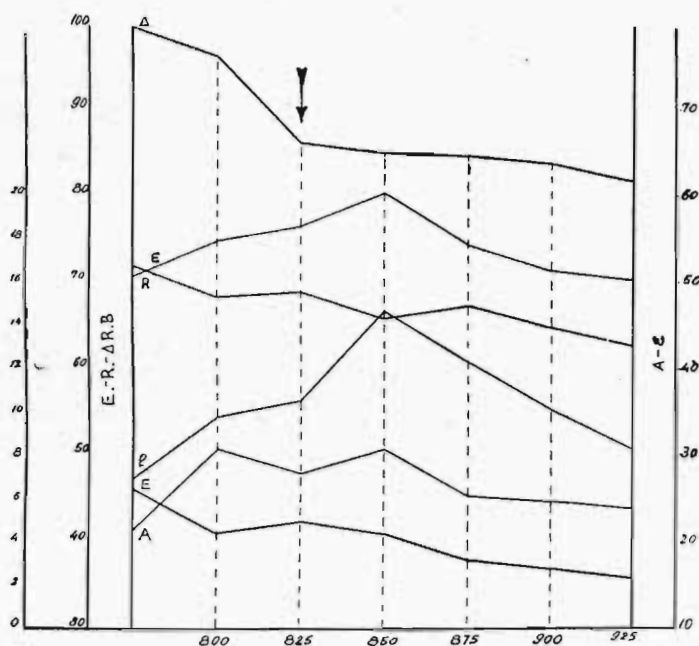
En el gráfico se observan claramente las variaciones de las características mecánicas del acero, con los sucesivos tratamientos.

Como los órganos de las máquinas automáticas en que se emplea este material exigen durezas considerables que solo por el temple pueden conseguirse, el ensayo de recocido ofrece únicamente interés desde el punto de vista de mejorar las condiciones de trabajo del material, condiciones éstas que requieren bajas cifras de dureza y buena resiliencia aún a expensas de sacrificar algo las características de tracción.

En estado de recepción, el material tiene una resistencia y límite elástico bastante elevados  $R = 88$  y  $E = 71$ , dureza no excesiva de 102 Rc, B. La resiliencia no es muy baja 6,62; todas estas cifras son adecuadas para su empleo sin tratamiento ulterior.

A 800° C. disminuyen la resistencia a la tracción y la dureza obteniéndose en cambio aumento en el valor de la resiliencia. En la fotografía número 1, se observa una repartición irregular de ferrita y perlita.

A 825° C. continúa el descenso de la dureza pero aumenta más]la resiliencia y se consigue conservar constante la resistencia.



Acero al cromo-níquel. Estudio de recocido

La estructura fotg. n.º 2, ha mejorado notablemente, pues aunque sean como es natural los mismos constituyentes, se encuentran más uniformemente repartidos siendo además su grano de menor tamaño. El resto de las cifras mecánicas, puede verse en el gráfico, son aceptables.

A 850° C. Se obtiene el máximo valor de resiliencia y una dureza casi igual que en el ensayo anterior, pero presenta un valor

más bajo para la resistencia y límite elástico. La estructura fotográfica número 3, es muy parecida.

A 875°-900° y 925° C. Se observa una regular disminución de la resiliencia, dureza y resistencia a la tracción. En las fotografías número 4, 5 y 6, puede verse de acuerdo con esto un progresivo aumento en el tamaño del grano.

La simple observación del diagrama en lo que se refiere a la dureza pudiera conducir a error, pues se ve que es la mínima a 950° C. y probablemente sería menor a temperatura más elevada pero observando al mismo tiempo el valor de la resiliencia, vemos que baja paralelamente, lo que pone de manifiesto una disminución progresiva de la tenacidad. La observación microscópica o simplemente el examen de la fractura de estas probetas ponen en claro este hecho. En efecto, las últimas temperaturas consideradas, dan lugar a la formación de grandes granos de ferrita y perlita, de lo que resulta una fractura cristalina, que da también lugar a que la bola de la máquina Rockwell se introduzca en el material no por aplastamiento o plasticidad, sino por separación o disgregación de los cristales, lo que da lugar a que la dureza señalada sea aparente y no real. Como consecuencia de todo lo expuesto deducimos debe elegirse como temperatura de recocido, la de 825°, a la que si bien no corresponde el máximo valor de resiliencia, se obtienen buenos valores de dureza y resistencia a la tracción, así como del resto de las características mecánicas. La estructura presenta también buen aspecto.

ACERO AL CROMO-NIQUEL.—Temple.—Consiste este tratamiento, en calentar la muestra a una temperatura superior a su punto de transformación  $A_3$  y enfriar después rápidamente para evitar las transformaciones inversas que tienen lugar en el enfriamiento lento. A la temperatura citada se ha alcanzado el estado estable en caliente y todo el carbono o carburo de hierro se encontrará uniformemente disuelto en la masa; para lograr que esta disolución uniforme continúe en frío, se precisa un brusco enfria-



miento, permitiendo obtener a la temperatura ordinaria un acero martensítico.

Mediante este tratamiento aumentamos la dureza ya que cambiamos los constituyentes ferrita y perlita por martensita, mucho mas duro, aumenta también la resistencia ya que a la temperatura de temple ( $50^\circ$  sobre el  $A_3$ ) el tamaño del grano es el mas pequeño, y como lo conservamos a la temperatura ordinaria, habremos aumentado la cohesión; ahora bien, debido al desequilibrio molecular producido, la resiliencia disminuye. Por esto un temple demasiado enérgico puede producir grietas.

En los resultados que se obtengan hay dos factores que influyen notablemente, uno la temperatura de calentamiento que no debe ser muy elevada porque obtendríamos un acero de grano grueso y austenítico, cosa que no es conveniente, y la duración de dicho calentamiento, ya que si se calienta poco tiempo pudiera ocurrir no se alcanzase en toda la masa el tamaño normal del grano y si por el contrario se calienta demasiado tiempo pudiera haber oxidación en la superficie lo que ocasionaría una disminución de dureza.

Una vez obtenida la temperatura deseada debe procederse al enfriamiento.

Para obtener mucha homogeneidad debe templarse con la máxima velocidad en baño muy frío, pero hay que tener en cuenta que aumentaría la fragilidad y las tensiones podrían llegar a producir grietas. Por lo tanto el baño de temple debe determinarse en cada caso de acuerdo con las condiciones del acero.

En este caso por tratarse de un acero al níquel, elemento que aumenta la histéresis no será preciso un temple muy enérgico.

El punto crítico de  $Ac_3$  para el acero cromo-níquel nos dá la temperatura de temple de  $700^\circ$  C., no obstante teniendo en cuenta el calor que ha de perder desde su salida del horno a su inmersión en el baño de enfriamiento, es aconsejable la práctica de aumentarla en  $50^\circ$ .

Esta temperatura no es sin embargo la correcta de temple, si-

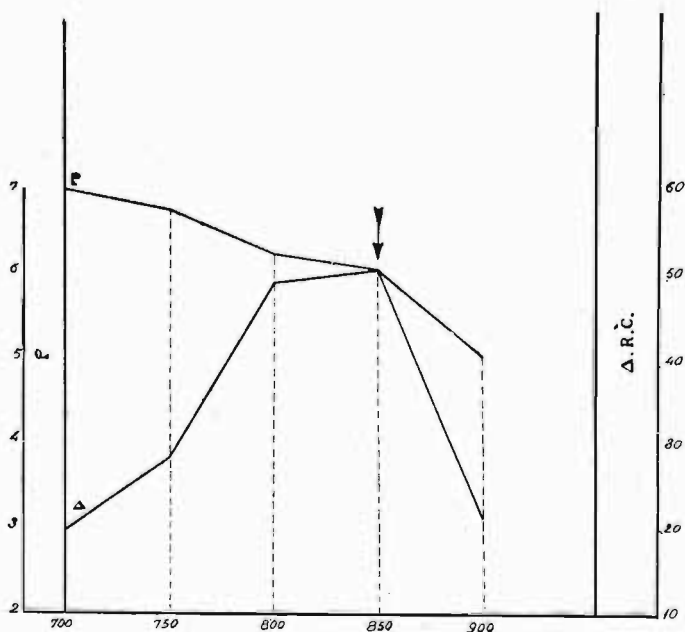
no la mínima capaz de enderezar el material, como consecuencia de ello y para mayor exactitud se hicieron ensayos de 700 a 950° C. con intervalos de 50 en 50° sobre barretas recocidas a 825° C. durante 30 minutos, hasta conseguir la mayor temperatura.

Debido a la gran histéresis observada, empleamos baño de aceite.

Por referirnos a un tratamiento de temple observamos solamente las características, dureza y resiliencia, que junto a la observación microscópica le definen por completo.

El gráfico pone de manifiesto las variaciones sufridas.

A 700° C. No ha habido cambio alguno, siendo sus cifras má-



Acero al cromo-níquel. Estudio de temple

ximas semejantes a las de recocido; lo mismo que su estructura microscópica, donde aparecen repartidos con uniformidad los granos de perlita y ferrita. Fotografía núm. 7.

A 750° C. Aumenta la dureza al mismo tiempo que se acusa un ligero aumento en la resiliencia, conforme con su estructura metalográfica en que ya los granos se agrandan sensiblemente, como iniciación de su paso a la constitución martensítica. Fotografía núm. 8.

A 800° C. Se consigue un aumento considerable en la dureza, al mismo tiempo que un ligero descenso en la resiliencia. Acusa la observación microscópica la presencia de grandes zonas de agujas martensíticas y en menor proporción núcleos troosticos perfectamente definidos. Fotografía núm. 9.

A 850° C. Prosigue un ligero aumento de dureza con pequeñísimo descenso de la cifra de resiliencia. Metalográficamente tiene una estructura característica de un temple perfecto, o sea, agujas finísimas y uniformemente repartidas de martensita, con la desaparición completa de los núcleos de troostita. Fotografía núm. 10.

A 900° C. Desciende notablemente la dureza y más acusado aún el descenso de resiliencia. La micrografía aclara estos hechos con la aparición de mayores agujas de martensita gruesa con iniciación de granos austeníticos, originados por un calentamiento a temperatura demasiado alta. El descenso de la dureza se debe a la presencia de la austenita constituyente más blando que la martensita; y en cuanto al descenso de la resiliencia tiene por causa la intersección de los granos de austenita que obran a modo de secciones de rotura y facilitan por lo tanto la separación intercristalina. Fotografía núm. 11.

A 950° C. Continúan en mayor grado los descensos de dureza y de resiliencia. El análisis metalográfico acusa más la formación de granos de austenita, con desaparición casi completa de la martensita. Como consecuencia de estos ensayos podemos elegir como tratamiento de temple la temperatura de 800—850° C. con la que se consiguió la mayor homogeneidad y finura de grano de martensita, al mismo tiempo que su máximo de dureza y no escasa resiliencia.

REVENIDO.—La operación de temple tratada en el capítulo precedente, comunica al acero:

- 1.º El grano lo más fino posible.
- 2.º La dureza máxima.
- 3.º La máxima resistencia a la tracción.
- 4.º La ductilidad mínima.
- 5.º Tensiones internas.

El acero simplemente templado es frecuentemente más duro de lo que es necesario y generalmente muy frágil, estando sometido a tensiones muy importantes que no permiten sea utilizado en dicho estado.

Para reducir las tensiones internas, disminuir la fragilidad y dar nuevamente al acero alguna ductilidad conservándole una dureza y resistencia suficientes, se le hace en general experimentar un revenido, consistente en someter el acero templado a un calentamiento a temperatura inferior a la del punto  $A_3$ , enfriándole después lenta o rápidamente. Con esto se consigue devolver al acero parte de sus anteriores propiedades.

Elegida como temperatura de temple la de  $825^{\circ}$  C. en aceite se sometieron a este tratamiento una serie de barretas, para realizar después en ellas ensayos, por duplicado, de revenidos sucesivos a partir de  $350^{\circ}$  C. hasta  $600^{\circ}$  C. con intervalos de  $50^{\circ}$  C. El calentamiento duró 20 minutos.

A  $350^{\circ}$  C. No pudieron ser rotas en nuestras máquinas de tracción, las dos barretas sometidas a esta temperatura, por exceder el esfuerzo total necesario para su rotura, de la potencia de la máquina. No obstante las cifras de dureza y resiliencia que no han sufrido mucha variación, indican claramente que sobre las cifras de temple, ha influido escasamente el revenido. En la fotografía número 12, puede verse que la estructura solo ha sufrido aumento en el tamaño del grano, pero la calidad de los constituyentes no ha sido modificada.

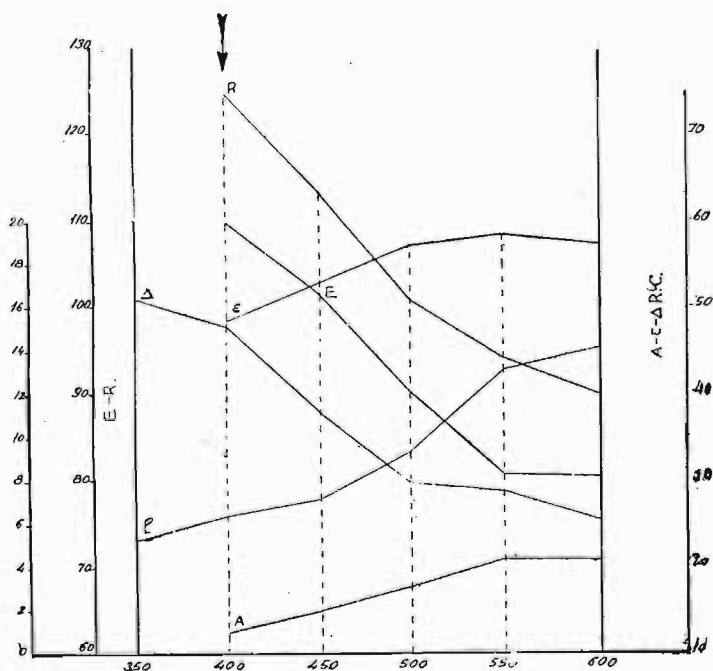
A  $400^{\circ}$  C. Ha disminuido la resistencia a la tracción y la dureza, pero se gana en resiliencia. La observación microscópica acusa la presencia de nódulos sorbíticos. Fotografía núm. 14.

A.  $450^{\circ}$  C. Continúa la disminución de la resistencia y dureza

en la misma proporción que en el revenido anterior, con un aumento ligero de la resiliencia. Microscópicamente aumenta la estructura sorbitica. Fotografía número 13.

A 500° C. Bajan notablemente el límite elástico y la resistencia y de modo más sensible aún la dureza; las cifras de resiliencia se aproximan a las de recocido. En el microscopio empiezan a verse zonas de ferrita y perlita. Fotografía núm. 15.

A 550 y 600° C. Pierde toda característica de temple; confirmando este hecho la franca aparición de la estructura de recocido ferrita-perlita. Fotografías núms. 16 y 17. Como consecuencia de



Acero cromo-níquel. Estudio de revenido

estas investigaciones, puede afirmarse que la temperatura mas conveniente es la de 400° C., con la que conservando casi la misma dureza de temple, se eleva sensiblemente la resiliencia es decir,

que se ha logrado eliminar las tensiones internas, tan peligrosas siempre, pero más aún en los trabajos de fatiga por choque.

En definitiva se saca la conclusión que el tratamiento que debe darse a este acero es el siguiente:

Recocido: 825° C.

Templado: 850° C. enfriando en aceite.

Revenido: 400° C. al aire.

Con lo que obtuvimos las siguientes cifras mecánicas:

$E = 110$  Kgs.

»  $R = 125$  Kgs.

$A \text{ } \%$  = 12

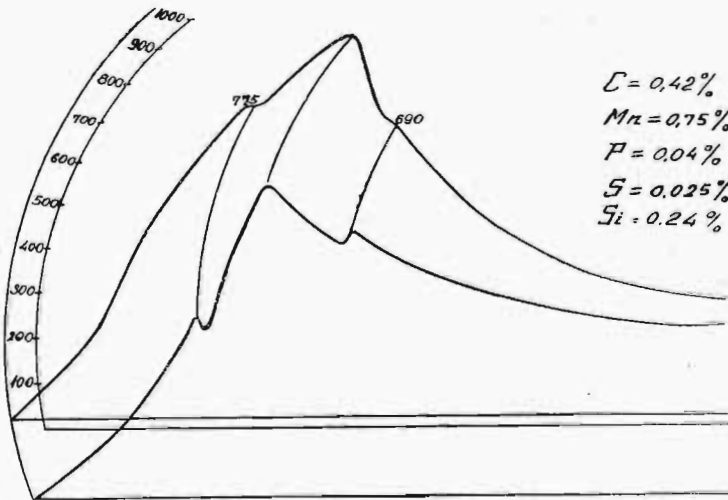
»  $\epsilon \text{ } \%$  = 47

$\Delta R. c. = 52$        $\rho = 5$

El acero al manganeso que tratamos sustituya a éste, debe tener las cifras mecánicas muy próximas a los indicados.

#### QUINTA PARTE.—ESTUDIO DE DIFERENTES ACEROS AL MANGANESO

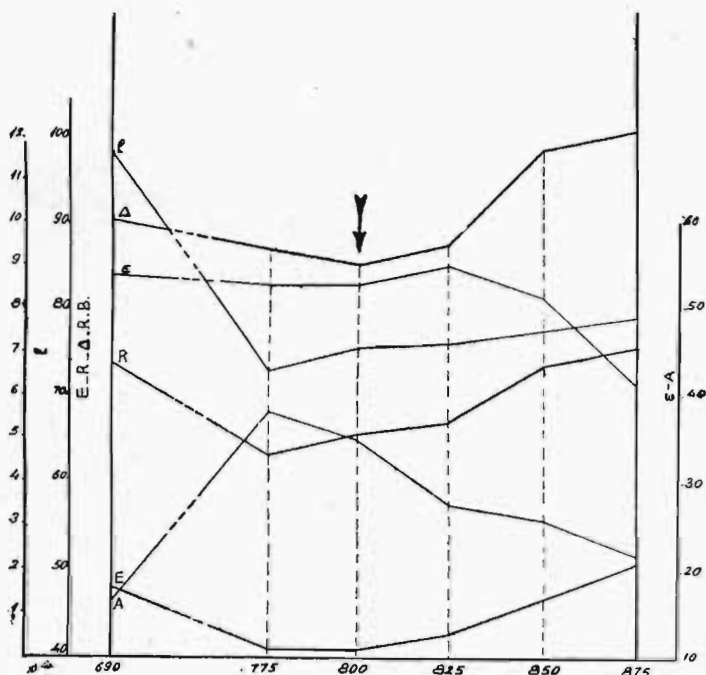
ACERO AL MANGANESO —A—. Recocido:—Como indica el



Análisis térmico del acero al Manganeso A

análisis térmico, los puntos críticos de este acero son 775 y 690°, por tanto, la temperatura de recocido debe ser 775°. Para alcanzar mayor precisión y con objeto de que por escaso calentamiento, no se consigan los fines propuestos, o por un exceso se llegue a un sobrecalentamiento, realizamos ensayos por duplicado a distintas temperaturas a partir de 775° hasta 875° con intervalos de 25° C.

Realizamos también un ensayo de recocido a la temperatura de 690° C durante cinco horas con objeto de obtener cementita globular, pero no se lograron resultados satisfactorios en ninguno



Acero al manganeso A. Estudio de recocido

de los aceros. A esta temperatura, puede observarse en el diagrama un valor elevado de la resiliencia, lo que indica que al menos

en parte se consiguió la formación del constituyente citado pero ni el examen micrográfico, fotografía núm. 18, ni las otras características mecánicas, salvo la resistencia a la tracción, atestiguan buenas condiciones en el acero.

A 775°. La resiliencia y la resistencia a la tracción disminuyen considerablemente, debido a que han desaparecido las anteriores condiciones, la microestructura, fotografía núm. 19, acusa una disminución en el tamaño del grano, apreciándose claramente, la perlita. Los granos de ferrita son muy gruesos.

A 800°. Sigue la disminución en la dureza, originándose ya, un aumento de la resiliencia y resistencia a la tracción. En la fotografía núm. 20 puede verse que la estructura es mucho más fina.

A 825°.—850° y 875° C. Siguen aumentando la resiliencia y resistencia, ligeramente lo hace también la dureza. Las fotos números 21, 22 y 23, indican un progresivo aumento del tamaño del grano, siendo por esto la estructura cada vez menos correcta.

De las anteriores investigaciones se deduce que la temperatura más conveniente de recocido, será la de 800° en la que con aceptables cifras mecánicas, se obtiene sin género de duda la mejor estructura micrográfica.

TEMPLE.—Este acero tiene su punto crítico  $Ac_3$  a 775° C° que con 50° C° sobre esa temperatura nos dá la inferior de temple, no obstante hemos seguido el mismo criterio que en el cromo-niquel, o sea templar muestras a temperatura inferior, con el fin de obtener la serie sucesiva de constituyentes, de recocido, de transición y temple. El baño de enfriamiento no ha presentado dudas, pues la histeresis de 85° C. no aconseja un enfriamiento demasiado rápido, por ejemplo en agua; ni tampoco uno demasiado lento como se realiza al aire.

Las microfotografías nos muestran los resultados conseguidos con el tratamiento de temple.

A 775° C. La dureza aumentó ligeramente y la resiliencia disminuyó algo. La micrografía n.º 24 presenta casi la estructura de recocido con sus constituyentes de ferrita y perlita.

A 800° C. Se acusa el aumento de dureza a la vez que la resiliencia baja en la misma proporción. En la micrografía n.º 25 se ve la tendencia a la disgregación de la ferrita-perlita iniciándose el paso de martensita y gránulos de troostita.

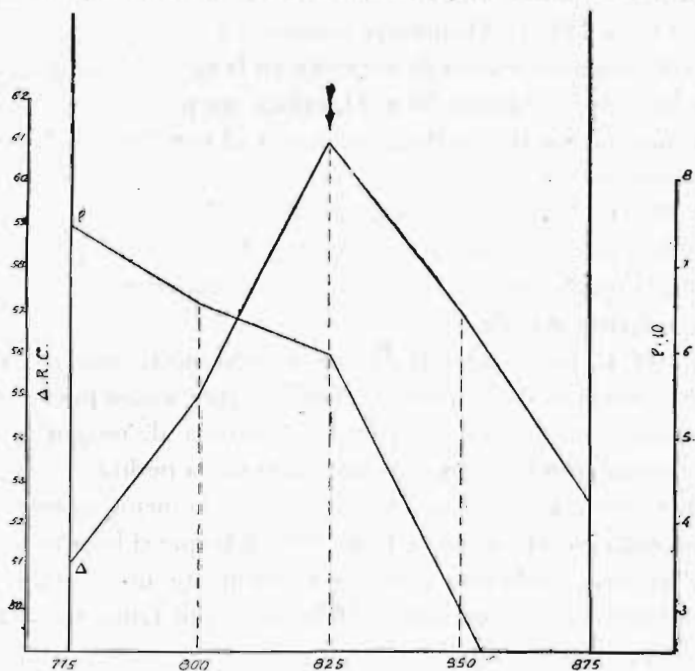


A 825° C. Se alcanza la máxima dureza (61 R. C.) mientras que la resiliencia ha disminuido muy poco. De acuerdo con estas cifras está la micrografía n.º 26 que nos presenta la estructura del temple más correcta con la repartición de agujas finas de martensita como consecuencia de la disolución completa del C. o del  $CFe_3$  en el hierro.

A 850° Disminuye notablemente la dureza y más aún la resiliencia. Asimismo la estructura, micrografía n.º 27, nos representa la iniciación de la formación de austenita constituyente más blando y frágil que la martensita.

A 875° C. Se acrecienta la disminución de la dureza y la resiliencia es mínima, lo que está de acuerdo con la micrografía n.º 28 en la que se aprecia en mayor grado el tamaño demasiado grueso de su constituyente y la aparición de poliedros austeníticos e incluso grietas de rotura.

La temperatura de temple correcta para este acero es la de



Acero al manganeso A. Estudio de temple

825° C. ya que en ella conseguimos alcanzar el máximo de dureza, con un buen valor para la resiliencia, que inmediatamente después inicia su rápido descenso. Asimismo la estructura es perfecta.

ACERO AL MANGANESO—A—REVENIDO.—Del estudio de temple realizado en este acero, hemos llegado a conocer que presenta sus mejores características, cuando se realiza a la temperatura de 825° C. De acuerdo con esto al hacer investigaciones sobre el revenido, sometimos cinco muestras, previamente templadas a dicha temperatura, a calentamiento desde 200° a 300°, con intervalos de 25°. El calentamiento y enfriamiento se efectuaron en las mismas condiciones que en el acero Cr-Ni.

A 200° C. Se observa alguna alteración en las propiedades mecánicas, pero la estructura, fotog.<sup>a</sup> n.º 29, es todavía la de temple, compuesta casi totalmente de martensita, con pequeños núcleos de sorbita.

A 225° y 250° C. Disminuye la dureza y la resistencia a la tracción consiguiéndose notable aumento en la cifra de resiliencia. La estructura, fotog.<sup>a</sup> núms. 30 y 31, indica un progresivo aumento en la proporción de sorbita, creciendo el tamaño de las agujas martensíticas.

A 275° C. Con un ligero decrecimiento de la resistencia y límite elástico se conservan casi constantes el resto de las características. En la fotog.<sup>a</sup> correspondiente n.º 32, aparecen ya junto a la sorbita, ferrita y perlita.

A 300° C. Descienden la dureza y resistencia, consiguiéndose notable aumento de resiliencia, debido a que como puede verse en la fotog.<sup>a</sup> n.º 33, la estructura es ya propia de recocido, pues se observan grandes granos de ferrita, entre la perlita.

De todos estos ensayos se deduce, que la mejor temperatura de revenido en este acero es la de 250°, a la que si bien es verdad no se ha conseguido una estructura totalmente uniforme, se obtienen buenas cifras mecánicas. Debe darse por tanto a este acero el siguiente tratamiento:

Recocido: 800° C.

Temple: 825° C. en aceite.

Revenido: 250° C. al aire.

Cifras mecánicas:

$E = 80$  Kgs.

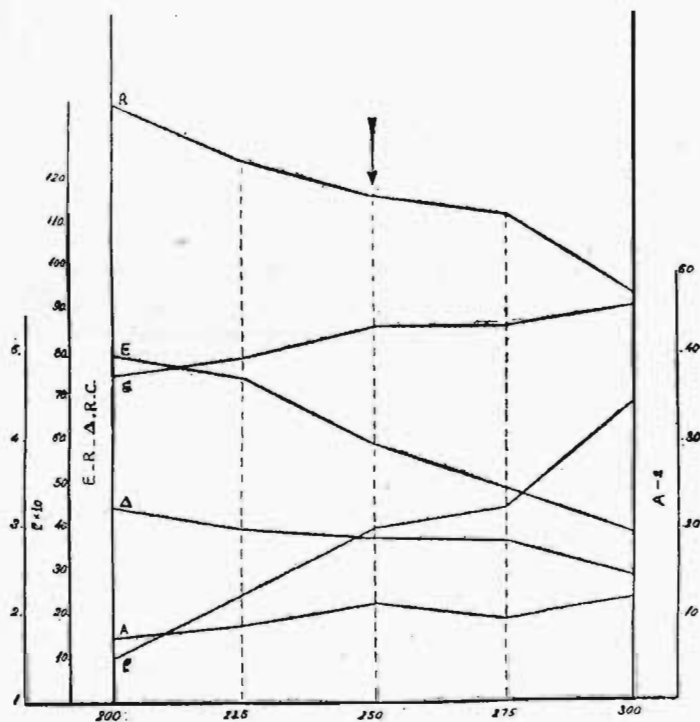
$R = 135$  Kgs.

$A \text{ ‰} = 10$

$E \text{ ‰} = 38$

$\Delta, R. C. = 45$

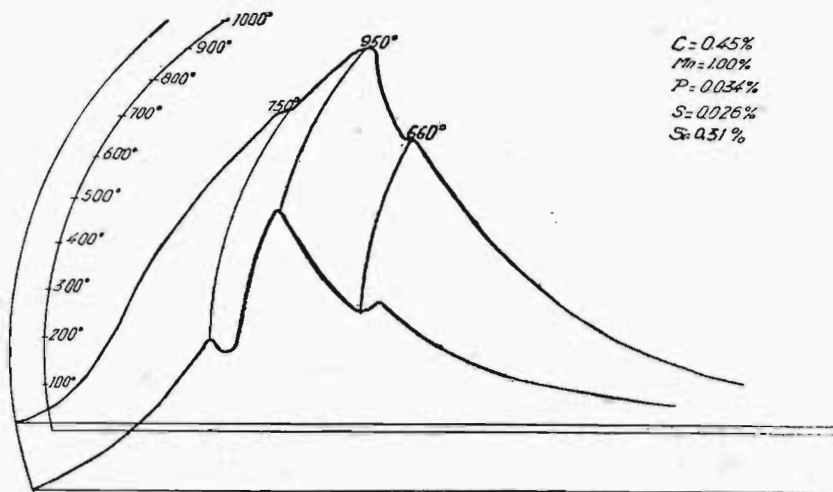
$\rho = 1,5$



Acero al manganeso A. Estudio de revenido

ACERO AL MANGANESO—B—RECOCIDO.—El análisis térmico de este acero pone de manifiesto que tienen sus puntos críticos los valores de 750° y 660° C. De acuerdo con esto llevamos a cabo ensayos por duplicado a las temperaturas de 800°, 850° y 900°

C. La fotograf.<sup>a</sup> n.º 34 sacada antes de someter la muestra a tratamiento, acusa una estructura de grano grueso e irregular. Las ca-



#### Análisis térmico del acero al manganeso B

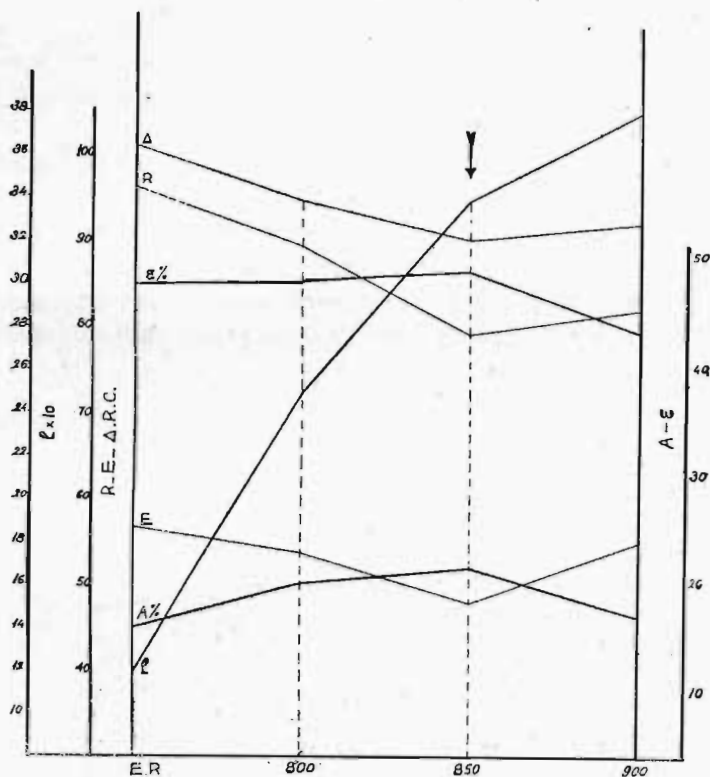
racterísticas mecánicas, como indica el gráfico, tampoco son muy buenas.

A 800° C. Disminuyen la resistencia y la dureza, pero se obtiene un considerable aumento en la resiliencia. La estructura, como indica la fotograf.<sup>a</sup> n.º 35, es más fina en lo que a la perlita se refiere.

A 850° C. Se obtiene muy buena resiliencia, pero la dureza y sobre todo la resistencia disminuyen. La estructura, fotograf.<sup>a</sup> n.º 36, es muy buena, apareciendo los granos más finos y uniformemente repartidos.

A 900° C. Se obtienen parecidas cifras mecánicas, pero siendo la estructura menos perfecta, ya que aumenta considerablemente el tamaño del grano, consideramos como la temperatura más conveniente en este caso la 850°.

ACERO AL MANGANESO—B—TEMPLE.—Los puntos críticos de este acero son  $750^{\circ}$  en el calentamiento y  $660^{\circ}$  C. en el enfriamiento. Como se observa algo más bajos que en el acero anterior, lo que es natural, debido a su mayor dosificación en manganeso; al mismo tiempo también resultó mayor su histéresis, por lo cual para el baño de enfriamiento se ha elegido el aceite.



Acero al manganeso B. Estudio de recocido

Todas las probetas fueron recocidas previamente a  $750^{\circ}$ , temperatura que ya indicamos ser la más favorable para este tratamiento. Realizamos seis ensayos a distintas temperaturas, comprendidas entre  $750^{\circ}$  y  $950^{\circ}$ .

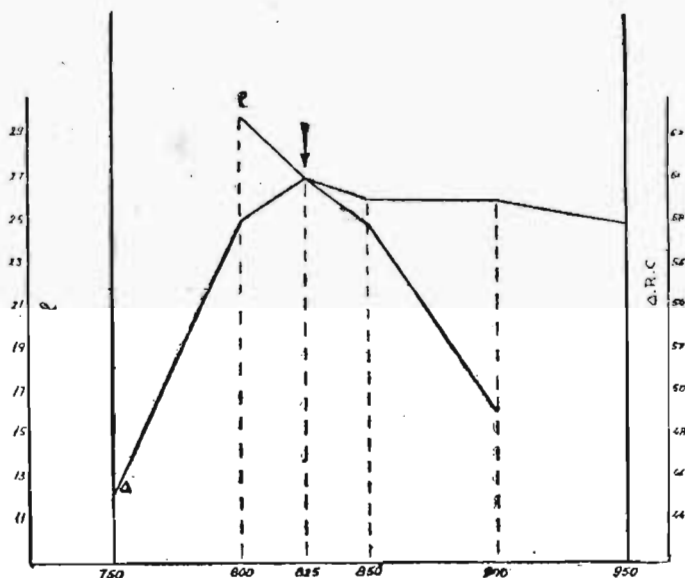
A 750° C. La resiliencia tiene un valor muy elevado, siendo la dureza muy escasa. Su estructura, fotog.<sup>a</sup> n.º 38, no acusa modificación de importancia en los constituyentes, aunque sí una movilidad en los mismos.

A 800° C. Se observa gran aumento de dureza con disminución en la resiliencia; en la estructura, fotog.<sup>a</sup> n.º 39, se pone de relieve una gran variación en sus constituyentes, pues ya se inicia la formación de martensita y aparecen zonas troostíticas.

A 850° C. Se obtiene el máximo de dureza siendo la estructura fotog.<sup>a</sup> n.º 40 la normal de temple, han desaparecido por completo las zonas de ferrita-perlita y troostita, y solo se observan agujas de martensita uniformemente repartidas.

A 850°, 900° y 950° C. Se observaron grandes disminuciones de resiliencia y ligeras de dureza. En las fotog.<sup>a</sup> núms. 41, 42 y 43 puede verse que hemos pasado la temperatura de temple, pues se comprueban ya formaciones de autenita, en particular en la última en que se ven perfectamente, polígonos de este constituyente.

La mejor temperatura de temple, será según indican los ensa-

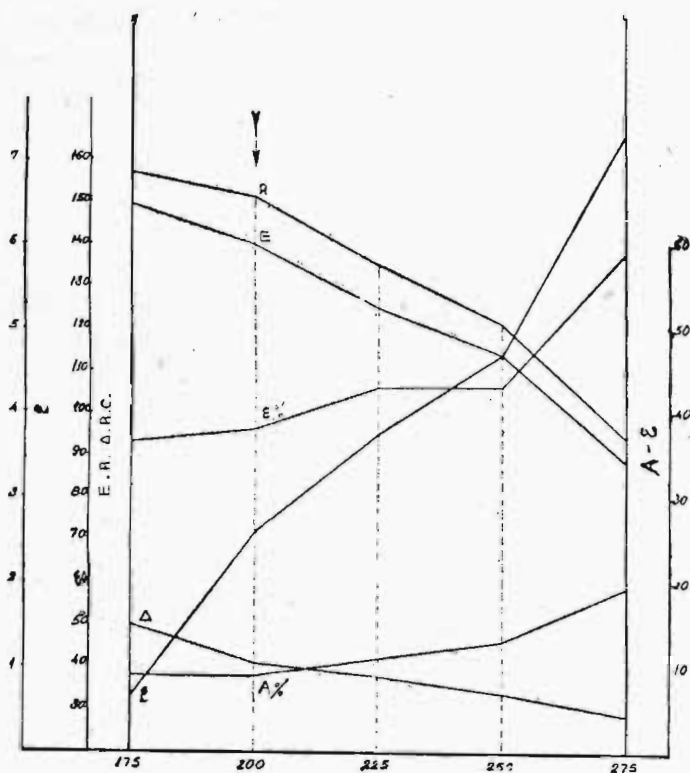


Acero al manganeso B. Estudio de temple

yos anteriores, la de  $825^{\circ}$  a la que con el máximo de dureza, se obtiene aceptable resiliencia y una correcta estructura.

ACERO AL MANGANESO -B- REVENIDO.—Siendo la temperatura de temple de este acero,  $825^{\circ}$  sometimos para este estudio sobre el revenido, las barretas, a temperaturas crecientes de 25 en  $25^{\circ}$  a partir de  $175^{\circ}$  C.

A  $175^{\circ}$  C. Apenas ha sido modificada la estructura de temple



Acero al manganeso B. Estudio de revenido

como puede verse en la fotografía núm. 44, las características mecánicas han variado aunque no con mucha intensidad.

A  $200^{\circ}$  C. Con el inevitable descenso de dureza, y resistencia a

la tracción, se obtiene gran aumento de resiliencia. En la foto: número 45, se observan las agujas martensíticas, apareciendo a la vez, núcleos sorbíticos.

A 225° C. Varían en la misma forma las características mecánicas, mientras que aparecen, fotografía núm. 46, formaciones de ferrita-perlita.

A 250° y 275° C. Se obtienen buenos valores de resistencia pero en conjunto el acero presenta malas condiciones mecánicas, debido a que como puede verse, en las fotografías números 47 y 48, su estructura es la de un revenido muy poco perfecto. De este modo se deduce que la temperatura más conveniente será la de 200° C.

Tratamiento térmico:

Recocido: 850° C.

Temple: 825° C. en aceite.

Revenido: 200° C. al aire.

Características mecánicas:

E = 148 Kgs.

R = 157 Kgs.

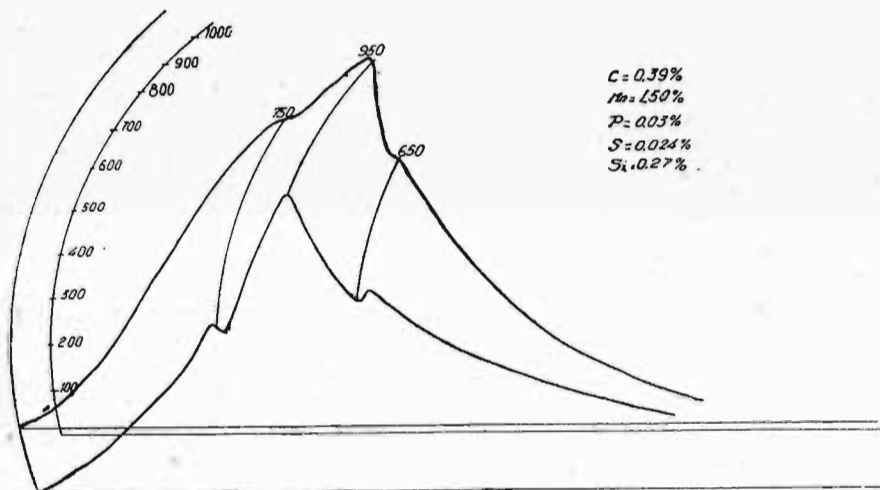
A % = 10

$\epsilon$  % = 38

$\Delta R. c.$  = 50

$\rho$  = 2,3

ACERO AL MANGANESO -C- RECOCIDO.—El análisis tér-



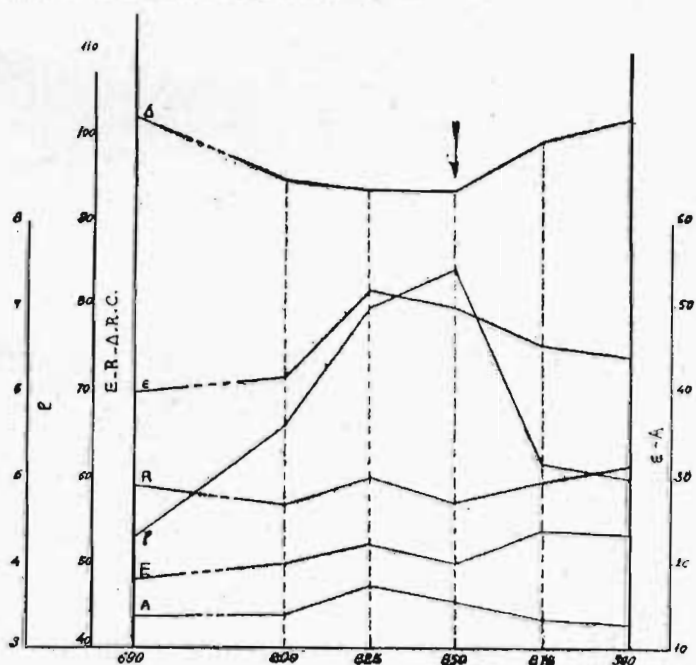
Análisis térmico del acero al manganeso C



mico pone de manifiesto que los valores de los puntos críticos para este acero son  $750^{\circ}$  y  $650^{\circ}$ . Sometimos cinco muestras a recocidos, a temperaturas comprendidas entre  $800$  y  $900^{\circ}$ . Intentamos nuevamente la formación de cementita globular, pero aún nos resultó peor que el acero—A—ya que como indica el gráfico ni siquiera se obtuvo un buen valor para la resiliencia. La estructura, fotog.<sup>a</sup> n.º 49, indica también muy malas propiedades por su irregularidad.

A  $800^{\circ}$  C. Hay poca variación en las características mecánicas, excepción hecha de la dureza y resiliencia. La estructura, es más fina que antes, pero conserva su irregularidad, en la distribución de los constituyentes. Fotog.<sup>a</sup> n.º 50.

A  $825^{\circ}$  C. Aumenta la resiliencia y la resistencia, bajando algo la dureza, la estructura mejora, fotog.<sup>a</sup> n.º 51, pues es más uniforme.



Acero al manganeso C. Estudio de recocido

A 850° C. Con aumento de resiliencia y conservándose casi iguales las restantes características, se obtienen en conjunto buenas cifras mecánicas. La estructura fotog.<sup>a</sup> n.º 52, es correcta, aún cuando no se aprecia bien en la prueba por estar hecha con pocos aumentos.

A 875° y 900° C. Con ligeros aumentos de dureza y resistencia a la tracción, se obtienen valores muy bajos de resiliencia, de acuerdo con la estructura observada en las fotog.<sup>a</sup> núms. 53 y 54 en las que se nota el aumento del tamaño de los granos de ferrita y perlita

De todo lo anteriormente expuesto, se deduce que la mejor temperatura de recocido, será la de 850° pues a pesar de que a otras temperaturas podría lograrse mayor dureza, aquí obtenemos el mejor valor de la resiliencia, acompañado de una buena estructura.

ACERO AL MANGANESO—C—TEMPLE.—Como indica el gráfico correspondiente los puntos críticos de este acero son 750° y 650°, luego calculando unos 50° para el enfriamiento al salir del horno, la temperatura de temple debe ser 800° C. Siguiendo la misma marcha que anteriormente realizamos seis ensayos, por duplicado, sobre barretas recocidas a la temperatura ya fijada antes de 850° C. Como la histeresis es aun mayor utilizamos el mismo baño, que servirá también para los restantes aceros.

A 775° C. La estructura es todavía propia de recocido, los únicos constituyentes, ferrita y perlita, fotografía número 55, aparecen algo aumentados de tamaño en relación con su estado anterior. En el gráfico se observa escasa dureza y buena resiliencia.

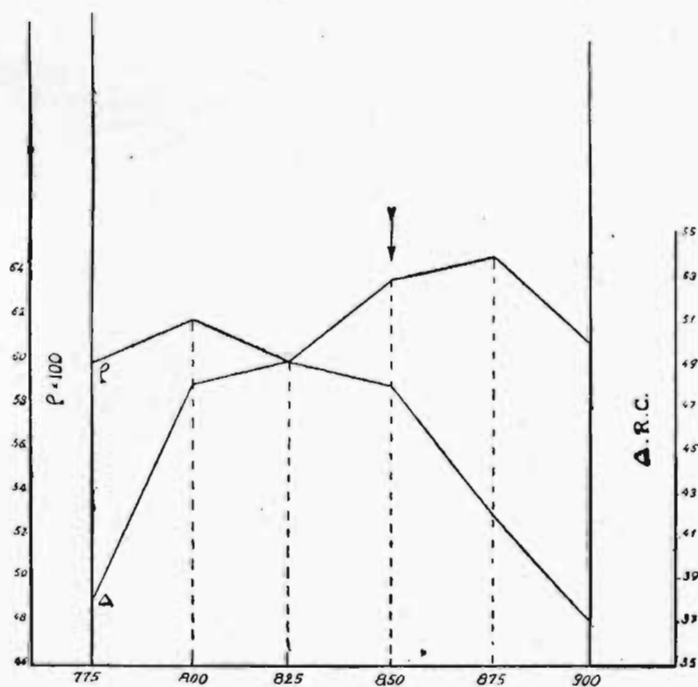
A 800° C. Fotografía número 56, los constituyentes no han variado, pero su tamaño ha disminuido. Aumenta la dureza y un poco la resiliencia.

A 825° C. Puede observarse en la fotografía número 57 un profundo cambio estructural. Aparecen grandes núcleos de troostita, rodeando las agujas de martensita, lo que indica que el temple no

es aún perfecto. Comienza el decrecimiento de la resiliencia, mientras que la dureza tiene un pequeño aumento.

A 850° C. Se observa en la fotografía número 58, la desaparición de las zonas trostíticas. Las agujas de martensita afinan su estructura, siendo este el único constituyente que en ella puede apreciarse. Se trata de un temple perfecto. De acuerdo con esto la dureza sufre un nuevo aumento, descendiendo ligeramente la resiliencia, lo que motiva que en este acero se haya alcanzado un estado de temple más perfecto que en los anteriores, ya que a pesar de la buena estructura y dureza conseguidas la fragilidad no ha aumentado exageradamente.

A 875° C. Las agujas de martensita. fotografía número 59, aparecen ahora aumentadas de tamaño y se observa la formación de

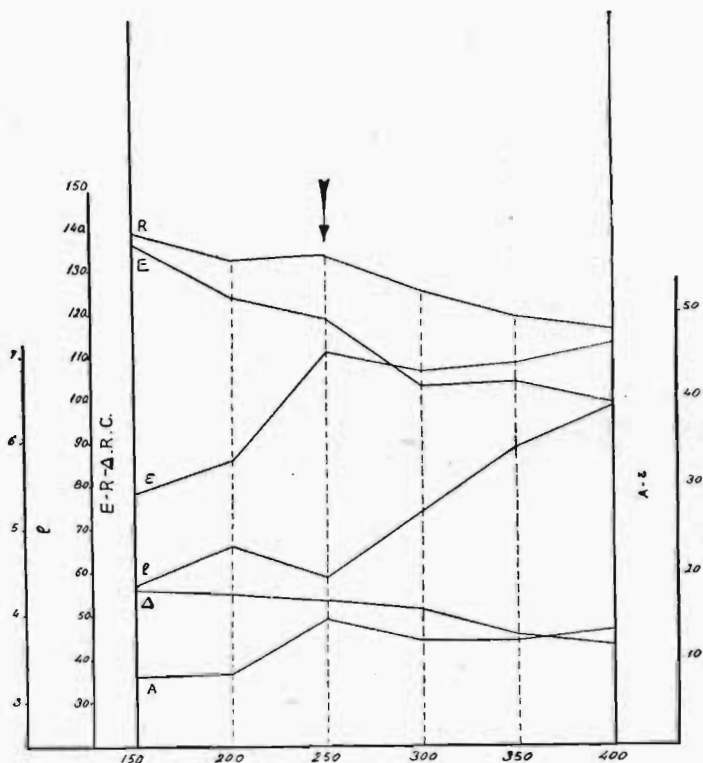


Acero al manganeso C. Estudio de temple

poliedros de austenita, esto es la causa del brusco descenso de la resiliencia, sobre la dureza aun no se nota la influencia.

A 900° C. Las agujas de martensita, siguen aumentando de tamaño, creciendo también la proporción de austenita. Resultado del excesivo calentamiento, el acero se ha hecho tan frágil que en la fotografía número 60, puede apreciarse la formación de una grieta. Consecuencia de ello la resiliencia baja bruscamente y la dureza desciende también debido al escaso valor que alcanza en la austenita.

Resultado de estas investigaciones es que la temperatura más



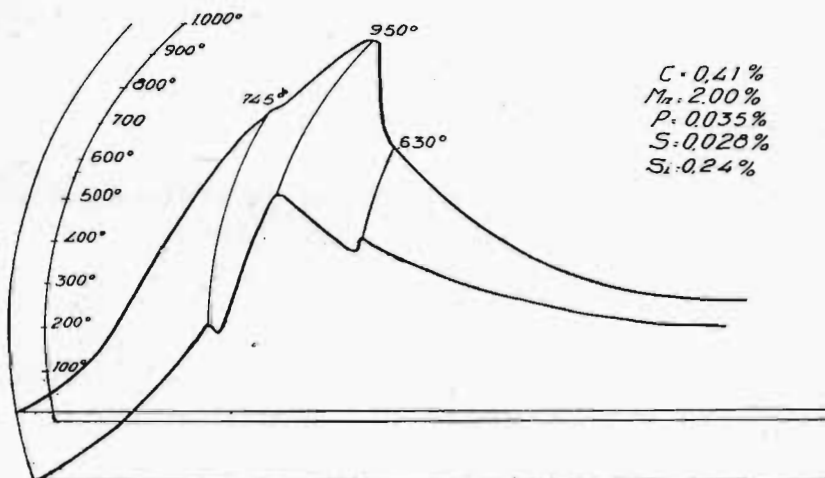
Acero al manganeso C. Estudio de revenido

conveniente de temple, puede afirmarse será la de 850° C., en la que con excelente dureza se conserva una buena resiliencia. La estructura, como dijimos antes es la de un temple perfecto.

ACERO AL MANGANESO —C—.REVENIDO.—De acuerdo con lo acabado de manifestar templamos a 850°. Las barretas destinadas a realizar estos ensayos. Las sometimos a calentamientos a temperaturas crecientes de 50 en 50° a partir de 150°.

A 150° C. Se observa una variación de las características mecánicas. La estructura, fotografía número 61, también ha sido alterada, presenta además de inclusiones de sorbita, causa de la disminución de dureza observada en el gráfico, las finísimas agujas de martensita originadas en el temple.

A 250° C. Conservándose constante la dureza y con un ligero aumento de la resistencia a la tracción, se obtiene una estructura, fotografía número 63, perfecta por su uniformidad. Los constituyentes, son los mismos que a la temperatura anterior, pero su re-



Análisis térmico del acero al manganeso D

parto y tamaño indican que han sido eliminadas las tensiones internas.

A 300°.—350° y 400° C. Se produce un aumento de resiliencia con decrecimientos regulares de la resistencia, límite elástico y dureza, es decir nos aproximamos a las cifras propias de recocido. En las fotografías correspondientes, números 64, 65 y 66, puede observarse la formación de zonas cada vez mayores de ferrita y perlita.

Resulta por tanto que en este acero la temperatura más adecuada para el revenido será la de 250° C., a la que con buenas cifras mecánicas, se obtiene una correcta estructura.

En consecuencia el tratamiento adecuado será el siguiente:

Recocido: 850° C.

Temple: 850° C. en aceite.

Revenido: 250° C. en aceite.

Cifras mecánicas:

$$E = 120 \text{ Kgs.}$$

$$R = 138$$

$$A \% = 15$$

$$\varepsilon \% = 48$$

$$\Delta. R. c. = 56$$

$$\rho = 4,4$$

ACERO AL MANGANESO—D—RECOCIDO.—El análisis térmico da como valores de los puntos críticos para este acero 745° y 630°.

Sometido a un recocido a la temperatura de 690° con el fin de obtener cementita globular, se llegó en lo que a la estructura se refiere, a mejor resultado que en los casos anteriores, según puede verse en la fotog.<sup>a</sup> n.º 67; sin embargo las características mecánicas no han sido tan recomendables como pudiera esperarse del examen micrográfico.

A 800° C. Las características mecánicas, conservan casi los mismos valores. La estructura, fotog.<sup>a</sup> n.º 68, varía en el sentido de que los granos de perlita son más finos, lo que constituye una prueba de mejoramiento en la calidad del acero.

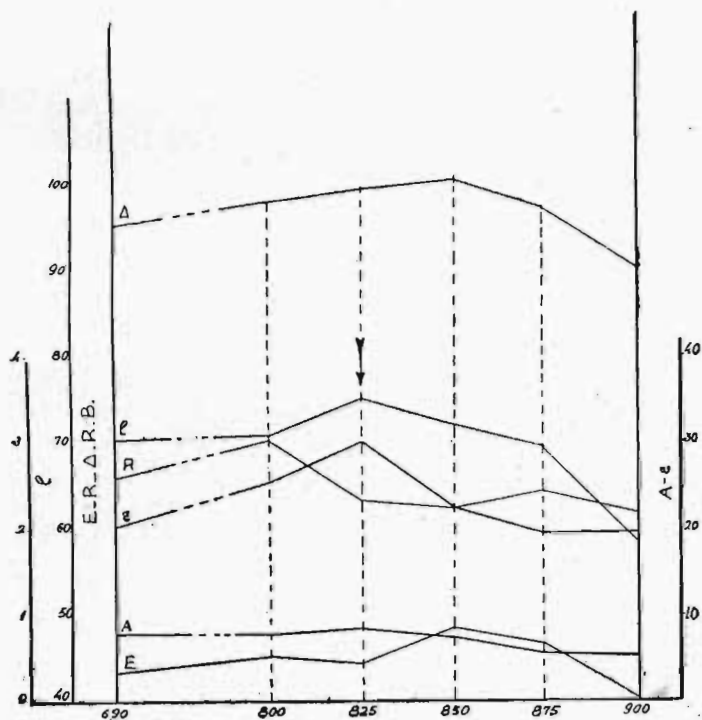
A 825° C. Mejora ligeramente la dureza y bastante la resiliencia, la resistencia a la tracción disminuye, lo mismo que el límite elástico. La estructura es mucho más fina y uniforme, fotog.<sup>a</sup> nú-

mero 69 debido a que se alcanza una formación perfecta. Aunque a  $800^{\circ}$  C. presentaba granos mayores, contra toda lógica, se debe a que no se habían formado los constituyentes de una manera correcta.

A  $850^{\circ}$  C. Encontramos un perjudicial aumento de la fragilidad del acero, conservando las demás características buenos valores. En la fotog.<sup>a</sup> n.º 70, se observa un aumento en el tamaño del grano.

A  $875^{\circ}$  y  $900^{\circ}$  C. Disminuyen la resiliencia y dureza; el acero es cada vez peor calidad, como puede verse en las fotog.<sup>a</sup> números 71 y 72, que presentan estructuras más groseras e irregulares.

Las mejores condiciones de recocido, se obtienen pues a temperatura de  $825^{\circ}$  C., es decir donde se presenta el máximo valor de resiliencia acompañado de una correcta estructura.



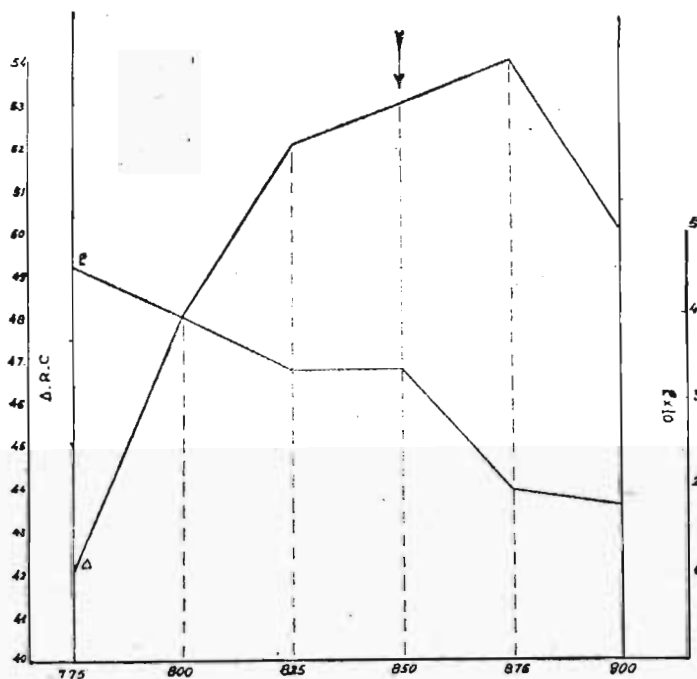
Acero al manganeso D. Estudio de recocido

ACERO AL MANGANESO—D—TEMPLE.—Este acero tiene como puntos críticos  $745^{\circ}$  y  $630^{\circ}$

Continúa el aumento de la histeresis en relación con los casos anteriores; por lo cual empleamos el mismo baño.

A  $775^{\circ}$  C. Todavía no puede afirmarse que se haya alcanzado la temperatura de temple. El valor de la resiliencia es muy alto, escasa la dureza y en lo que se refiere a estructura, en la fotografía n.º 73, puede verse que tan solo aparecen los constituyentes propios del recocido.

A  $800^{\circ}$  C. Disminuye ligeramente la resiliencia con gran aumento de dureza. La estructura microscópica, fotog.<sup>a</sup> n.º 74, presenta variaciones solamente en lo referente al tamaño del grano, es de-



Acero al manganeso D. Estudio de temple



cir, está formada por ferrita y perlita, muy entremezclados.

A 825° C. Se obtiene ya un buen valor para la dureza, pero aumentando como es natural la fragilidad. En la fotog.<sup>a</sup> n.º 75 se observa mayor finura de grano y la aparición de agujas de martensita.

A 850° C. A pesar de continuar el aumento de dureza, no crece la fragilidad, toda vez que la cifra de resiliencia es la misma que a la temperatura anterior. La estructura, fotog.<sup>a</sup> n.º 76, es claramente martensítica, aún cuando no se trata de un temple muy correcto ya que las agujas no son muy finas.

A 875° C. La estructura es menos fina y aumenta mucho la fragilidad la dureza prosigue su aumento. Fotog.<sup>a</sup> n.º 77.

A 900° C. La resiliencia se conserva casi igual, originándose un rápido decrecimiento de la dureza. La observación microscópica lo explica, pues se observa la formación de austenita, constituyente más blando. Fotog.<sup>a</sup> n.º 78.

La temperatura más conveniente para el temple de este acero deducida de las experiencias que anteceden, resultaba de 850°, a la que obteniéndose, casi el valor máximo de dureza, no se hace demasiado frágil; la estructura aunque no muy fina, es aceptable. A 875° se obtiene grano más fino y más dureza, pero, la resiliencia es demasiado baja, para los fines de empleo en las armas automáticas.

**ACERO AL MANGANESO—D—REVENIDO.**—Para estas experiencias sometimos a revenidos a temperaturas crecientes de 50 en 50°, a partir de 150° C., barretas previamente templadas a 850° C. temperatura corriente según anteriormente encontramos.

A 150° C. No observamos casi variación en las características de temple, pero logramos un valor bueno para la resistencia a la tracción. La estructura, fotog.<sup>a</sup> n.º 74, aparece modificada, en relación con la anterior de temple, en el sentido de apreciarse algunas inclusiones sorbíticas.

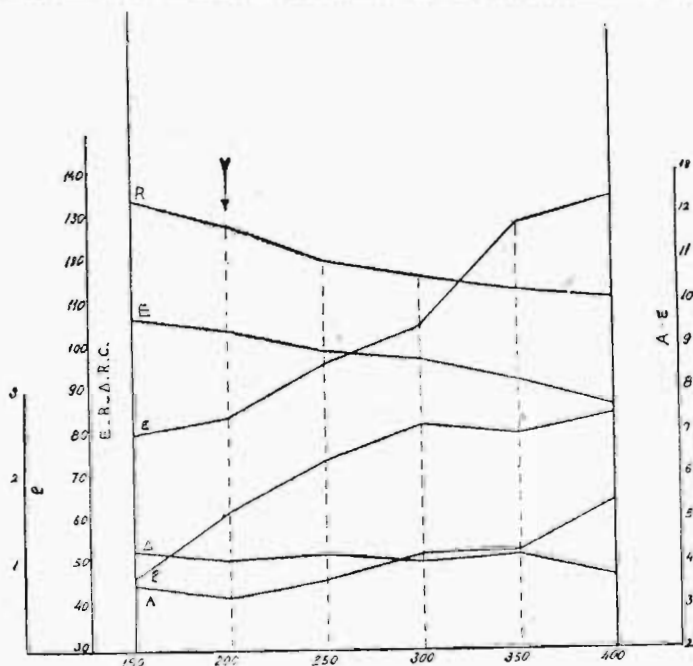
A 200° C. Con ligera disminución de dureza y buen aumento

en la resiliencia, se nos presenta una estructura, fina y regular, claramente de revenido. Fotografía número 80.

A 250° C. Se consigue un gran aumento de la resiliencia, conservándose constante la dureza, pero en conjunto el análisis mecánico no dá resultados aceptables debido al descenso experimentado por la resistencia a la tracción. La estructura, fotografía número 81, es muy parecida a la de la temperatura anterior, pero se inicia ya el paso, hacia los constituyentes de recocido.

A 300°, 350° y 400° C. Prosigue la disminución de la resistencia a la tracción, con aumento de la resiliencia. La estructura, representada en las fotografías números 82, 83 y 84, presenta, cada vez en mayor escala, formaciones de ferrita y perlita, es decir propias ya de recocido.

Deducimos pues que este acero precisa un revenido bajo y que las mejores condiciones se obtienen en los dos primeros ensayos



Acero al manganeso D. Estudio de revenido

si bien atendiendo a los valores de la resiliencia, creemos más conveniente elegir la segunda temperatura.

Tratamiento:

Recocido: 825° C.

Temple: 850° C. en aceite.

Revenido: 200° C. en aire.

Datos mecánicos:

$$E = 105 \text{ Kgs.}$$

$$R = 128$$

$$A \text{ } \% = 3,5$$

$$\epsilon \text{ } \% = 7,2$$

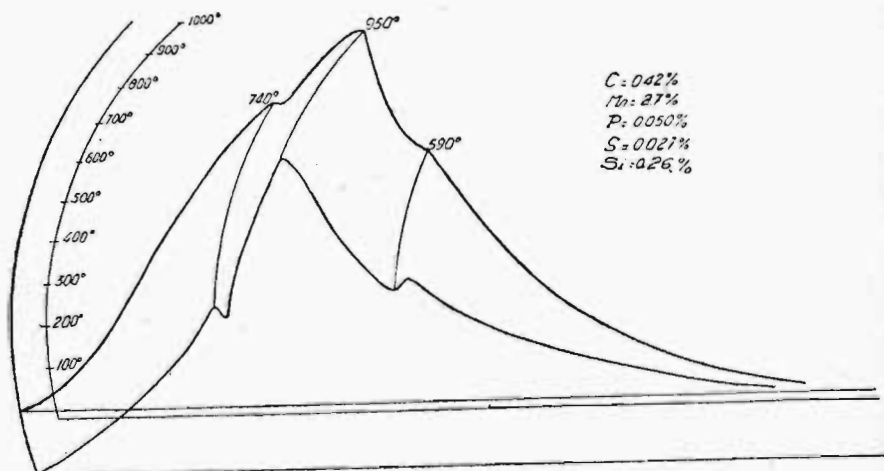
$$\Delta R. c. = 49$$

$$\rho = 0,8$$

ACERO AL MANGANESO —E—.RECOCIDO.—Los puntos críticos de este acero deducidos como siempre de su análisis térmico son 749° y 590°.

Realizamos cinco ensayos por duplicado, sometiendo las baquetas a temperaturas crecientes de 25 en 25° a partir de 800° C.

Primeramente practicamos el ensayo de obtención de cementita globular, con resultado negativo, según indica el bajo valor de la resiliencia que puede observarse en el gráfico y fotografía número 85.

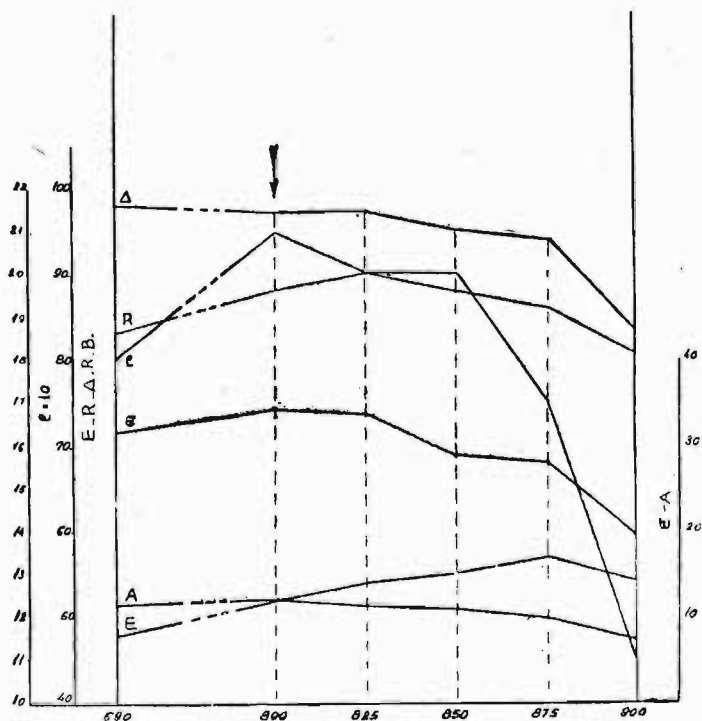


Análisis térmico del acero al manganeso E

A 800° C. Con escasa disminución de la dureza, se obtienen aumentos en la resistencia a la tracción y resiliencia. La microestructura, fotografía número 86, no es muy buena, pero acusa mejoría respecto al anterior ensayo.

A 825° C. La resiliencia sufre un brusco descenso, conservándose poco alteradas las restantes características. En la fotografía número 87, se observa mayor uniformidad en la distribución de los granos de ferrita y perlita, pero en cambio aumenta su tamaño.

A 850°, 875° y 900° C. Descienden la dureza y la resistencia casi paralelamente, y con mucha rapidez la resiliencia. Por esta



Acero al manganeso E. Estudio de recocido

causa las microfotografías números 88, 89 y 90 presentan un grano cada vez más grueso.

Deducimos de todo ello que la temperatura más conveniente para el recocido, será la de 800° C. a la que obtenemos el mayor valor de resiliencia y aceptables cifras de las otras características.

ACERO AL MANGANESO — E — TEMPLE.— Ya indicamos ser los puntos críticos de este acero 740° y 590°

El temple lo realizamos en las mismas condiciones que en el acero anterior.

A 775° C. Se obtienen bajos valores de dureza y de resiliencia. La estructura, fotografía número 91, presenta granos de ferrita y perlita. El aspecto es el de recocido.

A 800° C. Aumenta rápidamente la dureza, pero lo hace también paralelamente la resiliencia, lo que indica una variación con el comportamiento de los restantes aceros estudiados. La fotografía número 92, muestra casi exclusivamente ferrita y perlita, con pequeñas formaciones martensíticas.

A 825° C. Continúa el aumento de dureza y más intensamente el de la resiliencia. Microscópicamente, fotografía número 93, se observa gran aumento en la proporción de martensita que por no ser muy fina y por ir acompañada de los constituyentes propios de temperaturas más bajas, da lugar al buen valor que en este acero conserva la resiliencia.

A 850° C. Prosigue el aumento de la dureza. pero el acero se hace mucho más frágil ya que como puede observarse en el gráfico, la resiliencia experimenta un brusco descenso. De acuerdo con esto presenta una estructura, totalmente compuesta por martensita muy fina. Fotografía número 94.

A 875° C. La dureza no aumenta, continuando la resiliencia su rápida disminución, de acuerdo con la estructura fotografía número 95 en la que se observa aumento en el tamaño de las agujas martensíticas y aparición de austenita, lo que impide el crecimiento en la cifra de dureza.

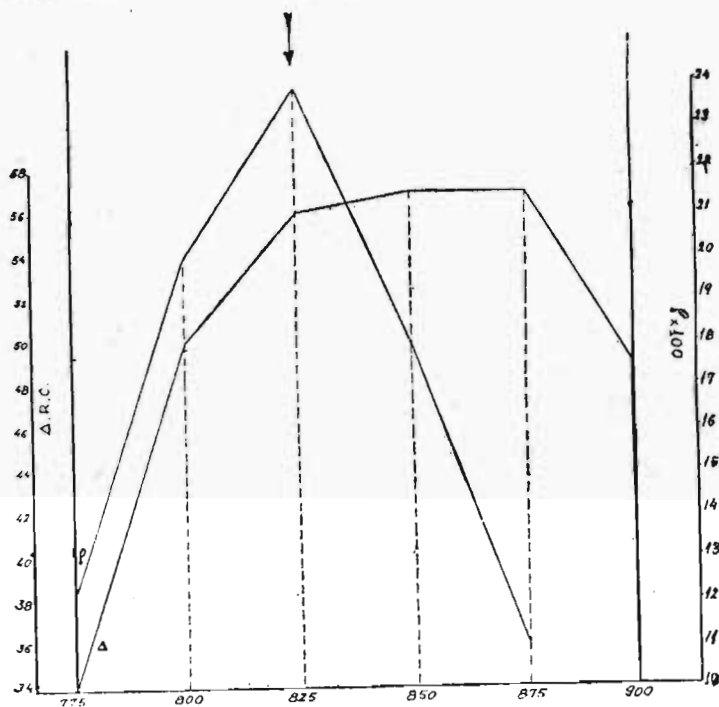
A 900° C. La resiliencia es bajísima y la dureza disminuye rá-

pidamente, debido a que como indica la fotografía número 96 la austenita forma grandes zonas poligonales, dando lugar a un acero blando y frágil.

La temperatura más conveniente será por tanto la de 825° C.

ACERO AL MANGANESO —E— REVENIDO.—Siendo la temperatura de temple en este acero la de 825° C. elegimos para las de revenido, las comprendidas entre los 150° y 400° C. con intervalos de 50°.

A 150° C. Como puede verse en la fotografía número 97, apenas ha sido modificada la estructura de temple, aparece en la muestra, martensita fina uniformemente distribuida. De acuerdo con esto la resiliencia es muy baja.

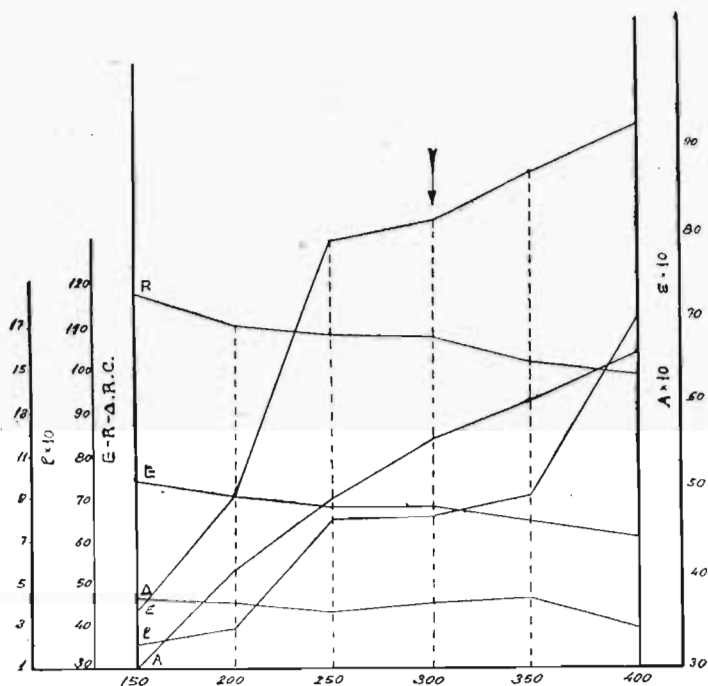


Acero al manganeso E. Estudio de temple

A 200° C. Se ven ya pequeñas formaciones sorbíticas, fotografía número 98 pero el grano se conserva aún muy fino y como la dureza apenas disminuye y baja la resistencia, se comprende que habrá peligrosas tensiones internas.

A 250° C. Mejora el conjunto de características mecánicas, pues perdiéndose poco en dureza y resistencia, se obtiene un gran aumento de resiliencia. En la fotografía número 99, se observa el aumento del grano.

A 300° C. Puede decirse que las características más importantes no han variado, pero mejora bastante la estructura, fotografía número 100, ya que las zonas de sórbita han aumentado y la martensita, aunque más fina que en los otros aceros estudiados, aumentó en el tamaño de sus agujas.



Acero al manganeso E. Estudio de revenido

A 350° y 400 C. Se obtienen mayores valores de resiliencia, pero las demás cifras disminuyen casi todas. En las fotografías números 101 y 102 se ven ya zonas de perlita y ferrita es decir se aproximan a estructuras propias de recocidos.

De lo anterior se desprende, que atendiendo en particular a la estructura, la temperatura más conveniente para el revenido de este acero será la de 300° C.

Tratamiento:

Recocido: 800° C.

Temple: 825° C. en aceite.

Revenido: 300° C. al aire.

Datos mecánicos:

$$E = 66$$

$$A \text{ } \rho\text{/}\rho = 3$$

$$\Delta R. c. = 47$$

$$R = 109$$

$$\rho\text{/}\rho = 8$$

$$\varepsilon = 0,15$$

## SEXTA PARTE

RESULTADOS.—Estudiados con el mayor detalle el acero al Cromo-Niquel y un grupo de aceros al manganeso preparados con la intención de sustituir al primero vamos ahora a examinar cual de estos últimos satisface mejor el fin que perseguimos.

Examinado el gráfico construido, tomando como abscisas los valores de las características mecánicas en estado de temple y revenido y uniendo los puntos correspondientes al mismo acero, pueden compararse fácilmente los resultados.

En las condiciones de empleo en las armas el Cr-Ni tiene las siguientes características:

$$E = 110 \text{ Kgs. } R = 125 \text{ Kgs. } A \text{ } \rho\text{/}\rho = 15. \varepsilon \text{ } \rho\text{/}\rho = 47$$

$$P = 5$$

$$\Delta R. C. = 52$$

Los aceros al manganeso E y A deben ser eliminados por la siguiente razón:

El límite elástico de estos aceros es muy inferior al del Cr-Ni (66 y 80 Kgs. respectivamente). La resistencia a la tracción del Mn-A es muy buena (solo 3 Kgs. inferior) y la del Mn-E algo baja (105 Kgs.) El alargamiento de estos dos aceros es en todos los casos muy inferior al del Cr-Ni. A la estricción le ocurre lo propio.

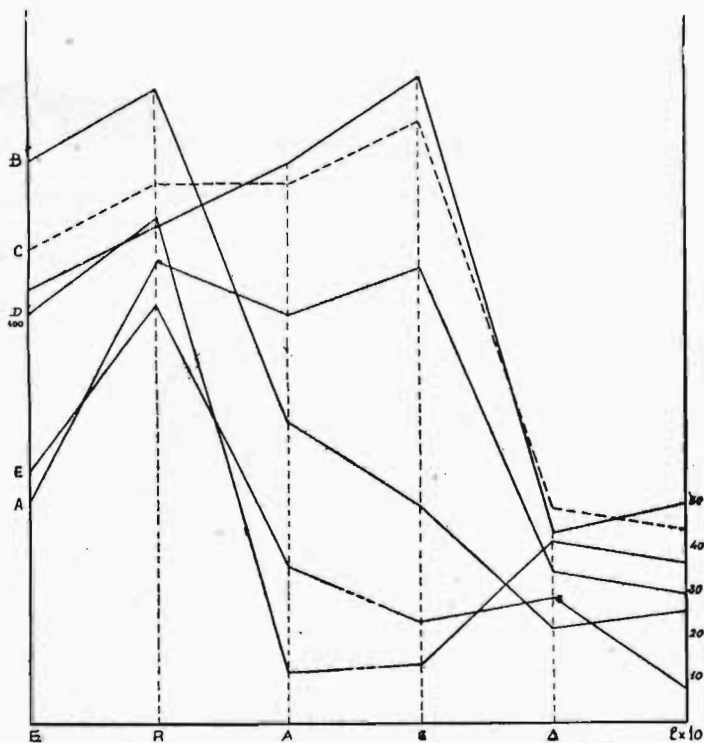


La dureza es muchísimo más baja. Estos dos aceros son francamente frágiles.

Las micrografías de los mismos están de acuerdo con ello, pues las correctas de revenido son en cualquiera de los dos casos muy inferiores en calidad a las presentadas por el Cr-Ni (fotos n.º 31 referente al A y n.º 100 referente al E).

El acero al Mn-D podría emplearse como sustitutivo del Cr-Ni por lo que a su límite elástico y carga de rotura se refiere, pero su resiliencia infinitamente más pequeña le hace inutilizable. La estricción, el alargamiento y la dureza son muy inferiores.

Examinada la micrografía del Cr-Ni en el estado de temple y revenido, fotograf.<sup>a</sup> n.º 14 y la misma del Mn-D se observa claramente que en la correspondiente al Mn-D hay más confusión, no dis-



Estudio comparativo entre los diferentes aceros al manganeso y al cromo-níquel

tinguiéndose bien unos componentes de otros; en cambio en la del Cr-Ni la diferencia es completa.

En cuanto al Mn-B su límite elástico y carga de rotura son muy superiores al Cr-Ni, pero en cambio su dureza es muy baja y la resiliencia más aún. Esto lo hace inútil ya que es preciso conseguir un acero muy resiliente aún cuando presenta dificultades dado que el Mn comunica fragilidad a los aceros. El alargamiento no es muy inferior, pero la estricción, con 10 cifras de diferencia, no hace más que confirmar lo indicado anteriormente.

Tampoco es muy favorable la micrografía n.º 45, que muestra el acero en las condiciones óptimas; comparada ésta con su homólogo del Cr-Ni su inferioridad es manifiesta.

Por lo que se refiere al Mn-C reúne casi de modo perfecto todas las características precisas; a saber: buena carga de rotura con límite elástico elevado y resiliencia próximo a la del Cr-Ni. La estricción de este acero se diferencia en una unidad. El alargamiento es el mismo, o sea:

	<u>Cr-Ni</u>	<u>Mn</u>	<u>Diferencia</u>
E. m/m <sup>2</sup>	110	120	+ 10
R. m/m <sup>2</sup>	125	138	+ 13
A °/o	15	15	0
ε °/o	47	48	+ 1
Δ. R. c.	52	56	+ 4
ρ	5	4,4	- 0,6

Solamente se observa en el cuadro ser más frágil el acero al Mn que Cr-Ni. Sin embargo las demás cifras mecánicas son iguales (alargamiento) o superiores. Cabe preguntar por que razón este acero que parece de calidad superior no se empleó hasta ahora en la construcción de armas en lugar del Cr-Ni. No hay otro motivo sino el que la resiliencia, tan importante en las piezas sometidas a esfuerzo de fatiga es algo inferior a la del Cr-Ni aparte la ma-

yor dificultad en los trabajos de mecanización (torno, fresa) que siempre los aceros al manganeso presentan.

La micrografía n.º 63 que corresponde a la mejor temperatura de revenido de este acero, comparada con la 14, que es la óptima de revenido del Cr-Ni, indica que la primera es de grano un poco más grueso, lo que se traduce por una menor resiliencia, como acabamos de indicar.

Confirmación de todo lo anteriormente expuesto fueron los ensayos que se hicieron en la Fábrica Nacional de Armas de Oviedo, de la que solicitamos que hiciesen una pieza importante de cualquier clase de arma automática.

Accedieron amablemente a ello, comprometiéndose a construir un émbolo de la ametralladora ligera A. L. F. A., con el material y tratamiento térmico, que nosotros le habíamos indicado. A continuación comunicó la dirección de la citada Fábrica que el resultado había sido satisfactorio, pero haciendo observar dos cosas:

1.º Que la mecanización había sido más lenta por tener que emplear velocidades de corte más pequeñas que para la construcción de esta clase de piezas se requiere cuando se trata de aceros al Cr-Ni.

2.º Que el tiempo de calentamiento de esta pieza en el tratamiento de temple había tenido que ser un poco más prolongado que para el acero al Cr-Ni.

Estas dos observaciones no influyen grandemente en el coste de la pieza, pudiéndose decir que, prácticamente, el precio del émbolo con una y otra clase de material es el mismo. Además hicieron presente que hechas las pruebas en fuego con este émbolo se pudieron hacer 15.000 disparos, vida normal en un émbolo de acero al Cr-Ni, sin que se observara la más mínima anormalidad.

En un apartado comunicaban que procederían a construir con acero al Mn émbolos para la ametralladora ligera y quizá otras piezas de esta misma arma que antes se hacían con acero al Cr-Ni.

Con esto dan fin todas nuestras experiencias, pues claramente demostramos que mecánicamente, metalográficamente y en la mis-

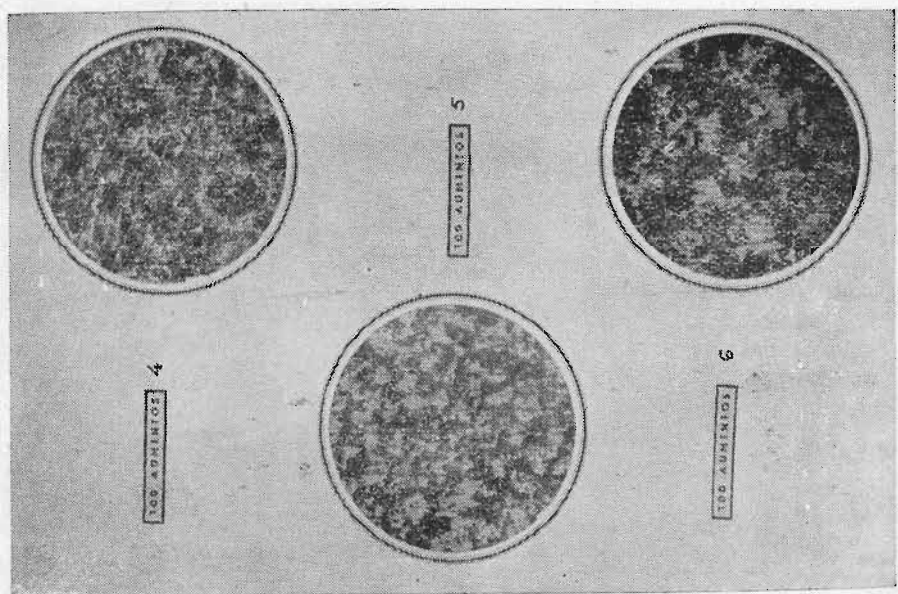
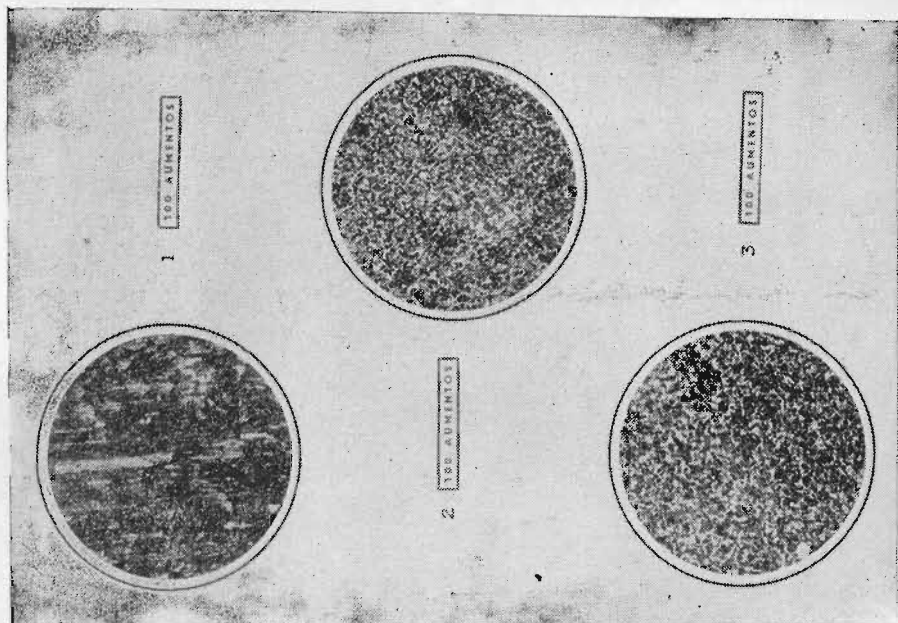


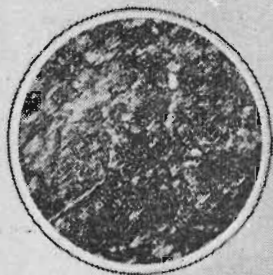
ma arma, este acero al manganeso sustituye al Cr-Ni, objeto de la presente tesis.

Y nos cabe la satisfacción de haber logrado cual era nuestro propósito llegar a preparar un acero autártico sustituyendo al cromo níquel de importación realizando características muy poco inferiores a este último, que era hasta ahora el único empleado en la fabricación de las partes esenciales de la ametralladora antiaérea.

Hemos de expresar a nuestro Profesor el Catedrático Dr. DON JOSE MARIA FERNANDEZ-LADREDA que nos señaló el tema y nos orientó con sus valiosos consejos y advertencias, así como también al Jefe del Laboratorio de la Fábrica de Armas Comandante D. LUIS LATORRE, Maestro D. FRUTOS QUIROS y Licenciado en Ciencias Químicas D. JOSE MARIA ESTRADA que tanto y con tanto acierto y cariño nos ayudaron en la realización de este trabajo nuestra gratitud, y terminando haciendo presente al Director de la Fábrica Coronel CASTILLO nuestra admiración y el gratísimo recuerdo que conservamos de la Fábrica modelo en todo, en técnica, en medios y en cortesía.

Oviedo, 10 de febrero de 1945.



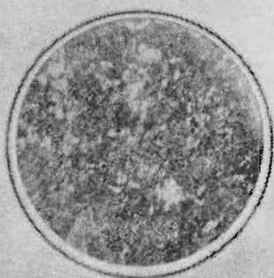


7

100g. AUMINIOS

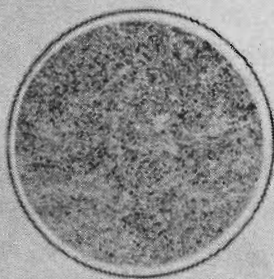
8

100g. AUMINIOS



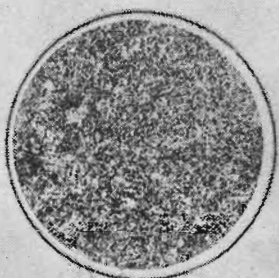
9

100g. AUMINIOS



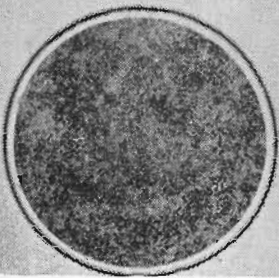
100g. AUMINIOS

10



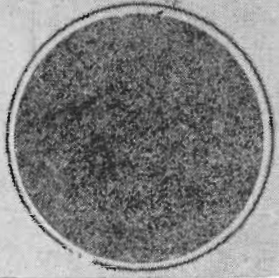
100g. AUMINIOS

12

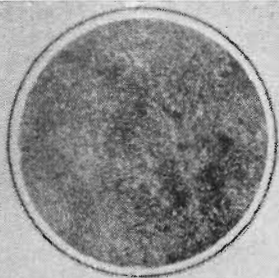
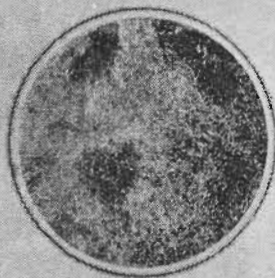


100g. AUMINIOS

11



13 300 ADMINTOS

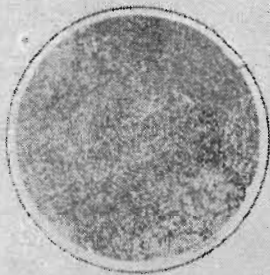


14 300 ADMINTOS

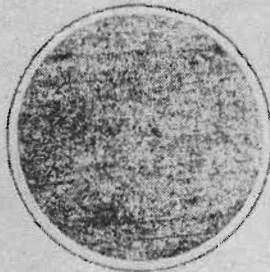
15 300 ADMINTOS



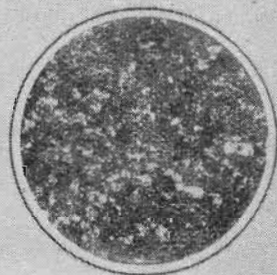
16 300 ADMINTOS

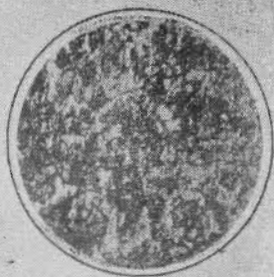


17 300 ADMINTOS



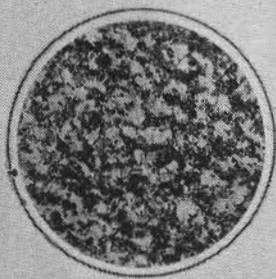
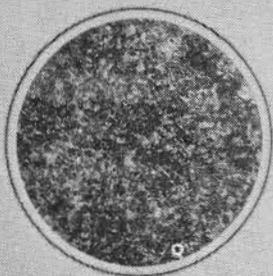
18 300 ADMINTOS





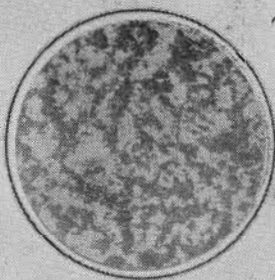
19 100 ASMINITOS

20 100 ASMINITOS

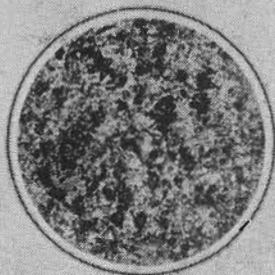


21 100 ASMINITOS

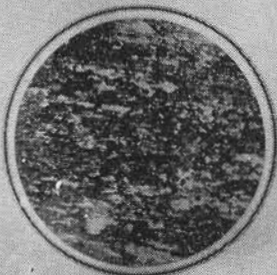
22 100 ASMINITOS



23 100 ASMINITOS



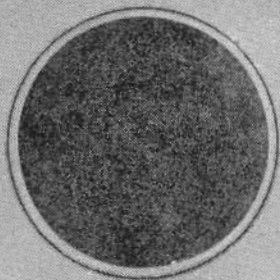
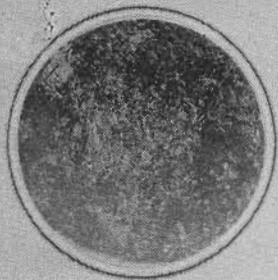
24 300 ASMINITOS





300 AUMENTOS

25

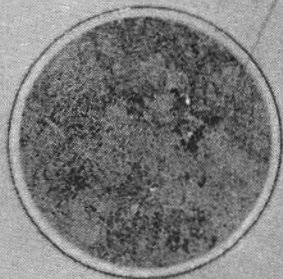


300 AUMENTOS

26

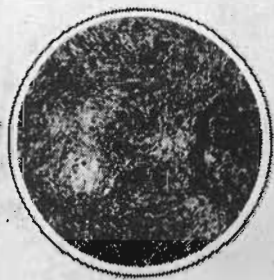
300 AUMENTOS

27



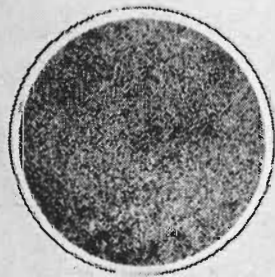
28

300 AUMENTOS



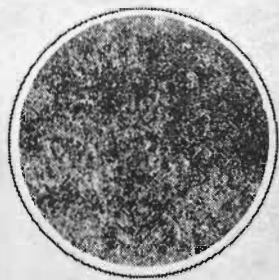
300 AUMENTOS

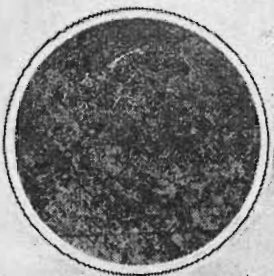
29



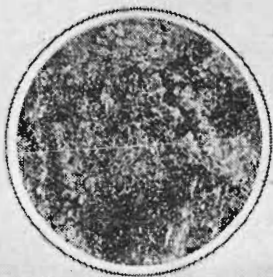
30

300 AUMENTOS

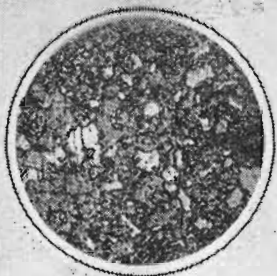




31 100 KUMINIOS

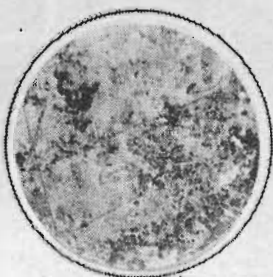


32 100 KUMINIOS

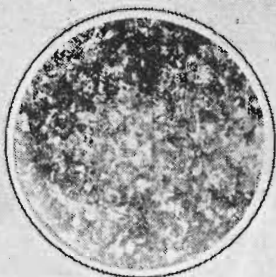


33 200 KUMINIOS

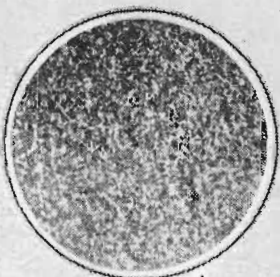
34 100 KUMINIOS



35 100 KUMINIOS

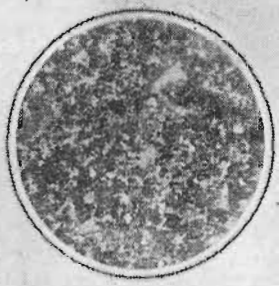


36 100 KUMINIOS



100 ADMINIOS

37



100 ADMINIOS

39

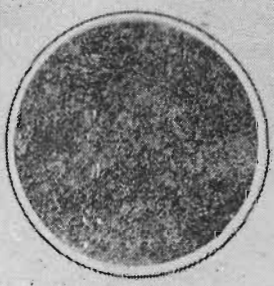


100 ADMINIOS

38

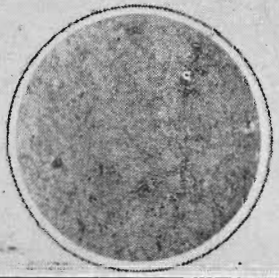
100 ADMINIOS

40



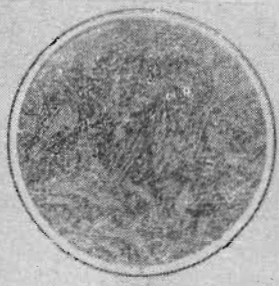
100 ADMINIOS

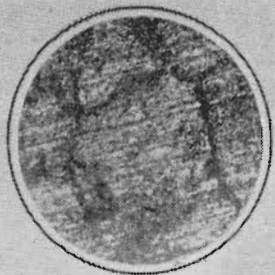
41



100 ADMINIOS

42





43

300 ALUMINIOS

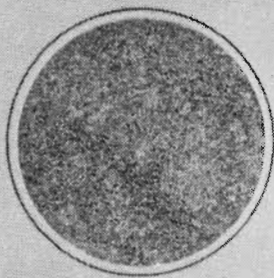
44

300 ALUMINIOS



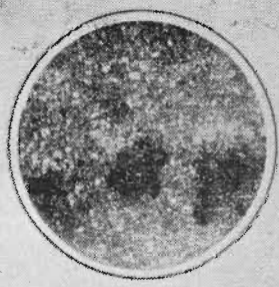
45

300 ALUMINIOS



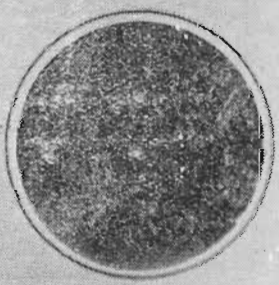
300 ALUMINIOS

46



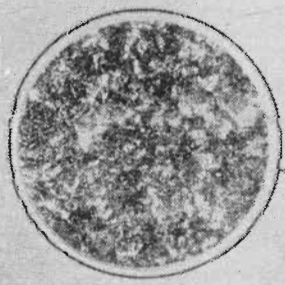
300 ALUMINIOS

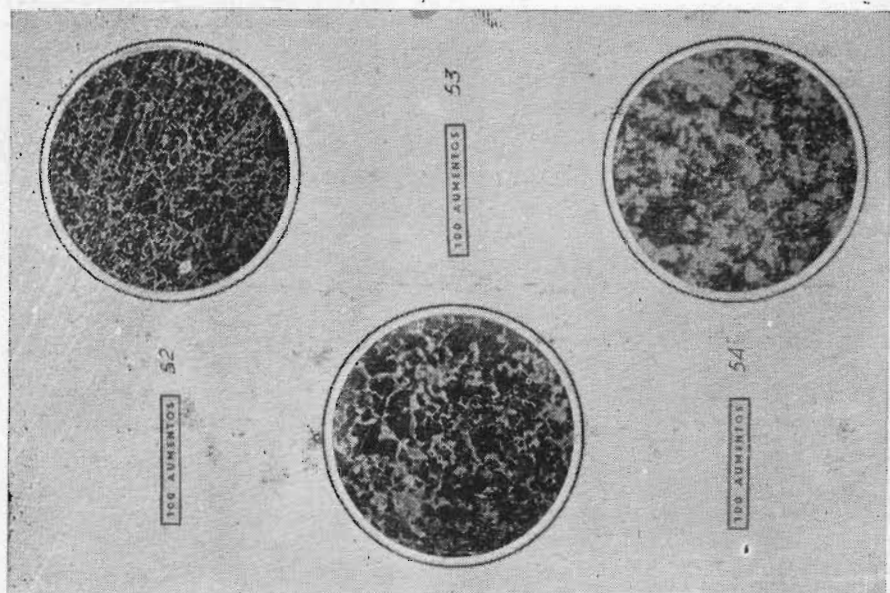
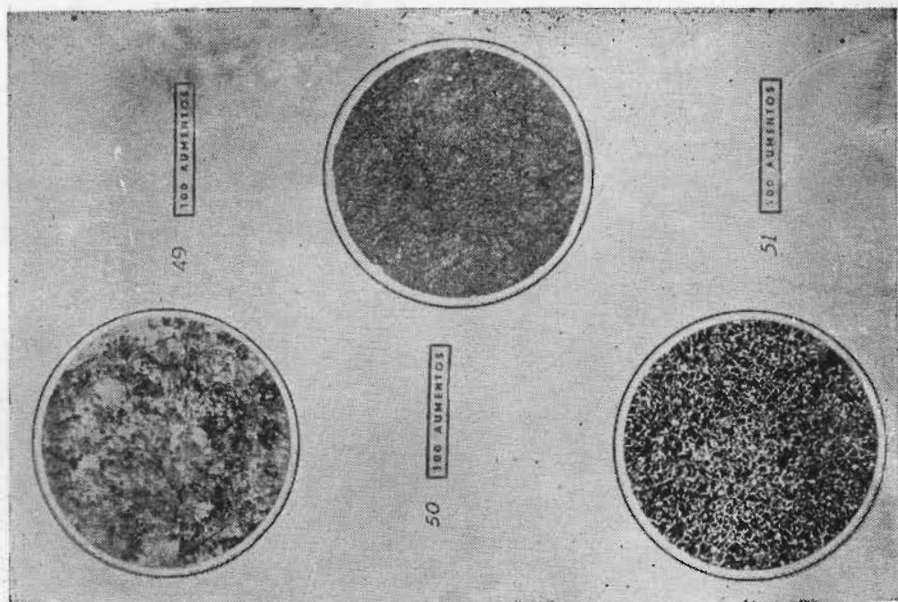
47

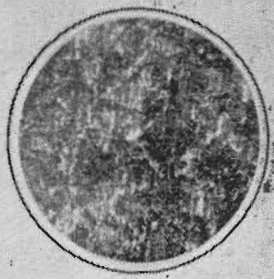


300 ALUMINIOS

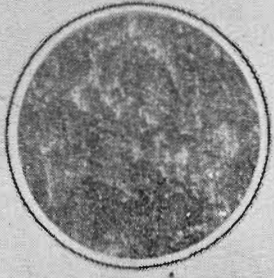
48



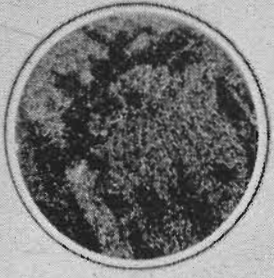




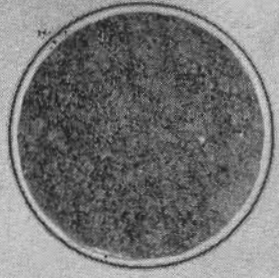
55  
100 AUMINIOS



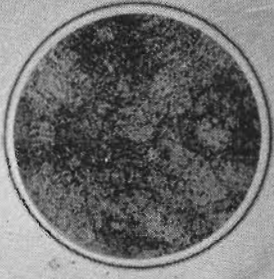
56  
100 AUMINIOS



57  
100 AUMINIOS



58  
100 AUMINIOS



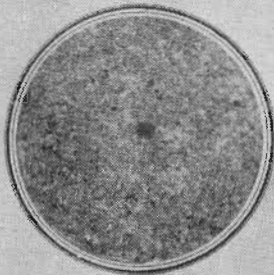
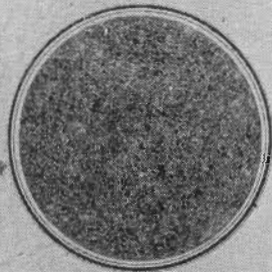
59  
100 AUMINIOS



60  
100 AUMINIOS

300 AUMENTOS

61

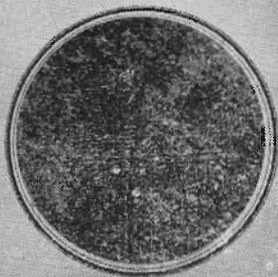


62

300 AUMENTOS

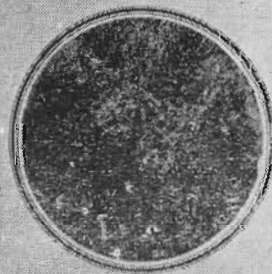
300 AUMENTOS

63



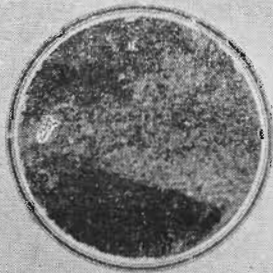
300 AUMENTOS

64



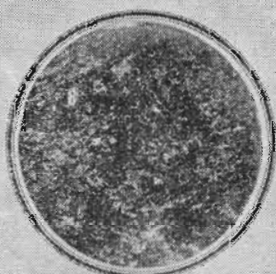
65

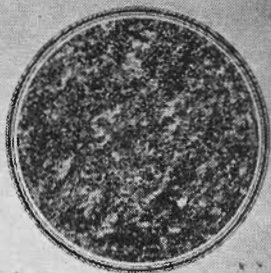
300 AUMENTOS



66

300 AUMENTOS



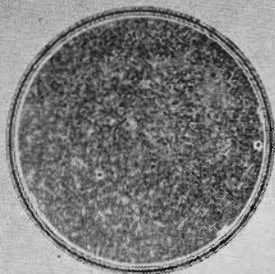


67

100 AUMINIOS

100 AUMINIOS

68

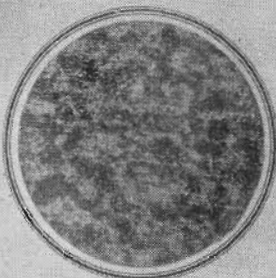
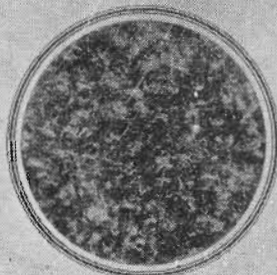


69

100 AUMINIOS

100 AUMINIOS

70



71

100 AUMINIOS

100 AUMINIOS

72





300 AUMINTOS

73

300 AUMINTOS

75

300 AUMINTOS

74

300 AUMINTOS

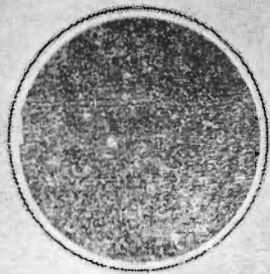
76

300 AUMINTOS

77

300 AUMINTOS

78

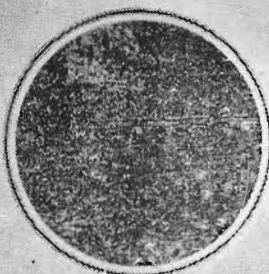
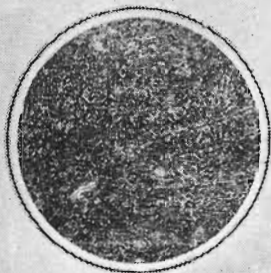


75

100 ADMIN 100

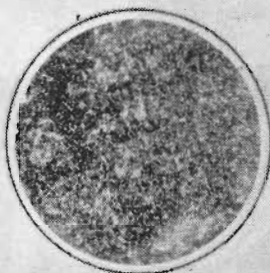
80

100 ADMIN 100



81

100 ADMIN 100



100 ADMIN 100

82

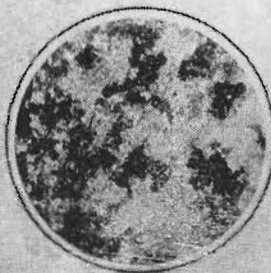
100 ADMIN 100

83



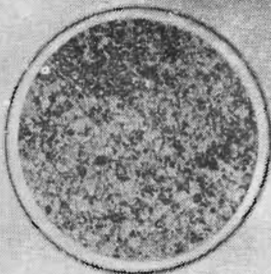
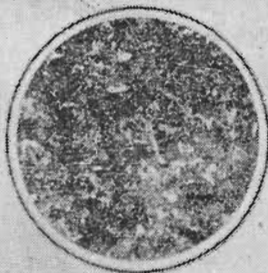
100 ADMIN 100

84



100 AUMENTOS

85

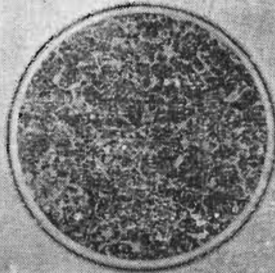


100 AUMENTOS

86

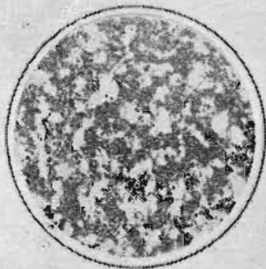
100 AUMENTOS

87



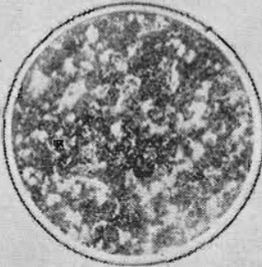
100 AUMENTOS

88



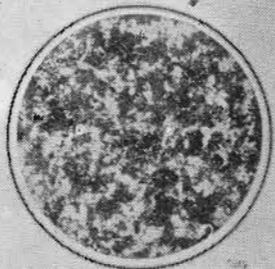
100 AUMENTOS

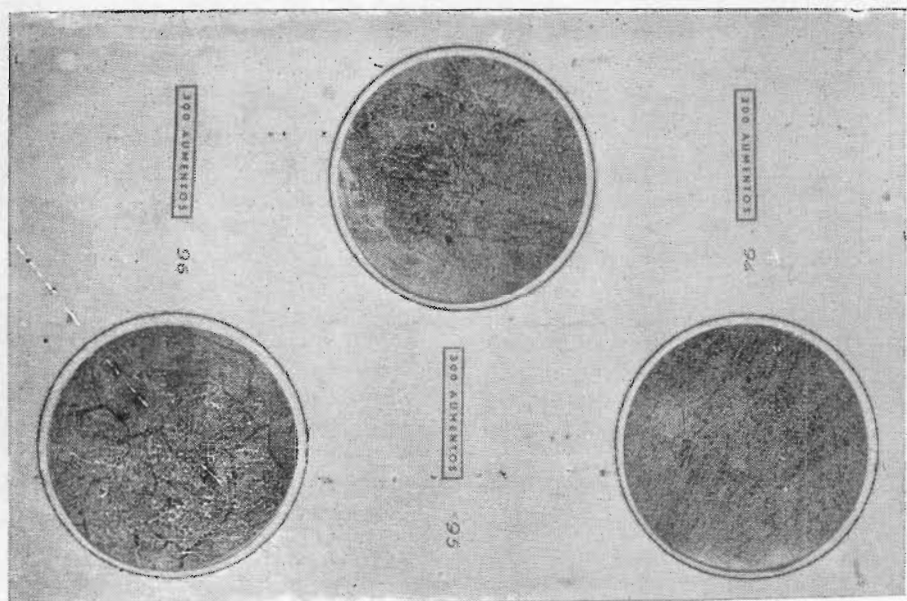
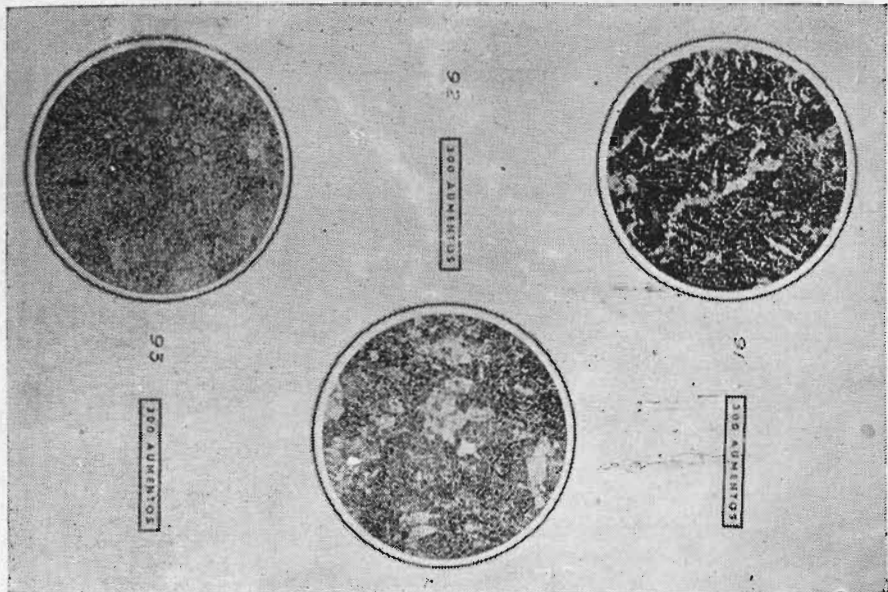
89



100 AUMENTOS

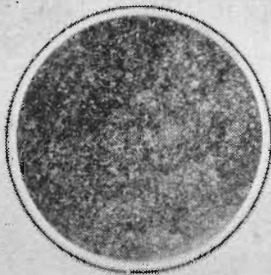
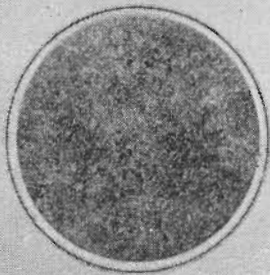
90





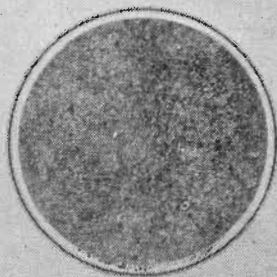
388 ADUNITOI

97



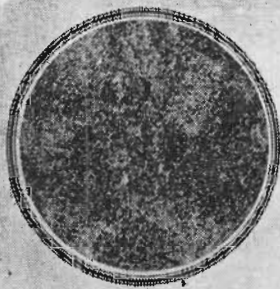
388 ADUNITOI

98



388 ADUNITOI

99

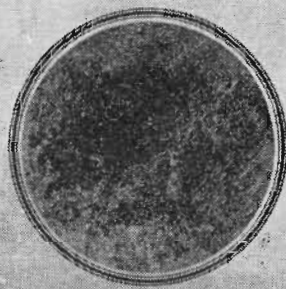
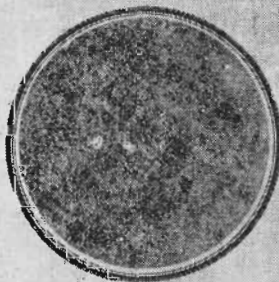


100

388 ADUNITOI

101

388 ADUNITOI



102

388 ADUNITOI

## CITAS BIBLIOGRAFICAS

- Precis de Metallographie Miroscopique et Macrographie.—L. Guillet et A. Portevin.
- Metallographie et traitement thermique du fer de l'acier.—A. Sauveur.
- Trempe, recuit et revenu de l'acier.—Guillet.
- Revue de Metallurgie.—1935.
- Comptes rendus de l'Academie des Sciences.—1922.
- Communication de plusieurs auteurs aux III<sup>e</sup> Congres de Fonderie.—Londres, 1929.
- Contribution a l'etude des alliages.—De Charpy 1932.
- Metallurgie.—Janecke, 1929.
- Compte rendu du Congres de Bruxelles: Industrie Minerale, 1926.
- Iron and Steel, 1936.
- Institute of British Foundrymen, 1929.
- American Society for Metals National: Metals Handbook, 1933.
- Iron Age.—Anderson, 1928.
- Iron and Steel Institute.—Andrew and Green, 1939.
- Probenahme und Analyse von Eisen und Stahl, 1922.
- Kristallisieren und Schmelzen.—Tamman, 1937.
- Stahl und Eisen, 1907-1936.
- Materialienkunde.—Martens und Heyn.—Tomo 2 A.
- Ferrum.—Ruer und Goerens, 1917.