T
669.7
065

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
AREA DE METALURGIA-MECANICA



TESIS DE GRADO

"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL NIQUEL OBTENIDO POR ELECTROFORMADO"

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO MECANICO

POR:
OSWALDO ORDOÑEZ O.

D-3937

GUAYAQUIL-ECUADOR
1.980

"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL NIQUEL OBTENIDO POR ELECTROFORMADO"

DIRECTOR DE TESIS

ING. IGNACIO WIESNER F.

AUTOR

OSWALDO ORDONEZ O.

DEDICATORIA

A mis padres

A mi esposa

A mis hijos

AGRADECIMIENTO

A la ESCUELA SUPERIOR

POLITECNICA DEL LITORAL

Al ING. IGNACIO WIESNER, Director de tesis, por su acertada guía en el desarrollo de este trabajo.

DECLARACION EXPRESA:

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis son de responsabilidad de su autor y que el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL).

"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL NIQUEL OBTENIDO POR ELECTROFORMADO"

Pág.

CAPITULO 1

INTRODUCCION 1

CAPITULO 2

2.1. Exposición del problema 4

2.2. Descripción de fallas 5

CAPITULO 3

FUNDAMENTOS DE ELECTROFORMADO 9

3.1. Generalidades 9

3.2. Importancia tecnológica del proceso 13

3.3. Electroformado a base de níquel 15

3.4. Variables que influyen en las propiedades mecánicas del níquel electroformado. 36

CAPITULO 4

TRABAJO EXPERIMENTAL 46

4.1. Técnica experimental 46

4.1.1. Descripción de la técnica a usarse 46

4.1.2. Equipo piloto de electroformado 46

4.2. Obtención de muestras de níquel 50

4.2.1. Obtención de muestras de níquel con variación de pH. 55

4.2.2. Obtención de muestras de níquel con variación de la densidad de corriente. 56

Pág.

4.2.3. Obtención de muestras de níquel con variación de temperatura. 57

4.2.4. Obtención de muestras de níquel con variación del contenido metálico de la solución. 57

4.3. Control de propiedades mecánicas y metalográficas. 58

4.3.1. Examen microscópico 58

4.3.2. Microdurometría Vickers 76

4.3.3. Ensayos de tracción 77

4.4. Análisis de resultados 98

4.5. Pruebas en Planta 108

4.5.1. Descripción del equipo 108

4.5.2. Elaboración de Matrices 120

4.5.3. Pruebas de Matrices en prensa 123

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 127

DIAGRAMAS Y TABLAS 133

BIBLIOGRAFIA 139

CAPITULO 1

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El níquel ampliamente utilizado para proteger el hierro contra la corrosión o para darle una mejor presentación es también susceptible de trabajarse como níquel solo para múltiples aplicaciones de ingeniería, dentro de los que se incluye el proceso de Electroformado.

Este proceso involucra el uso de un electrólito, barras de níquel como ánodos metálicos y cátodos con geometría predeterminada sobre los que se deposita el metal en cuestión en forma iónica mediante el uso de corriente continuada.

Es un proceso similar al de electrodepósito precitado pero con la diferencia que el níquel procesado por electroformado (electroforming) se separa posteriormente y trabaja como un elemento completamente independiente sin el concurso de un metal o elemento base.

Una de las importantes aplicaciones industriales del proceso consiste en la fabricación de matrices fonográficas que a la vez de ser fieles, geométricamente hablando, con respecto al molde deben poseer características mecánicas especiales para resistir trabajo mecánico.

Se usa entonces el níquel electroformado para tales propósitos y sus características mecánicas se manejan a través de parámetros controlables del proceso tales como pH, densidad de corriente, temperatura y contenido metálico de la solución del baño.

Se ha detectado en una fábrica de la localidad que se manifiestan problemas de producción de los discos fonográficos por fallas prematuras de las matrices de níquel (stampers), lo cual ha sido la motivación para la presente investigación del níquel electroformado a nivel metalúrgico con miras a solucionar el problema mencionado.

La manera de atacar el problema ha sido consultando la información existente en manuales y publicaciones de entidades relacionadas con estos procesos de los fundamentos y tecnologías del electroformado.

Luego de ello se construyó un equipo piloto experimental para obtener muestras de níquel en el que se puede simular las características del proceso industrial y de esta forma poder extrapolar los datos obtenidos a la planta.

Como paso fundamental de la investigación se han utiliza

do métodos normalizados de control de propiedades mecánicas que permiten conocer la influencia de cada parámetro del proceso en el níquel obtenido.

Se han efectuado además exámenes microscópicos, tomas de dureza y ensayos de tracción para control de las propiedades del metal.

Los resultados encontrados han servido como base para hacer recomendaciones al proceso industrial a fin de lograr una producción de matrices que garanticen un tiempo de vida adecuado (4000 - 5000 ciclos de trabajo).

Al ser sometidas al trabajo de planta las matrices hechas bajo condiciones de proceso previamente optimizadas en laboratorio por medio del control de propiedades mecánicas se encontraron resultados que identifican un mejoramiento de su rendimiento.

CAPITULO 2

CAPITULO 2

2.1. EXPOSICION DEL PROBLEMA

Dentro de las múltiples aplicaciones del electroformado de níquel encontramos la confección de matrices para discos fonográficos denominadas "stampers". En orden cronológico se han usado en este tipo de matrices metales como bronce, cobre y finalmente níquel buscando siempre una mayor fidelidad de las reproducciones lo cual se consigue si los microsurcos guardan identidad con la grabación sobre el molde denominado acetato y no se alteran con el tiempo.

Las alteraciones comunes de microsurcos son la deformación y la oxidación lo cual hizo que se diera preferencia al níquel en vez de cobre o bronce; más aún, se ha llegado a evitar la lenta oxidación del níquel mediante un ligerísimo baño de cromo el cual le imparte brillo al producto final, el disco, pero sacrifica la calidad del sonido.

Si bien el níquel ha sustituído a los demás metales y aleaciones en la confección de matrices no significa que se haya resuelto el problema completamente, es así que en las matrices de níquel se ha venido presentando fractura de las mismas (LP y 45 RPM) entre 20 ó 40 ciclos de trabajo y aún

menos cuando en realidad se espera una vida útil de por lo menos 4500 ciclos.

Una matriz fracturada tiene que ser forzosamente descartada por el freno que provoca en la producción, tal como se indica en la fotografía Nº 1.

Además el porcentaje de rechazo es mayor por la torcedura del disco producida por el desprendimiento dificultoso aun que se proceda con mucho cuidado. La torcedura del disco se indica en la fotografía Nº 2.

2.2. DESCRIPCION DE FALLAS

Las fallas más comunes son:

A. Fractura de la espiral cerca del borde

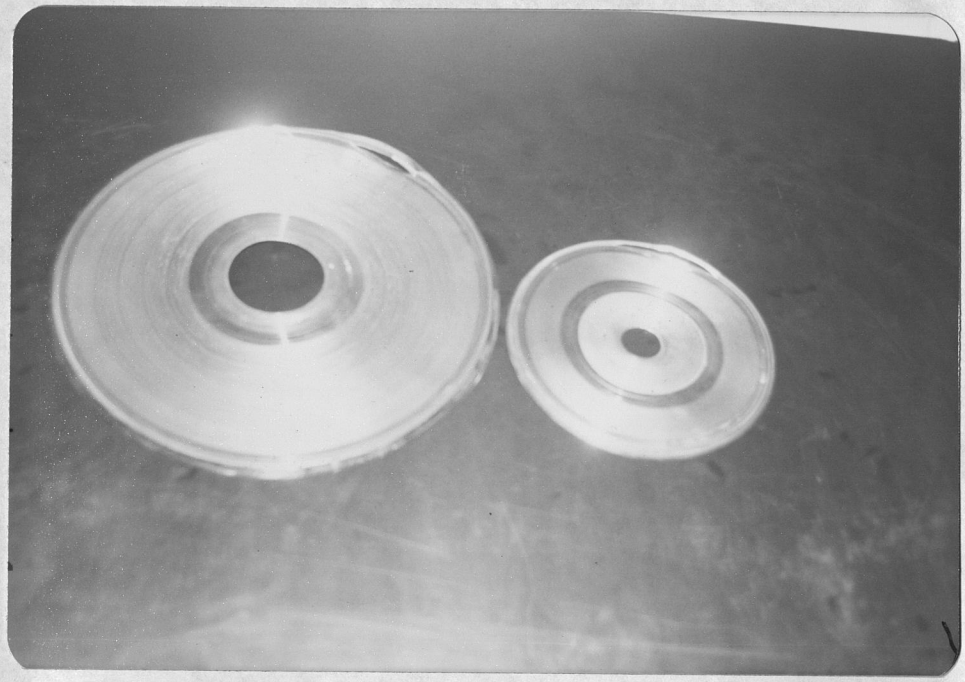
Si la matriz en estas condiciones se somete al trabajo mecánico de producción de discos sufrirá una fractura según el surco exterior y por su parte de menor espesor es decir por un valle, como se indica en la fotografía Nº 3.



FOTOGRAFIA Nº 1



FOTOGRAFIA Nº 2



FOTOGRAFIA Nº 3



FOTOGRAFIA Nº 4

B. Fractura del centro

Si una matriz en estas condiciones se somete al trabajo mecánico de producción de discos sufrirá una fractura según uno o más radios que van desde el borde central dirigidos hacia el diámetro exterior. Esta falla se indica en la fotografía Nº 4.

CAPITULO 3

CAPITULO 3

FUNDAMENTOS DEL ELECTROFORMADO

3.1. GENERALIDADES

La naturaleza eléctrica de la materia demostrada cuantitativamente por Faraday en 1833 con sus leyes de la electrolisis y que no han sido modificadas aún por nuevos descubrimientos sirve como base primordial para los procesos de recubrimientos y formación de piezas metálicas a expensas de la transformación del átomo en ión al paso de una corriente eléctrica por una solución[1].

Para comprender el desarrollo de los procesos electrolíticos haremos uso frecuente de lo enunciado en las siguientes definiciones:

Amperio (A).- Es la intensidad de corriente que deposita - 1,118 mg de plata por segundo al descomponer una sal de plata[1].

Potencial eléctrico.- Todo cuerpo en equilibrio eléctrico posee una cierta carga que caracteriza su potencial. El potencial puede medirse por comparación con el de otro cuerpo.

Gramo equivalente.- Es el cuociente de dividir el peso atómico - gramo de metal depositado por el número de electrones requeridos por átomo (valencia)[1].

Faraday.- (96490 ± 2.4 amp. - sec.) Es la corriente que deposita un gramo equivalente de substancia.

Leyes de Faraday

Primera Ley.- La cantidad de iones liberados hacia el ánodo y el cátodo es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa por el electrólito.

Segunda Ley.- Cuando una misma corriente pasa por diferentes electrolitos las cantidades de iones desplazados son proporcionales a sus equivalentes químicos.

Si se deposita más de una substancia como en la deposición simultánea del hidrógeno o en las aleaciones las leyes de Faraday se aplican al número total de equivalentes químicos de todas las substancias.

Para completar el circuito eléctrico a través del baño se requieren dos electrodos, un ánodo y un cátodo y cada uno pueden consistir de varias piezas. Las Leyes de Faraday se aplican separadamente a cada electrodo. Cuando se usa un á

nodo soluble y no ocurre otra reacción se depositará el mismo número de equivalentes en el cátodo.

De esta manera el baño se conservará en su concentración original si no hay reacciones colaterales y si no hay pérdidas de solución.

Un ejemplo simple de una celda de electrodepósito comprende: dos electrodos de cobre sumergidos en una solución de sulfato de cobre y conectados a una fuente externa de corriente directa como una batería, generador o rectificador.

Se considera que el sulfato de cobre está completamente ionizado de modo que solo se encuentran iones cobre y sulfato en el baño. Los electrones son suministrados por un electrodo hacia el otro dando al último una carga negativa y permaneciendo el primero con una carga positiva.

Un ión de cobre siendo positivo ataca al electrodo negativo o cátodo, aceptando dos electrones esto es, que se descarga y se convierte en átomo de cobre. En el electrodo opuesto o ánodo un átomo de cobre entrega dos electrones y se convierte en ión que pasa a la solución.

Estas reacciones se escriben:

Cátodo $Cu^{++} + 2e^{-} \longrightarrow Cu$

Anodo $Cu \longrightarrow 2e^{-} + Cu^{++}$

El proceso anódico es llamado oxidación del metal a ión e inversamente el proceso catódico es reducción del ión a metal.

El ión sulfato no toma parte directa en los procesos enunciados, sin embargo influye en el caracter de los depósitos y en la eficiencia del proceso.

La densidad de corriente, expresada en amperios por pie cuadrado regula evidentemente el espesor del electroformado. Siempre que ello sea posible conviene utilizar densidades elevadas.

Por otra parte la densidad de corriente influye sobre el grano de metal depositado, de modo general el aumento de la densidad afina el grano hasta cierto límite puesto que los amperajes demasiado elevados implican el riesgo de producir quemaduras o bajas consistencias.

De modo general, el aumento de la concentración de las sa

les en solución, que constituyen el electrólito permite elevar la densidad de corriente, especialmente si este aumento se combina con una elevación de la temperatura y con la agitación. Por otra parte el aumento hasta cierto límite, de la concentración incrementa la conductibilidad de los baños.

Un electrólito no comprende tan solo la sal del metal que se quiere depositar. También incluye otros diversos cuerpos en mayor o menor cantidad con la finalidad de conseguir mejoras como el aumento de la conductibilidad de la solución afinar los granos del metal depositado, facilitar la corrosión de los ánodos.

3.2. IMPORTANCIA TECNOLOGICA DEL PROCESO

Un proceso que garantice rapidez, economía, calidad, precisión y excelente presentación en la fabricación de elementos metálicos a usarse en la ciencia, en la industria o en el hogar, como el de electroformado, es en nuestro medio de gran importancia, toda vez que estamos empeñados en lograr una producción capaz de satisfacer los requerimientos de competencia, estandarización y consumo pero que al mismo tiempo sea desarrollada con capital y personal nacionales.

Los medios convencionales de maquinado resultan costosos o inaplicables cuando se trata de la elaboración de piezas - de gran dimensión, diseño intrincado y producción a baja escala por el tiempo y por el equipo adicional necesario así como por el desperdicio de material hasta lograr las dimensiones estipuladas.

Pero si empleamos el electroformado dicho tiempo puede ser reducido en la mayoría de los casos hasta un noventa por ciento, equipo adicional cero y desperdicio de materia cero, trayendo como consecuencia gran ahorro de horas-hombre y horas máquina.

Este proceso puede controlarse dentro de un extensísimo rango pudiendo preseleccionarse las propiedades mecánicas del producto final, medidas con tolerancias hasta del orden de 0.001 mm. con una fidelidad excepcional y depósitos extremadamente delgados. La presentación que se logra, de acuerdo al metal empleado, va desde superficies lisas al tacto hasta superficies pulidas como espejos en una variada gama de colores.

Todas estas ventajas aplicadas nos permiten conseguir elementos de máquinas con propiedades y protección especiales,

equipos médico-quirúrgicos inoxidables, equipos para la industria alimenticia resistentes a los ácidos, gases y sales, componentes para la industria electrónica y sistemas de defensa, memorias magnéticas objetos decorativos y artísticos.

Otra gran ventaja del proceso de electroformado, consiste en su adaptabilidad a la automatización y la producción en gran escala.

3.3. ELECTROFORMADO A BASE DE NIQUEL

El níquel es el metal más importante que se aplica por electrodeposición debido a sus favorables propiedades mecánicas, físicas y químicas que otros metales no poseen siendo su uso muy extenso en la electroformación de placas impresoras, matrices fonográficas, láminas, tubos, mallas y muchos otros artículos.

La composición del baño se escoge principalmente en consideración de las propiedades que se deseen para el depósito, la velocidad de formación y la facilidad de control del proceso. Básicamente los baños de mayor uso industrial son el de watts, y el de sulfamato de niquel, particularmente en depósitos de niquel pesado que es especificado -

frecuentemente para las aplicaciones del electroformado.

A medida que el depósito se hace más delgado se incrementa la necesidad de un baño simple debido al tiempo necesario para obtener un espesor determinado, así en cada solución mantener el balance asegura una calidad de depósito.

BAÑO DE SULFAMATO DE NIQUEL

El ácido sulfamático, la base de las soluciones de sulfamato para electrodepósitos ha estado disponible comercialmente desde 1.930[1].

La patente de las soluciones de sulfamato, $Ni(NH_2SO_3)_2$ para electrodepósito se emitió en 1.943[1].

Sin embargo, el uso comercial de este tipo de baño no comenzó sino hasta 1.949 cuando se empleó primeramente para la producción de electrotipos.

El uso del baño de sulfamato se ha incrementado de forma muy marcada en los años recientes debido a los bajos valores de esfuerzos internos que se consiguen en los depósitos 0.70 - 4.2 kg/mm^2.

Para referencia se enuncian los valores de esfuerzos internos que proporcionan otros tipos de baños.

baño de Fluoborato de niquel: 10.57-16.91 kg/mm^2

baño de watts: 12.68 - 15.50 kg/mm^2

Así en aplicaciones como electroformado, electrotipo y relleno donde el control de esfuerzos internos, resistencia a la fatiga, y dureza de los componentes son importantes los baños de Sulfamato, han desplazado a la mayoría de otros baños tales como: baño de Fluoborato, watts, niquel duro, cloruro, cloruro-sulfato, cloruro acetato, niquel - cobalto, y sulfamato cloruro.

El sulfamato de níquel es la mayor fuente de iones níquel se usa en concentraciones de hasta 450 g/lit. en presencia de hasta 30 g/lit. de ácido bórico H_3BO_3 y cloruro de niquel $NiCl_2 . 6H_2O$ máximo 6 g/lit.

Con este baño las propiedades de los elementos de electroformado se pueden alterar considerablemente variando las condiciones de operación y la concentración de los constituyentes o agentes adicionales como el cloruro de niquel que promueve la corrosión anódica y el ácido bórico que

actúa como regulador de pH y como pulidor. En alguna instancia se usa un agente antiporo.

El ión de cloruro proporciona mayor actividad debido a la mayor corrosión anódica, tiene la habilidad de facilitar el proceso de depósito por su tendencia a formar uniones coordinadas.

Se ha sugerido que el ión cloruro forma un puente de conducción de electrones hacia el cátodo, lo cual es importante en los procesos de depósito. El ion cloruro estabiliza el pH sin embargo el baño resulta extremadamente corrosivo al equipo el cual tiende a contaminarse rapidamente, y los esfuerzos residuales aumentan.

En consecuencia se debe añadir el propio reductor de esfuerzos al baño. Ciertos componentes como la sacarina ó p-tolueno sulfonado reducen los esfuerzos residuales de tensión que promueven los baños de niquel a niveles que pueden permitir el control de estos esfuerzos hasta convertirlos en esfuerzos de signo diferente es decir con características de compresión.

Desafortunadamente casi todos los agentes reductores conocidos introducen algo de sulfuro en los depósitos que afectan las propiedades a altas temperaturas (encogimiento

en caliente) y la resistencia a la corrosión.

Los agentes humectantes se usan para disminuír la tensión superficial para remover las burbujas de hidrógeno y poder eliminar los poros. Como agente humectante se usa el piróxido de hidrógeno.

Cuando se usa agentes humectantes para controlar las picaduras o poros es necesario comprobar periódicamente la tensión superficial. Se debe tener especial cuidado al trabajar con agentes reductores de esfuerzos puesto que ocasionan un depósito simultáneo de niquel e hidrógeno.

La deposición simultánea de hidrógeno produce elementos - frágiles y de baja ductilidad.

En 1.954 se propuso el uso del baño de sulfamato libre de cloruro. Este baño da depósitos con bajos esfuerzos y buena ductilidad.

Una especial característica del baño de sulfamato es su capacidad de operar a alta concentración de níquel lo cual permite el uso de menor temperatura y mayor razón de depósito que las encontradas en otros baños.

Los baños de sulfamato de niquel resultan de alto costo -

inicial comparados con otros electrolitos. Sin embargo, esto se paga con las excelentes características de los depósitos.

Debido a que los baños de sulfamato se emplean usualmente para producir depósitos para propósitos de Ingeniería, es importante el control de las propiedades mecánicas particularmente resistencia, ductilidad y dureza.

Con una operación prolongada a 60°C ó a pH 3.0 el sulfamato de níquel presenta una notable desventaja en su uso - pues se hidroliza en una forma menos soluble de sulfoamonio de niquel causando inconvenientes a las condiciones óptimas de operación.

Como las otras soluciones, requieren filtración para remover los contaminantes, particularmente cuando se produce electroformados delgados.

Reconociendo que las fuentes de estos contaminantes son los elementos de pretratamiento, suciedad o aceite de los sistemas de agitación y eventualmente de la disolución de los ánodos cuando operan a altas densidades de corriente se necesita un adecuado control.

Se recomienda el uso de carbón activado y cuando el baño

lo permita se puede usar un oxidante.

En el campo del electroformado los esfuerzos internos se encuentran con gran frecuencia en los electrodepósitos y probablemente provienen de diferentes fuentes. Una de ellas podrá ser codepósito de materias extrañas como contaminantes o iones de agentes adicionales.

La mayoría de los elementos de electroformado se deben preparar en un electrólito controlado para producir depósitos que tengan unos esfuerzos internos de no más de 0.7 a 7.0 Kg/mm^2 esto minimizará los problemas de rotura, burbujas o deformación.

Sin agentes adicionales el baño de sulfamato libre de cloruro generalmente produce depósitos con los más bajos esfuerzos internos.

La habilidad de producir depósitos de niquel con esfuerzos compresivos tienen importancia en la producción de partes sujetas a fallas por fatiga porque estas fallas no se originan y las fisuras no se pueden propagar con esfuerzos compresivos.

TABLA Nº 1

BAÑO DE SULFAMATO

COMPOSICION:	
Sulfamato de niquel	450 g/l
Acido bórico	30 g/l
CONDICIONES DE OPERACION:	
pH	3.0 - 5.0
Temperatura °C	40 - 60
Densidad de corriente Amp/dm^2	2 - 30
PROPIEDADES MECANICAS:	
Dureza Vickers	250 - 350
Resistencia a la tensión	63 - 900 Kg/mm^2
Elongación	2 - 30%
Esfuerzos residuales	0.35 kg/mm^2

Análisis del baño.- La calidad, uniformidad y tiempo de servicio de un artículo electroformado dependen de las exactas condiciones bajo las que fue producido.

Si las condiciones varían dentro de amplios rangos, La calidad y la uniformidad también variará. Estas variaciones se pueden reducir al mínimo manteniendo una constante composición del baño mediante análisis y fijando el ciclo de operaciones.

Las ventajas del control analítico del baño son las siguientes:

1. Los rechazos se reducen al mínimo con un resultado de ahorro en tiempo y material.

2. El registro de los químicos consumidos en el control se mantiene vigente durante largos períodos de tiempo dando agilidad a las operaciones similares.

3. Con análisis periódicos de la solución y un adecuado método de registro de los análisis químicos y de la adición de los químicos se puede tener una valiosa - fuente de datos de costos que de otra manera no sería posible.

Agentes humectantes.- Un método de análisis para los agentes humectantes usuales no existe todavía disponible. Sin embargo un método de control que es satisfactorio utiliza el efecto de la disminución de tensión superficial que proporcionan los agentes humectantes.

Se compara la tensión superficial de la solución a una temperatura dada con la del agua pura a la misma temperatura usando un aparato como el stalagmometro o un tensiómetro de aro de platino.

Si la tensión superficial de la solución en cuestión no baja de cierto valor se añade una predeterminada cantidad de agente humectante al baño para ajustarla a un nivel mínimo.

Mantenimiento de la solución

Los baños modernos de electroformado de níquel se deben considerar como una pieza altamente complicada del equipo de producción y por tanto merecen toda la atención que se puede dar a una pieza de una máquina de precisión.

La negligencia en cualquiera de las fases de mantenimiento o control del proceso de electroformado solo puede llevar un trabajo defectuoso, pérdida de tiempo y alto costo de producción.

El mantenimiento y control debe comenzar con la instalación del tanque y su equipo auxiliar. El calentamiento de la solución mediante inercambiadores de calor externos es el más recomendado.

Como elementos de calentamiento interno se emplea comunmente el plomo, carbón impermeable y serpentines de vidrio. Pero para aplicaciones especiales se prefiere al carbón impermeable o serpentines de vidrio en vez de plo

mo para evitar la contaminación metálica.

El carbón impermeable se usa ampliamente como elemento de calentamiento y puesto que tienen buenas propiedades de transferencia de calor en cualquier tipo de solución para electroformado de niquel. La única desventaja de este tipo de calentador es su fragilidad.

Los tanques se deben montar sobre aisladores de vidrio o cerámica para evitar pérdidas de corriente y distribución pobre del material.

Todos los ánodos, cátodos, ganchos y puntos de contacto se deben mantener razonablemente libres de sales incrustadas para un buen contacto eléctrico.

Efecto de los contaminantes

Pequeñas cantidades de contaminantes metálicos tales como hierro, zinc, cobre o plomo en los baños modernos de electroformado de níquel ejercen un profundo efecto en la apariencia y resistencia a la corrosión de los depósitos.

Hay evidencias de que impurezas en combinación ejercen efectos que pueden ser diferentes a los ejercidos por impurezas individuales. Se ha notado que con el incremento del

codepósito de hierro se incrementa la fragilidad del níquel.

El cobre en excesiva cantidad causa depósitos de color obscuro, especialmente en las áreas de baja densidad de corriente, picaduras en el níquel obtenido a bajo pH y afecta seriamente a la resistencia a la corrosión.

El zinc generalmente produce los mismos del cobre además de la aparición de quebraduras.

El plomo causa depósitos arrugados, quebradizos y de granos finos.

Remoción de contaminantes

La mayoría de los contaminantes metálicos se pueden remover precipitándolos como una sal insoluble y luego filtrados.

Los contaminantes orgánicos que se pueden introducir por filtraciones de aire sucio, limpieza insuficiente o la caída de agentes adicionales dentro del curso normal de operación no se pueden remover por filtración convencional y se controlan mejor por adsorción en carbón activado.

En este tratamiento la solución se bombea a un tanque auxiliar donde se mezcla con 1.2 - 2.4 g/l de carbón activado,

elevada a una temperatura de aproximadamente 65°C por un período de varias horas.

Después que se ha elevado la temperatura es siempre ventajoso añadir un agente oxidante tal como el peróxido de hidrógeno en suficiente cantidad para convertir alguna materia presente no oxidada.

Algunos contaminantes metálicos se remueven más efectivamente si se eleva el pH del baño durante el período de tratamiento con carbón. Sin embargo, algunos contaminantes orgánicos se absorven más efectivamente a un pH que esté alrededor de 2.0.

Tipos de mandriles, materiales y diseño

El aspecto de mayor interés en electroformado es probablemente la facilidad de producir formas complejas.

El mandril (llamado también molde o master) tiene la misma relación geométrica con el electroformado que la existente entre el metal fundido y su molde.

Las matrices se clasifican como permanentes y temporales. Esta clasificación se basa en la manera en que se usan y no necesariamente en el material específico de que estan hechas.

Los moldes temporales se usan cuando el electroformado - tenga relieves y la separación se hace por disolución o fusión. Se caracterizan por su bajo costo, baja precisión y acabados variables según el material de que se hagan.

Moldes de aluminio

Los tres tipos de aleaciones usadas con más frecuencia incluyen la 2024, 6061 y 7075 debido a su maquinabilidad, estabilidad dimensional, aceptación del proceso de micado y solubilidad en la etapa de remoción.

Se pueden usar extensamente como moldes temporales aunque también suelen usarse como permanentes cuando se puede tolerar la acción de reactivos.

Aceros inoxidables

De estos normalmente los auténtivos del tipo AISI 302 y 304 se usan ampliamente como moldes permanentes en aplicaciones de tubos de niquel, guías de ondas, mallas y estandares para rugosidad de superficies. Las ventajas incluyen buena resistencia a la corrosión, facilidad de desprendimiento, tolerancias dimensionales estrechas, (gran precisión) y buen acabado superficial.

Metales electrodepositados

Acero, cobre o bronce se usa con una ligera capa de niquel y cromo para facilitar el desprendimiento. Las matrices cromadas son preferidas por tener superior resistencia a la rayadura y su pasividad superficial.

Normalmente se recomienda un mínimo de 0,1 mil de cromo, sin embargo si trabaja sobre una matriz de metal suave - como el cobre el espesor especificado de cromo suele ser de 0,5 mil.

Cobre y bronce

Estos materiales normalmente usados para gravados o ataques químicos de texturas se prefieren cuando se requiere un fotograbado o grabado a mano con una protección superficial por el sistema Cu-Ni - Cr ó Ni - Cr.

Niquel y sus aleaciones

Estos moldes permanentes se fabrican generalmente de niquel Inconel, Invar o Kovar.Inconel es inerte a la mayoría de las soluciones de electrodepósitos y su superficie forma un óxido natural que la protege de la adherencia de los depósitos. Invar y Kovar se caracterizan por su bajo coeficiente de expansión térmica.

Las matrices de estos materiales son costosas, poca maquinabilidad y su separación del depósito, se realiza mediante el método del shock térmico.

Plásticos

Resinas epóxicas, vinil plastisol y vinil de láminas rígidas se usan como moldes permanentes de excelente estabilidad química, resistencia a la humedad y capacidad de reproducir detalles finos.

Todos estos materiales son de fácil rayadura y para aplicarlos al proceso de electroformado necesitan hacerse previamente conductivos.

Metales fusibles

Las aleaciones de bajo punto de fusión comunmente usadas como matrices temporales son las de estaño - bismuto con o sin adición de plomo o cadmio.

Yeso y cera

Estos materiales en sus variedades se usan para aplicaciones especiales. Deben ser maquinados o moldeados.

Todos necesitan metalizado superficial para la conductividad necesaria. Cuando se usa yeso o lana como matriz

se debe sellar su superficie (eliminar los poros) y finalmente un considerable trabajo para lograr las tolerancias finales.

Diseño

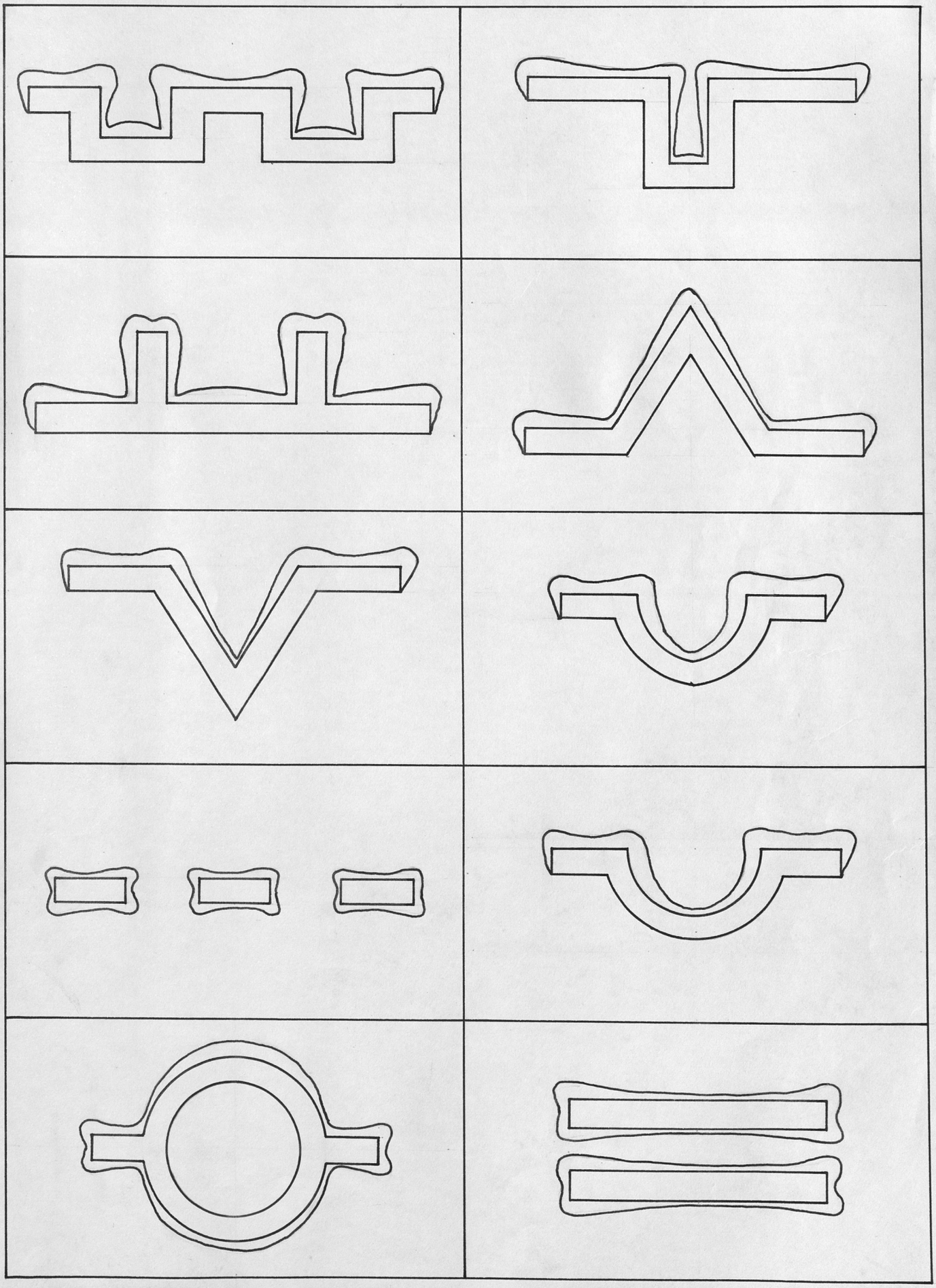
En la figura Nº1 se muestra de manera exagerada el contorno y distribución de varios depósitos. Para evitar los indicados errores de diseño es necesario que las elevaciones y canales sean los más anchos y romos, con las anchuras mucho más grandes que las profundidades.

Los ángulos exteriores de las matrices deben diseñarse con un radio tan generoso como sea posible para evitar grumos o arborizaciones. Los ángulos interiores de las matrices - deben estar provistos de un radio de por lo menos igual al espesor del metal a depositarse.

Cuando los ángulos interiores aguzados son indispensables, los problemas asociados con los planos de formación se evitan mediante proyectos que minimicen estos efectos detrimentes. Se evitarán los cortes profundos en las matrices permanentes puesto que esto facilita la separación.

Los problemas de separación se derivan de la preparación de la matriz. Si se siguen las recomendaciones que se su-

FIG. Nº 1. Contorno y distribución de varios depósitos



gieren a continuación se facilitará todo el proceso y la separación final.

1. En lo posible los moldes permanentes deben tener una conicidad definida entre 1 y 3 grados, de no ser posible, úsese un molde de un material de baja expansión (Invar, Kovar) de manera que, en el calentamiento ó en el enfriamiento la diferencia de expansión entre el electroformado y su molde permita una fácil separación.

2. Como una alternativa se puede usar una interfase de un metal de baja fusión como una película de estaño cadmio ó plomo con un pequeño sacrificio en las tolerancias dimensionales. Se usa también preparaciones a base de silicón, ceras, grafito o películas de metales químicamente reducidos asegurándose que no sean atacados por la solución del baño.

3. Cuando se use una fuerza mecánica para la separación se debe usar un refuerzo sobre el molde. De la misma manera se puede realizar una operación de acabado sobre el electroformado mientras este permanece adherido aún, siempre y cuando se usen aparatos apropiados de sujeción.

4. Es útil el uso de marcas en los moldes para medir el tipo de acabado y para proveer un registro apropiado. Cualquiera que sea el método de separación es esencial un gran cuidado para asegurar que un molde costoso no sea malogrado.

En adición es buena práctica dejar un molde permanente con exceso de aproximadamente 1/2" (12.7 mm) a cada lado lo cual permite el recorte del electroformado a una dimensión precisa y para retirar cualquier exceso de material depositado fuera del área aislada. Las matrices deben estar formadas de vástagos apropiados que permitan una suspensión adecuada en la solución de electroformado.

Con buen diseño, aplicación y uso un molde permanente debería producir un mínimo de 100 electroformados. Con el uso de moldes desechables existe el problema de retirar las últimas partículas que quedan sobre el electroformado.

Los moldes de aluminio sólido con dimensiones mayores a un pié se disuelven fácilmente en hidróxido de sodio caliente mantenida a 82°C y en concentración de 263 g/lit. Sin embargo, si contiene componente como el cobre el medio disolvente será:

Hidróxido de sodio	30 g.
Tartrato de sodio	0,5 g.
Sal de tetrasodio, tetraceta to ethilenediamina	0,2 g.
Dextrosa	1.0 g.
Agua	600 ml.

El estaño se disuelve igual que el aluminio, éste es útil para piezas extremadamente pequeñas donde es posible hacer moldes de mínimas tolerancias. Con aleaciones fusibles la masa metálica se puede separar fundiéndola en aceite caliente. Cepille cualquier partícula mientras permanezca en estado de fusión.

En puntos inaccesibles se introduce una solución de nitrato de mercurio que forma una amalgama y puede ser subsecuentemente sopleteada con aire comprimido. Esto, necesariamente se debe realizar bajo una cúpula o campana de extracción. Las partículas pequeñas adheridas se pueden expulsar también con vapor vivo a una presión suficiente para mantener 150°C. (Saturado a 3.6 Kg/cm^2).

No se use ácido puesto que puede dañar el electroformado - por ataque químico.

La preparación de superficie de un molde metálico involucra la remoción de sólidos y la formación de una superficie pasiva. Cuando se usa materiales como vidrio, plásticos, maderas y ceras la preparación es doble, la remoción de sólidos y la aplicación de una película conductiva como plata, grafito o cobre.

3.4. VARIABLES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL NIQUEL ELECTROFORMADO

En la producción de elementos electroformados para una variedad de aplicaciones de ingeniería, se establecen propiedades según la necesidad.

Sin embargo, las relaciones de las muy conocidas propiedades de resistencia a la tracción, dureza y elongación son a veces diferentes de las relaciones encontradas en los metales fundidos.

El pH, la densidad de corriente y la temperatura se ajustan cuidadosamente en concordancia con factores tales como el espesor de la lámina y las formas de las piezas.

Se agrega cloruro de níquel para fomentar la corrosión de ánodos laminados o de níquel electrolítico que son casi pasivos en baños exentos de cloruro.

Cuando se pone cloruro de amonio, de potasio o de sodio en lugar del cloruro de níquel se endurece el depósito y se introduce mayor esfuerzo de tensión.

Cada una de las variables de operación modifican de alguna manera el depósito y todas ellas obran con interdependencia.

La uniformidad del depósito, la dureza, la eficiencia de la corriente el nivel de esfuerzos y el tamaño y la orientación de los cristales dependen de la composición del baño, la temperatura, la acidez o alcalinidad del baño, la densidad de corriente de depósito, la agitación del baño y la presencia o falta de agentes adicionales.

Concentración

En general, aumentando la concentración de la sal de níquel se permite mayor densidad de corriente catódica y por tanto mayores razones de electrodepósito.

Las bajas concentraciones pueden causar quemaduras en las áreas de mayor densidad de corriente y bajas eficiencias anódicas.

El cloruro de níquel en alta concentración proporciona de

pósitos de alta dureza, de granos más finos y que tienen menor tendencia a la arborización que los depósitos de bajo cloruro.

A mayor contenido de cloruro de níquel, mayores serán los esfuerzos residuales, por lo que deben mantenerse los cloruros al mínimo posible para una buena operación.

Además de los cloruros se ha reportado la adición de bromuros y ioduros, pero los esfuerzos internos son mayores que los obtenidos en los baños libres de cloruros.

Temperatura

La temperatura de operación de la mayoría de las soluciones de níquel están dentro del rango de 49 a 71°C.

Si las otras variables permanecen constantes, un incremento en la temperatura permite que se use mayor densidad de corriente sin el riesgo de quemaduras, además la conductividad del baño se incrementa disminuyendo el voltaje requerido en el tanque.

La figura Nº 2 indica la influencia de la temperatura sobre la dureza de los depósitos en presencia de diferentes proporciones de reductor de esfuerzos, y la figura

Nº 3 la relación de la temperatura sobre los esfuerzos.

pH

El rango del pH es 1.5 a 6.0 pero la mayoría de las soluciones se operan dentro de un rango de 2.0 a 4.5.

La tendencia normal del pH es la de elevarse o mantenerse constante. Los ajustes hacia abajo son hechos por pequeñas cantidades de ácido sulfámico. No se pueden recomendar cantidades exactas pero se sugiere que se comience con 30 gramos por litro hasta que la experiencia indique una cantidad mayor o menor.

El ácido sulfámico debe ser diluído en agua destilada filtrado y añadido en cantidades cuidadosamente controladas.

Si por alguna razón es necesario o deseable elevar el pH, se debe usar carbonato de níquel. El uso contínuo de carbonato de níquel para regular el pH indica pobre corrosión anódica.

La activación de los ánodos nuevos en una mezcla de 10 - por ciento de ácido sulfúrico y agua destilada puede ser beneficioso en éste respecto.

El añadir carbonato de níquel también causa contaminación

en la solución del baño que da como resultado deformaciones y esfuerzos residuales. El carbonato puede removerse en forma rápida por purificación electrolítica o también en los tanques de depósito con matrices falsas como cátodos.

Si las otras variables permanecen constante, una disminución del pH permite el uso de densidades de corrientes más altas, incrementa la conductividad del baño, usualmente mejora la eficiencia anódica y disminuye la eficiencia catódica.

La figura Nº 4 ilustra el comportamiento de los esfuerzos en función del pH y de la temperatura. Se observa que aumentan desde 49°C hasta 60°C de manera no muy pronunciada y aumentan considerablemente a medida que desciende la temperatura desde 49°C.

Cuando el pH sube arriba de 4.0 los esfuerzos aumentan de manera muy pronunciada provocando distorsión en las matrices.

Densidad de corriente

La densidad de corriente hace disminuír los esfuerzos compresivos de manera muy ligera desde 4.3 amp/dm^2 hasta 10.8 amp/dm^2, según lo ilustra la figura Nº 5.

La figura Nº 6 ilustra la relación de la temperatura y la densidad de corriente con los esfuerzos. En la figura se ha mantenido el reductor de esfuerzos en una concentración de 7.3 g/lit.

Agitación

En prácticamente todos los baños de níquel se necesita algún tipo de agitación para:

a. Asegurar una capa anódica fina que hace posible usar alto límite de densidad de corriente.

b. Prevenir estratificación del electrolito

c. Mantener una temperatura uniforme del baño. Cuando se usa agitación por aire no es necesario usar agentes - antiporos.

Variación de las propiedades mecánicas en función del pH, de la temperatura, de la densidad de corriente y del contenido metálico de la solución.

La resistencia a la tracción se incrementa con el incremento del pH, disminuye con el aumento de temperatura, disminuye con el aumento de la densidad de corriente y disminuye con el aumento del contenido de níquel de la solución.

La elongación disminuye con el incremento del pH y aumenta con el aumento de la densidad de corriente, de la temperatura y del contenido de níquel.

La dureza aumenta con el incremento del pH, pero disminuye con el aumento de la densidad de corriente, de la temperatura y del contenido de níquel.

Los esfuerzos internos son relativamente independientes de la variación de la concentración del ión níquel disminuyen con el aumento de la temperatura y alcanzan el mínimo con pH entre 4.0 y 4.2.

TABLA Nº 2 [1]

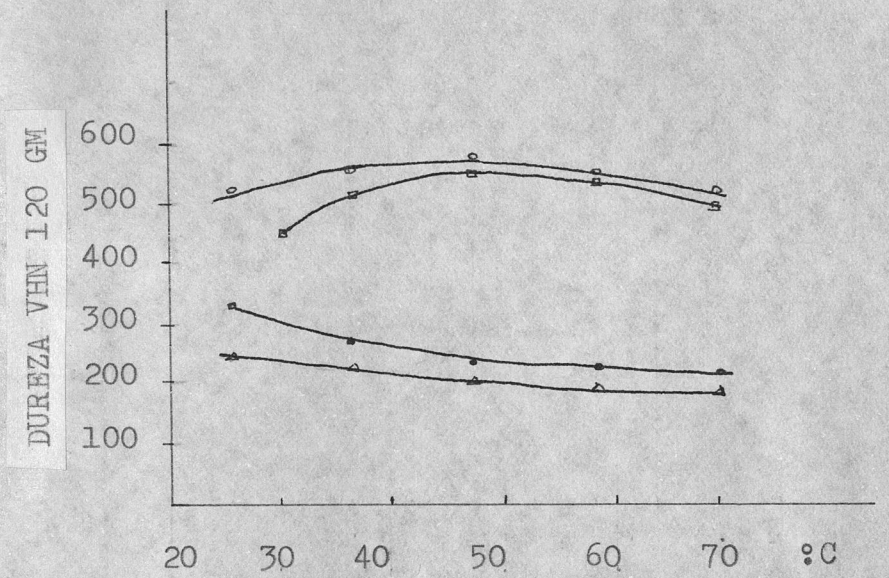
VARIABLES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL NIQUEL ELECTROFORMADO [9]

pH

Densidad de corriente

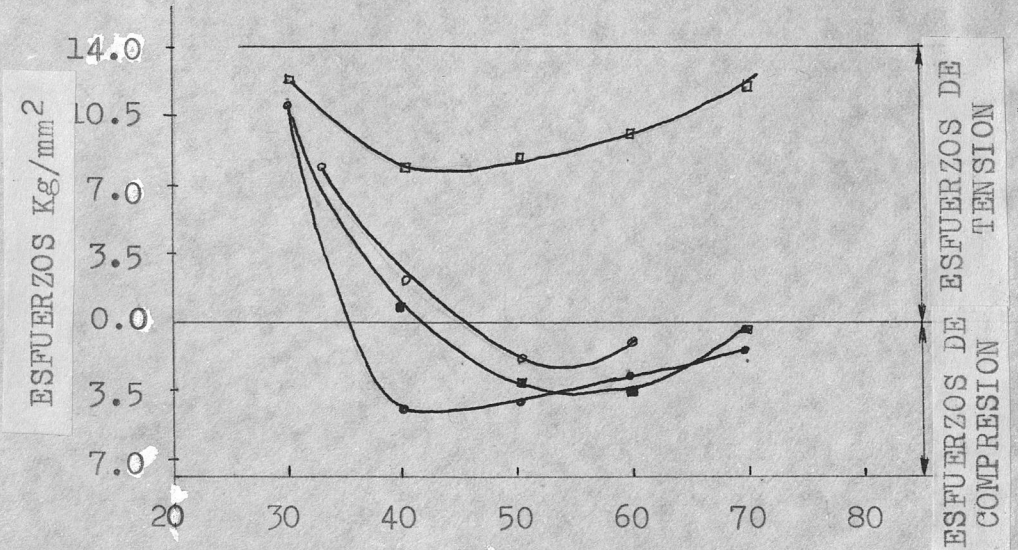
Temperatura

Contenido metálico de la solución



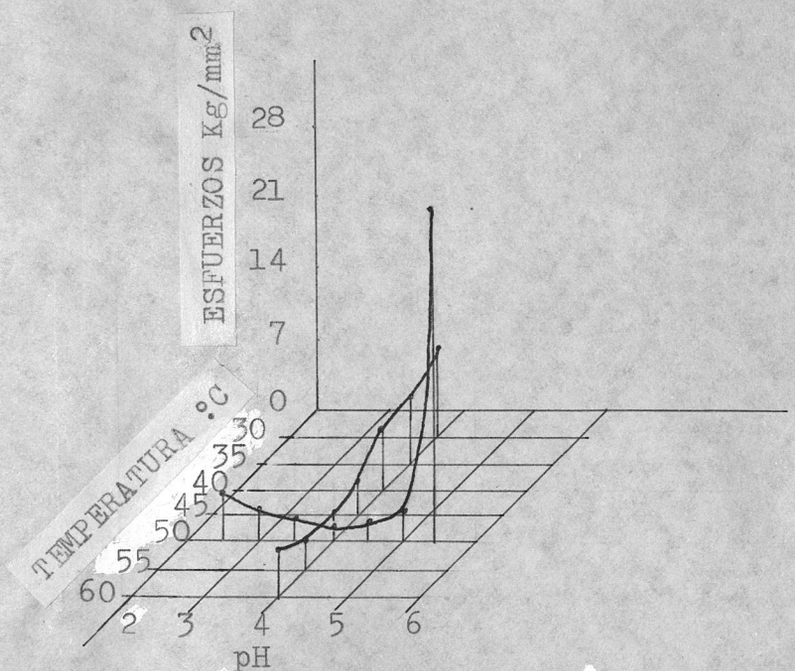
EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LOS DEPOSITOS A 6.5 AMP/ dm^2

FIG. N° 2 (12)



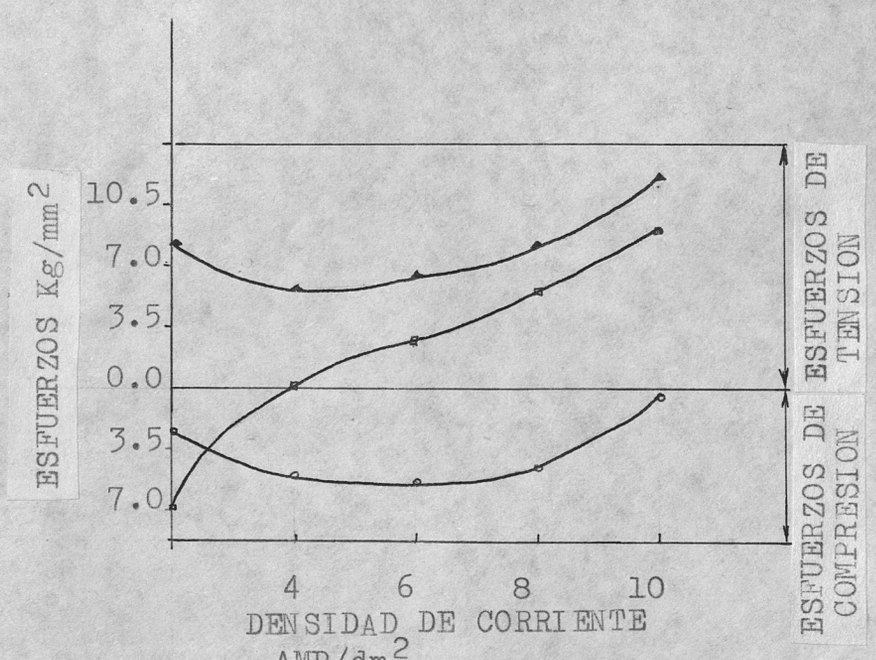
CURVAS TIPICAS DE ESFUERZOS PARA UNA SOLUCION DE SULFAMATO DE NIQUEL A VARIAS TEMPERATURAS Y VARIACION DE ADICION DE REDUCTOR DE ESFUERZOS.

FIG. N° 3 (12)



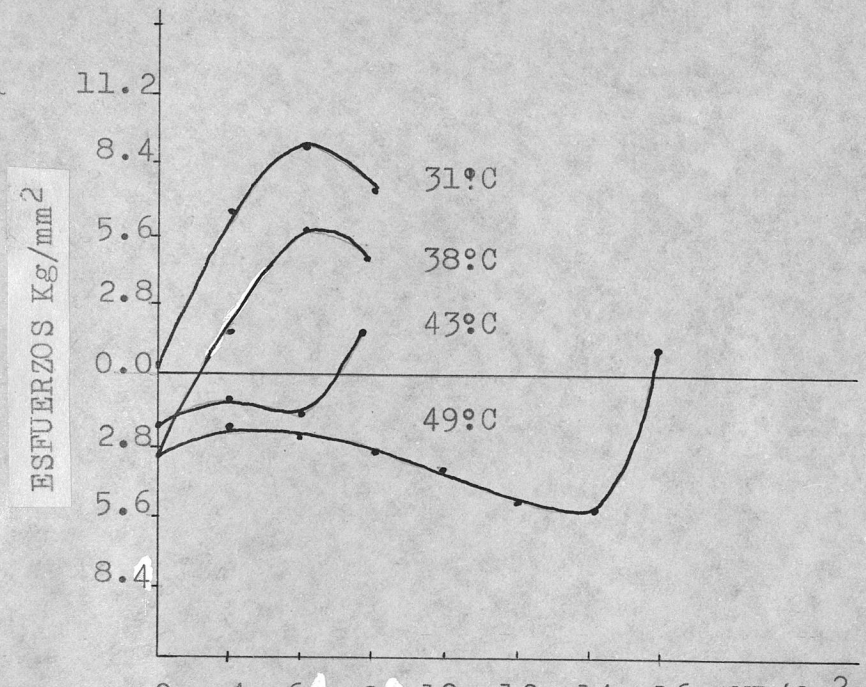
EFECTO DEL pH Y LA TEMPERATURA SOBRE LOS ESFUERZOS

FIG. N° 4 (11)



EFECTO DE LA DENSIDAD DE CORRIENTE SOBRE LOS ESFUERZOS DE LOS DEPOSI-
A 38°C

FIG. N° 5 (12)



EFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA DENSIDAD DE CORRIENTE SOBRE LOS ESFUERZOS CON 7.3 g/lit DE REDUCTOR DE ESFUERZOS.

FIG. Nº 6 (11)

CAPITULO 4

CAPITULO 4

TRABAJO EXPERIMENTAL

4.1. TECNICA EXPERIMENTAL

4.1.1. Descripción de la técnica a usarse

Para realizar el estudio de las propiedades del níquel electroformado se van a obtener muestras siguiendo los mismos procesos de manufactura industrial en un equipo piloto capaz de permitir la variación controlada de los parámetros reales.

De cada muestra se obtendrá probetas normalizadas, las cuales serán sometidas a exámes microscópicos, se estudiará la microdureza y se realizarán ensayos de tracción para evaluar sus propiedades mecánicas.

Analizados los resultados podremos optimizar procesos que nos permitan llevar a efecto la confección de matrices en planta las mismas que tendrán propiedades predeterminadas según el proceso que se recomiende.

4.1.2. Equipo piloto de electroformado

La construcción del equipo piloto obedece a las especificaciones del prototipo o equipo industrial de manufactura de

matrices.

El equipo piloto permite las mismas variaciones de parámetros, suministro de corriente contínua, agitación del molde y control de temperatura.

La disposición de los elementos del equipo piloto se logra gracias a un soporte metálico construído con tubo cuadrado de hierro de 25 x 25 mm. que permite la colocación de la tina del baño en su interior.

Sobre el soporte metálico reposa una placa también de hierro de 3 mm. de espesor la que a su vez permite la colocación del sistema de agitación y la fuente de corriente contínua.

Todos los elementos y la estructura se encuentran protegidos por pintura anticorrosiva para evitar el ataque de los vapores del baño al momento de operación. Las conexiones eléctricas están debidamente aisladas y los elementos móviles lubricados.

El uso del equipo piloto permitirá la obtención de muestras a nivel de laboratorio usando muy poco volumen de la solución de sulfamato de níquel, moldes muy pequeños de no más de 50 mm. de diámetro así como ánodos de pequeñas dimensiones y bajos amperajes.

Además se podrá conseguir un amplio rango de variación de parámetros. La fotografía Nº 5 ilustra el equipo piloto - visto de manera frontal y la fotografía Nº 6 ilustra una vista en perspectiva del mismo.

Elementos del equipo piloto:

A. Estructura metálica de soporte cuyas dimensiones son 640 x 560 x 280 mm.

B. Tina de material plástico (P.V.C.) con capacidad de - 15.5 lit. donde se deposita la sal del baño o sulfamato de níquel.

C. Fuente de corriente contínua marca CHRISTIE

Modelo: C-690

Primario: A-C 120 Volts; 7 Amp.; 50/60 Hz.

Secundario: D.C. 90 Volts; 6 Amps.

D. Anodos metálicos (bloques o barras de níquel) grado A (99.4 Ni + Co) ilustrados en la fotografía Nº 7.

E. Cátodo de cobre al cual se fijan los moldes. Este cátodo se confeccionó de una platina de cobre electrolítico de 7.5 x 3 mm. Es necesario su aislamiento en la parte que se sumerge en el baño, para que no se deposite en él parte del níquel de la solución y sólo se deposi

te en el molde atornillado en su parte inferior.

La fotografía Nº 8 ilustra ánodos y cátodo listos para su colocación en el equipo piloto.

F. Calentador sumergible de resistencia eléctrica 220 Volts. Rango de temperatura 0 - 100°C.

G. Termostato set point 0-100°C
Sensibilidad ± 1°C
La fotografía Nº 9 ilustra el conjunto de calentador y termostato en su soporte.

H. Termómetro. Rango de temperatura 0 - 100°C.

I. Motor eléctrico marca GENERAL ELECTRIC
1500 RPM
110 Volts.
Potencia 60 Watts.

J. Reductor marca BOSTON GEAR
RPM de entrada 1750 max.
Razón de reducción 1/25
Potencia 0.09 HP
Torque de salida 0.49 Kg. - m.

K. Brazo articulado de cobre confeccionado de platina de cobre electrolítico de 12.7 x 3 mm.

Los componentes I,J,K constituyen el sistema de agitación del molde.

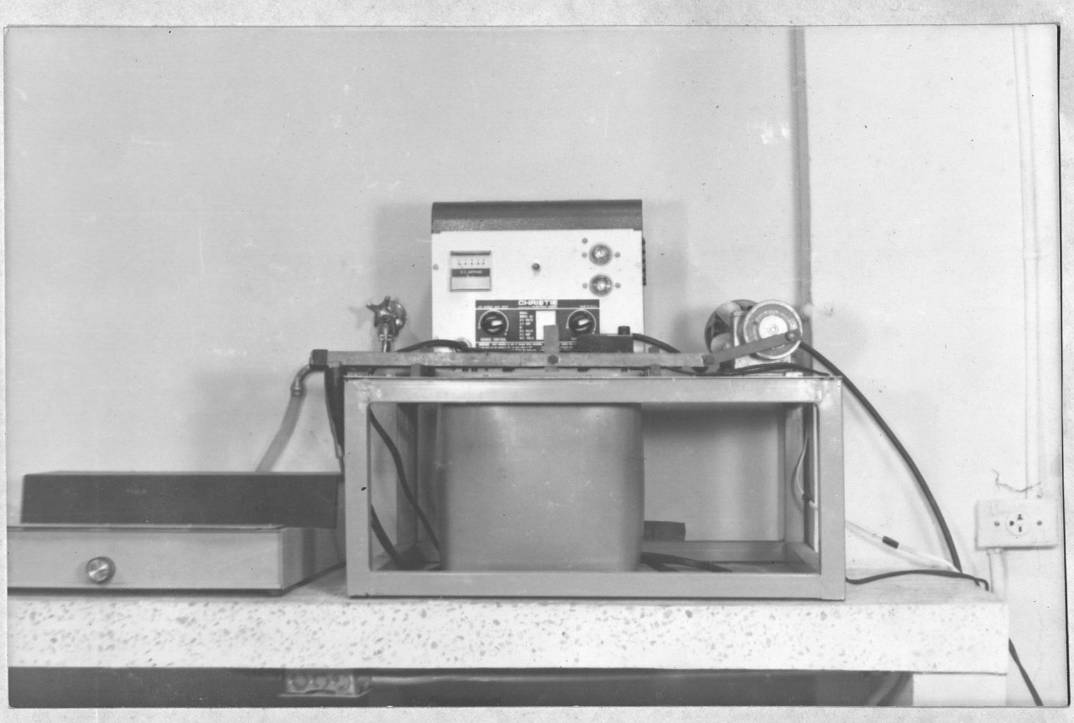
4.2. OBTENCION DE LAS MUESTRAS DE NIQUEL

Cada muestra parte desde la preparación del molde que en nuestro caso se denomina "acetato". Dicho acetato es un disco plano de aluminio recubierto de celulosa el cual debe ser:

1. Lavado en una solución de jabón neutro y agua destilada a 35°C por espacio de dos minutos con el propósito de eliminar polvo y grasa de sus superficies.

2. Sensibilizado mediante una solución de 8 gr. de cloruro estannoso por cada galón de agua destilada. El sensibilizado provee al acetato de una superficie activada la cual podrá recibir una capa metálica de iones de plata.

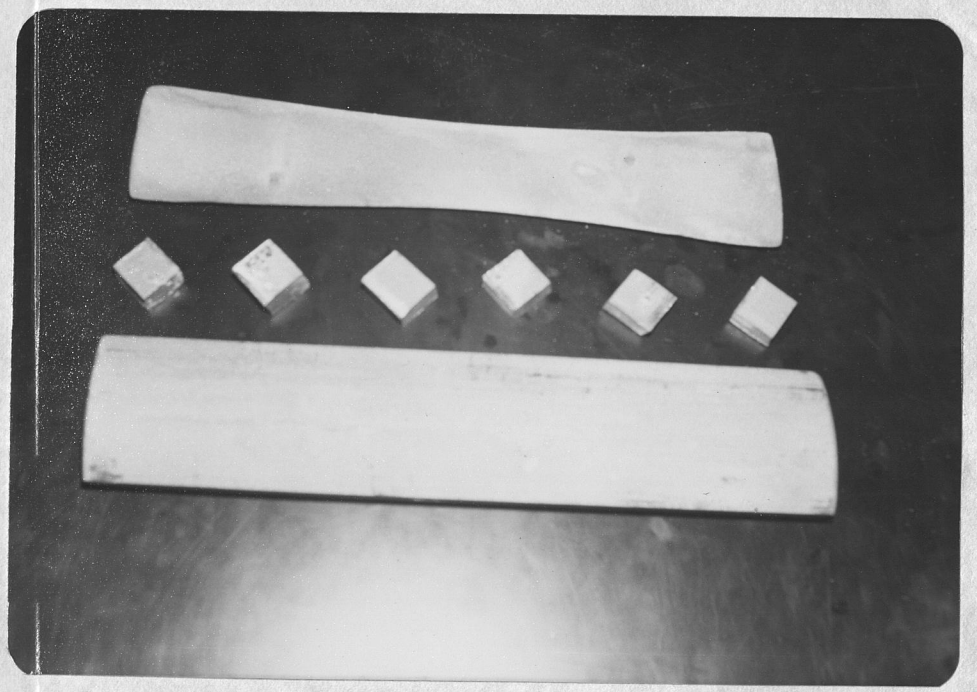
3. Plateado mediante aspersión simultánea de dos soluciones las cuales se denominan: solución 1 - 2 y solución reductora. La solución reductora se prepara tomando como base la solución 3.



FOTOGRAFIA Nº 5



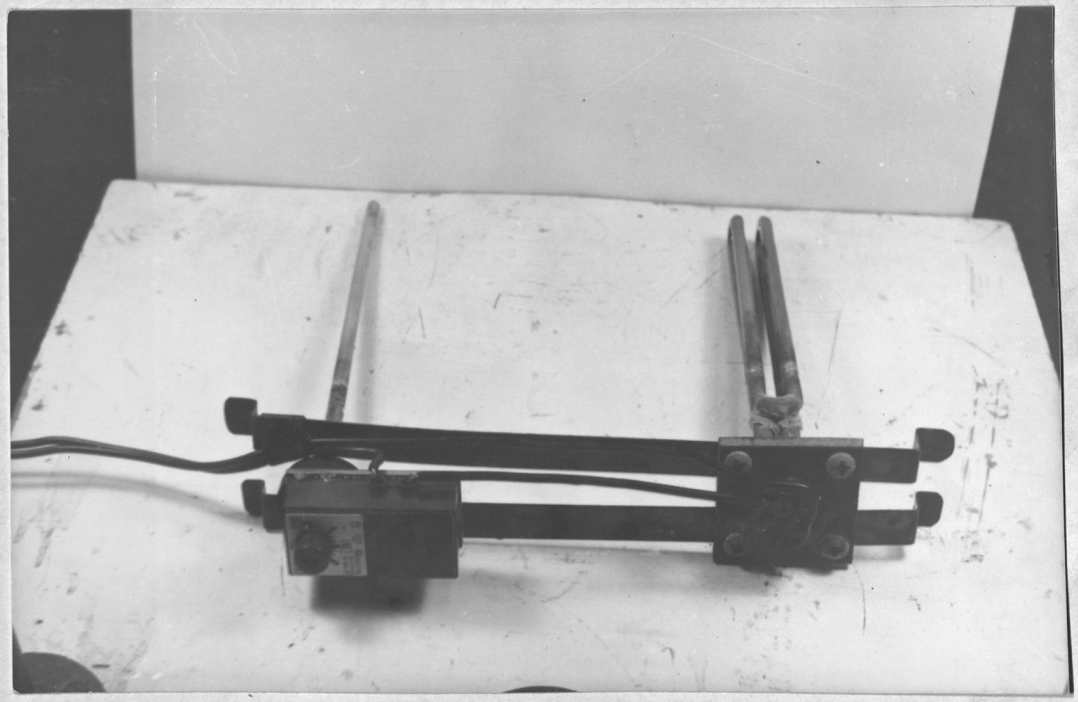
FOTOGRAFIA Nº 6



FOTOGRAFIA Nº 7



FOTOGRAFIA Nº 8



FOTOGRAFIA Nº 9

Composición de las soluciones de platear.

Solución 1.- Contiene 235 gr. de nitrato de plata por cada 600 cc. de agua destilada. Se añade 258 cc. de hidrato de amonio al 25%.

Solución 2.- Contiene 63 gr. de soda cáustica en 600 - cc. de agua destilada y se añade 36.5 cc. de amoniaco puro, se completa un litro con agua destilada.

La solución 1 y la solución 2 se preparan a diario en cantidad suficiente para su aplicación dentro de las próximas 24 horas debido a su inestabilidad.

Solución 3.- Contiene 68 gr. de glucosa en 500 cc. de agua destilada. Se añade 4.7 cc. de ácido sulfúrico y se calienta hasta la temperatura de ebullición, una - vez fría se añade 6.0 cc. de formol al 40% y se completa un litro con agua destilada.

La solución 1-2 contiene 500 cc. de agua destilada, 45 cc. de solución y 1 y 45 cc. de solución 2 más 1.5 cc. de ácido nítrico. Se completa un litro con agua destilada.

La solución reductora contiene 500 cc. de agua destilada a la que se añade 45 cc. de la solución 3 y se completa un litro con agua destilada. Una vez plateado el acetato está listo para entrar a proceso de niquelado o electroformado.

4. Niquelado en la tina de sulfamato donde los rangos de parámetros de electroformado usandos en la práctica de manufactura tienen los siguientes valores:

Sulfamato de níquel	328 - 493 g/lit.
Temperatura	38 - 60 °C
pH	3.5 - 4.4
Densidad de corriente	5.38 - 18.26 Amp/dm^2

.2.1. Obtención de muestras de niquel con variaciones pH

Para el primer grupo de muestras se ha tomado el rango de pH y se ha dividido en cuatro intervalos iguales con lo que se obtienen cuatro procesos distintos aunque los otros tres parámetros han permanecido constantes.

Cada muestra lleva el correspondiente número de proceso. La variación del pH se ha efectuado gracias a la variación de la cantidad de ácido bórico de la solución y con la ayuda de papel indicador.

Nº de muestra	pH	Contenido metálico (sulfam. de níquel) g/lit.	Temp. °C	Densidad de corriente Amp/dm^2
1	3.5	378	43	9.46
2	3.8	378	43	9.46
3	4.1	378	43	9.46
4	4.4	378	43	9.46

4.2.2. Obtención de muestras de níquel con variación de la densidad de corriente

El segundo grupo de muestras se ha obtenido tomando el rango dentro del cual varía la densidad de corriente y dividiéndolo en cuatro intervalos iguales.

Dicha variación se ha llevado a cabo mediante la variación de corriente contínua de la fuente ya que el área de los moldes es siempre la misma. Los demás parámetros han permanecido constantes.

Nº de muestra	pH	Contenido metálico (sulfam. de níquel) g/lit.	Temp. °C	Densidad de corriente Amp/dm^2
5	3.9	378	43	5.38
6	3.9	378	43	9.68
7	3.9	378	43	13.98
8	3.9	37	43	18.26

4.2.3. Obtención de muestras de níquel con variación de temperatura

La temperatura ha sido igualmente controlada mediante la regulación del termostato en cuatro intervalos iguales mientras que los otros parámetros han permanecido constantes con lo cual se ha obtenido el tercer grupo de muestras.

Nº de muestra	pH	Contenido metálico (sulfam. de níquel) g/lit.	Temp. °C	Densidad de corriente Amp/dm^2
9	3.9	378	38	9.46
10	3.9	378	45	9.46
11	3.9	378	52	9.46
12	3.9	378	60	9.46

4.2.4. Obtención de muestras de níquel con variación del contenido metálico de la solución

El contenido metálico de la solución se ha variado dentro de su rango en cuatro intervalos iguales mediante el cambio de proporción del sulfamato de níquel y agua destilada con lo cual se ha obtenido el cuarto grupo de muestras.

Así mismo los demás parámetros han permanecido constantes. La valoración del contenido metálico de la solución se ha

llevado a cabo de acuerdo al análisis del baño establecido en la sección 3.3.

Nº de muestras	pH	Contenido metálico (sulfam. de níquel) g/lit.	Temp. °C	Densidad de corriente Amp/dm^2
13	3.9	328	43	9.46
14	3.9	378	43	9.46
15	3.9	435	43	9.46
16	3.9	493	43	9.46

4.3. CONTROL DE PROPIEDADES MECANICAS Y METALOGRAFICAS

4.3.1. Examen microscópico

De cada una de las muestras válidas se tomó una lámina de aproximadamente 1 cm. mediante cortes con disco abrasivo y abundante lubricación y enfriamiento a base de agua para eliminar posibles alteraciones de la microestructura.

Cada lámina se llevó a montaje, para lo cual se colocó el níquel sobre una placa de vidrio de 38 x 50 mm. y rodeado por un molde cilíndrico de baquelita.

La placa y el molde fueron rociados con silicón con la finalidad de evitar adherencias de la probeta al molde ci-

líndrico.

Se preparó en una cápsula una mezcla de resina de embutición cuya composición es la siguiente:

resina plástica marca BUEHLER en polvo	2 partes
resina plástica líquida	1 parte
ocho gotas de catalizador	

Después de 20 minutos de vertida esta mezcla dentro del molde cilíndrico se procedió al pulido de las probetas según la norma E3 - 46T de la A.S.T.M. para níquel.

Dicha norma establece que se pula de modo gradual con lija 1G, 1, 0, 00, y 000 ó a su vez con polvos a base de carborundum números 240, 320 y 400.

El pulido final se realizó con una suspensión de óxido de magnesio en agua sobre una rueda cubierta con paño fino y que gira entre 400 y 600 revoluciones por minuto.

La probeta fue enjuagada cuidadosamente en agua y luego con alcohol, para pasar a soplado con aire caliente.

La siguiente etapa fue el ataque químico mediante reactivo recomendado en el Atlas de Microestructura de la A.S.T.M.

compuesto por partes iguales de ácido nítrico concentrado y ácido acético glacial.

El ataque duró 4 minutos para revelar una microestructura satisfactoria.

Una vez revelada la microestructura de las probetas se procedió a tomar las microfotografías en el mismo orden de obtención de las muestras, para lo cual se utilizó un mismo aumento: 1000X.

En cada caso se asignó el mismo número A.S.T.M. de tamaño de granos mediante la aplicación del método de HILLIARD, que establece la siguiente fórmula[14]:

$$Nº\ A.S.T.M. = -10 - 6.64 \log \frac{Lt}{PM}$$

donde:

L = tamaño del círculo de la plantilla estandarizada

t = número de veces que se aplica la plantilla

P = número de intersecciones de la microfotografía con el círculo aplicado.

P es aceptable cuando es mayor ó igual a 6 en cada aplicación y dá un total que puede ser aproximadamente igual a 35.

M = magnificación.

Como ejemplo ilustrativo se ha calculado el tamaño de grano usando la microfotografía Nº 3.

Primera aplicación	17 intersecciones
Segunda aplicación	17 intersecciones
Tercera aplicación	14 intersecciones
TOTAL	48 intersecciones

Magnificación 1.000 X

Círculo aplicado 10 cm.

$$Nº\ A.S.T.M. = -10 - 6.64 \log \left(\frac{10 \times 3}{48 \times 1000}\right)$$

$$= 11.28$$

Las muestras no válidas se descartaron por diferentes defectos ocasionados en los procesos de electroformado, tales defectos inhabilitan las matrices por una mala presentación en unos casos y por su extrema fragilidad en otros casos.

Así la muestra Nº 1 se descartó por presentar una matriz obscura, fenómeno producido por un pH demasiado bajo (3.5); se ilustra esta falla en la fotografía Nº 10.



NO_3H 50% CH_3-COOH 50% 1000 X

MICROFOTOGRAFIA Nº 2

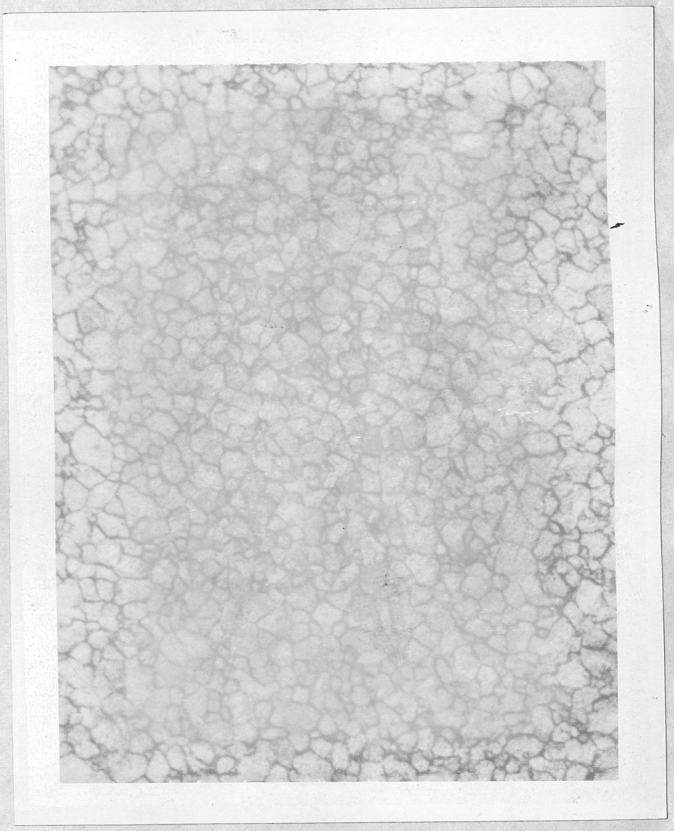
Tamaño de grano 10:80



NO_3H 50% CH_3-COOH 50% 1000X

MICROFOTOGRAFIA Nº 3

Tamaño de grano 11.28



NO_3H 50% CH_3- COOH 50% 1000X

MICROFOTOGRAFIA Nº 5

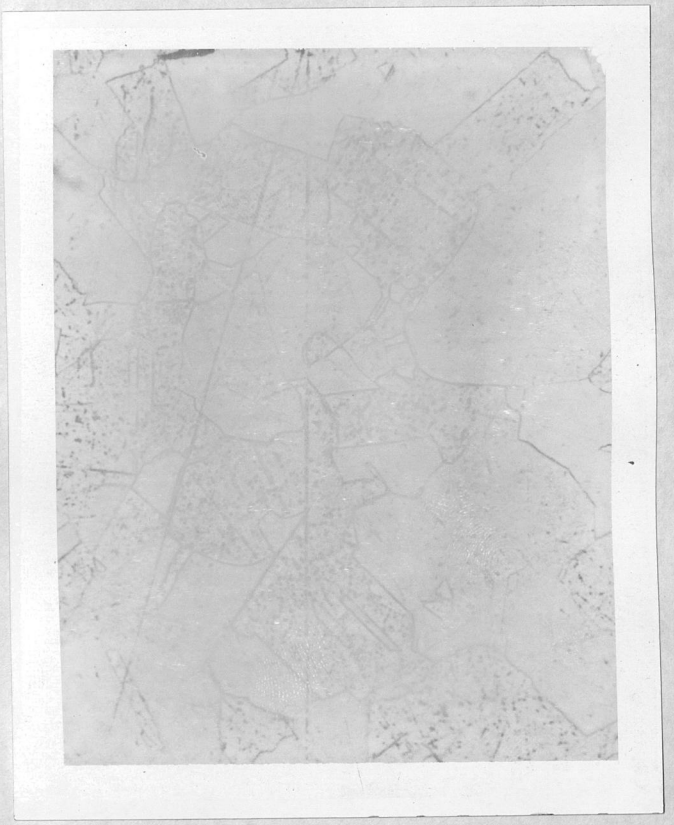
Tamaño de grano 14.50



NO_3H 50% CH_3-COOH 50% 1000X

MICROFOTOGRAFIA Nº 6

Tamaño de grano 11.22



NO_3H 50% CH_3-COOH 50% 1000X

MICROFOTOGRAFIA Nº 7

Tamaño de grano 8.80



NO_3H 50% CH_3- COOH 50% 1000X

MICROFOTOGRAFIA Nº 10

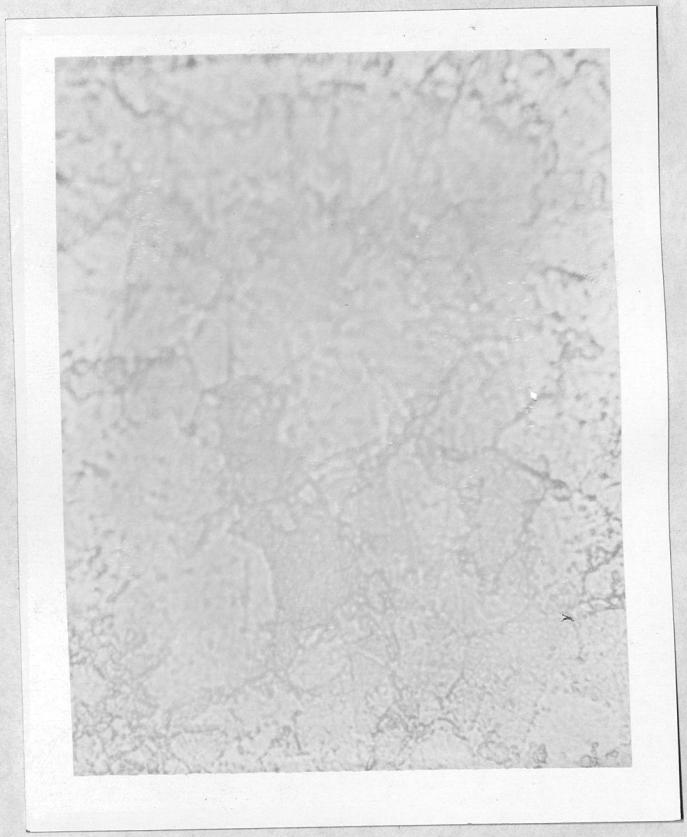
Tamaño de grano 12.40



NO_3H 50% CH_3-COOH 50% 1000X

MICROFOTOGRAFIA Nº 11

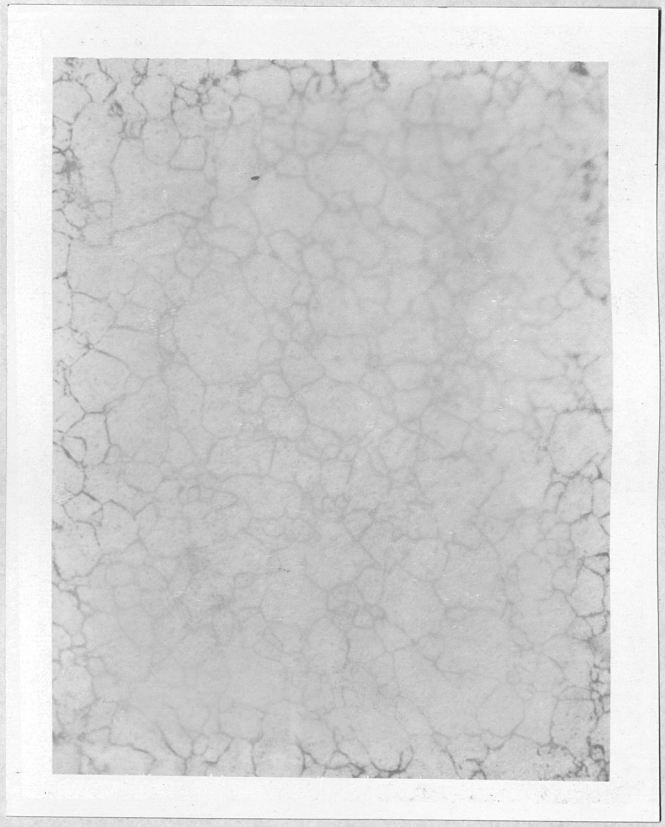
Tamaño de grano 10.70



NO_3H 50% CH_3-COOH 50% 1000X

MICROFOTOGRAFIA Nº 12

Tamaño de grano 10.45



NO_3H 50% CH_3- COOH 50% 1000X

MICROFOTOGRAFIA Nº 14

Tamaño de grano 13.0



NO_3H 50% CH_3-COOH 50% 1000X

MICROFOTOGRAFIA Nº 15

Tamaño de grano 10.83



NO_3H 50% CH_3-COOH 50% 1000 X

MICROFOTOGRAFIA Nº 16

Tamaño de grano 9.62



NO_3H 50% CH_3COOH 50% X

MICROFOTOGRAFIA Nº 19

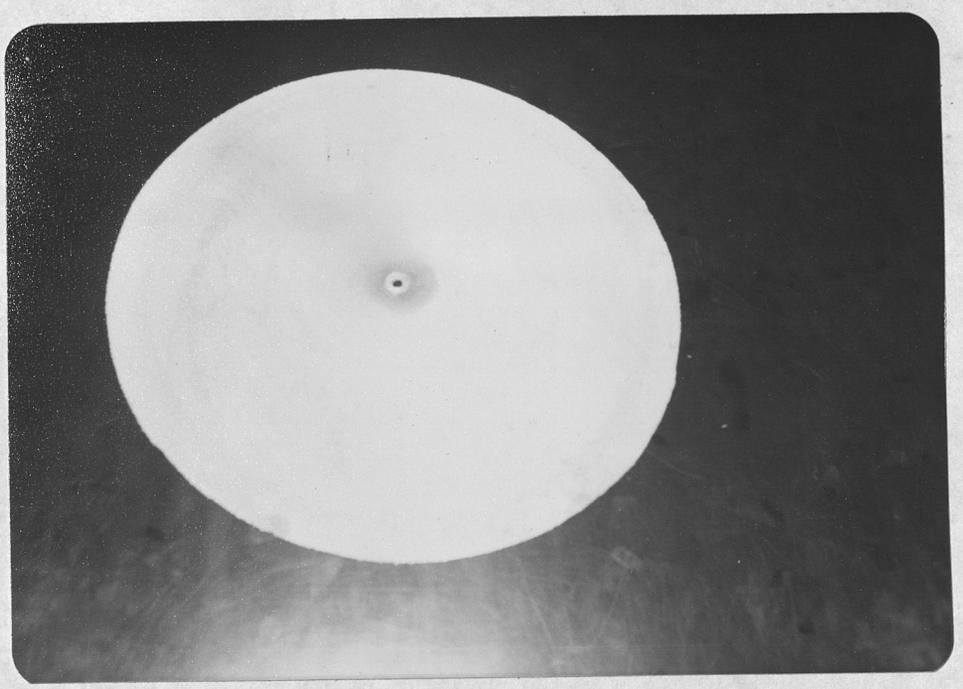
Tamaño de grano 12.7

La muestra Nº 4 se descartó por presentar una matriz quebradiza producida por un pH demasiado alto (4.4) este defecto se ilustra en la fotografía Nº 11.

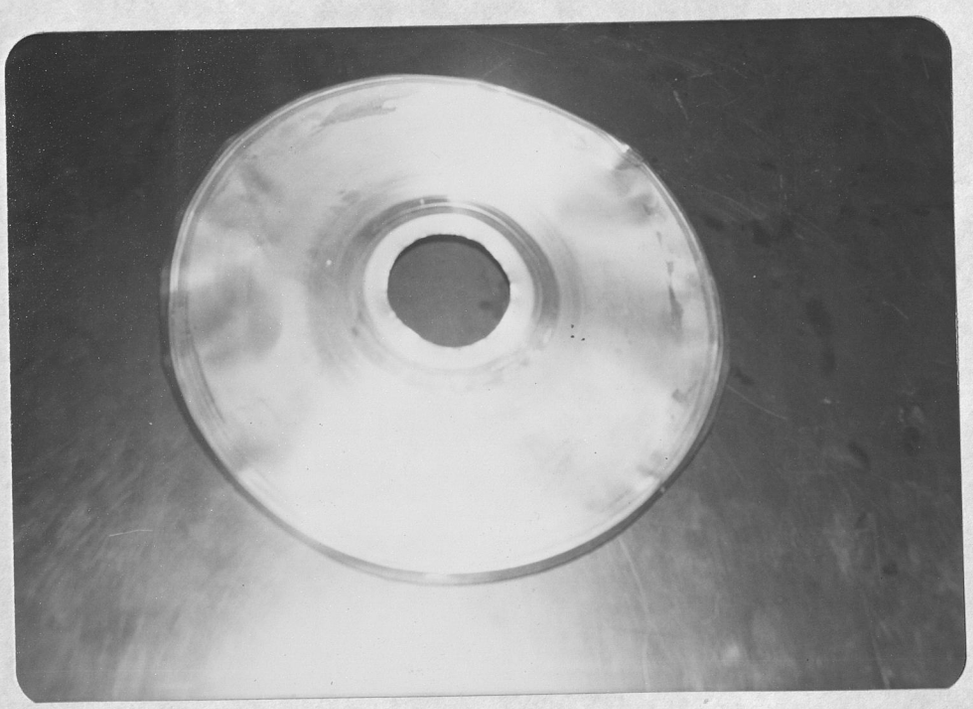
La muestra Nº 8 se descartó por presentar una matriz quemada ocasionada por una densidad de corriente muy alta (18.26 Amp/dm^2) e ilustrada en la fotografía Nº 12.

La muestra Nº 9 se descartó por presentar una matriz obscura, en este caso la causa fue una baja temperatura (38°C).

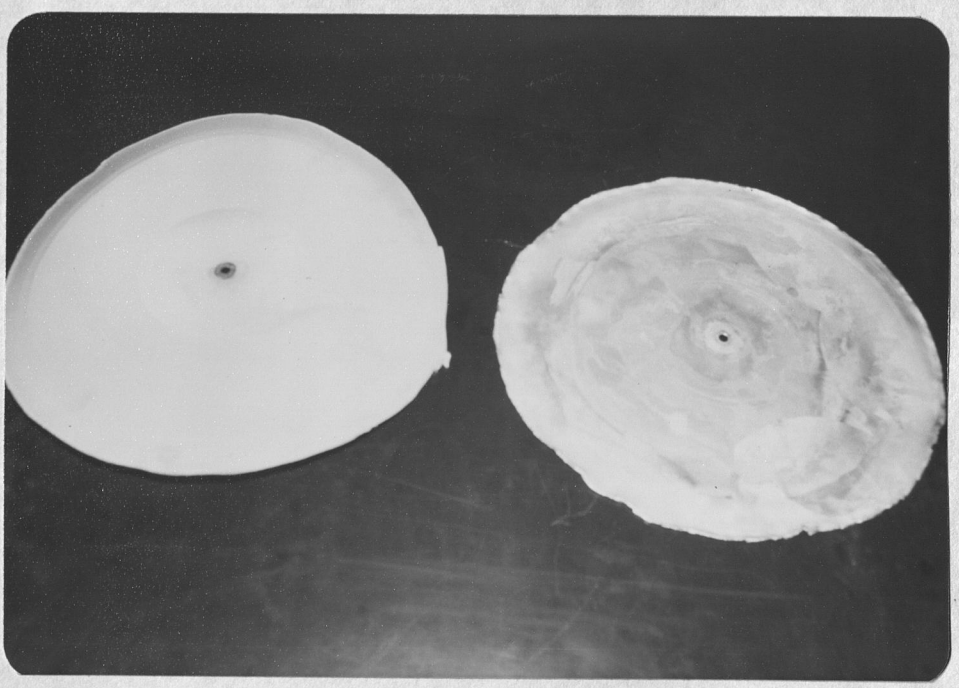
La muestra Nº 13 también produjo una matriz quemada pero en este caso por un contenido metálico muy bajo (328 g/lit).



FOTOGRAFIA Nº 10



FOTOGRAFIA Nº 11



FOTOGRAFIA Nº 12

4.3.2. Microdurometría Vickers

La prueba de microdureza Vickers consiste en marcar sobre la superficie en examen una huella permanente mediante un penetrador de diamante en forma de pirámide de base cuadrada sobre la que se aplica sin choque una carga prefijada.

La intersección con la superficie de la pieza será un cuadrado y sus diagonales se miden con ayuda de un microscopio.

La dureza Vickers se expresa como la relación de la carga en kilogramos aplicada y el área en milímetros cuadrados de la huella.

El número de dureza debe deducirse a partir del promedio de las diagonales de tres huellas. Las huellas deben distanciarse entre sí para que no se influyan mutuamente y deben estar alejadas de los bordes para evitar deformaciones que falsearían los resultados.

Es necesario respetar las siguientes distancias:

Entre ejes de huellas $\geq$ 4 diagonales

Entre centro de huella y borde de probeta $\geq$ 2.5 diagonales.

RESULTADO DE LAS PRUEBAS DE MICRODUROMETRIA VICKERS

Nº de MUESTRA	PROMEDIO DE MEDIDAS DE ARISTAS uf		PROMEDIO DE ARISTAS uf	DUREZA Nº
	A	B		
2	301.3	292.0	296.6	158.19
3	276.0	274.0	275.0	183.87
5	242.0	240.0	241.0	239.49
6	290.0	300.0	295.0	159.78
7	404.0	402.0	403.0	85.65
10	266.0	270.0	268.0	193.65
11	326.0	324.0	325.0	131.64
12	325.0	330.0	328.0	121.64
14	255.0	256.0	255.5	212.73
15	301.0	303.0	302.0	154.47
16	359.3	361.0	360.15	107.19

uf: unidades filares

Las cargas empleadas en todos los ensayos fué de 300 g. y aplicación durante 15 segundos.

La medición de las aristas se llevó a cabo con lente de magnificación 50x.

4.3.3. Ensayos de tracción

Los ensayos consisten en someter las probetas de niquel electroformado a esfuerzo axial gradualmente creciente hasta provocar la rotura.

Bajo el esfuerzo de tracción aplicado en forma gradual y contínua desde cero hasta su valor máximo la probeta se alarga un tanto que se medirá después haciendo coincidir exactamente las dos partes de la misma.

La norma B 162-49T de la Sociedad Americana de Pruebas de Materiales (ASTM) da el método E8-54T para la prueba de tracción de láminas.

De acuerdo a este método, la figura Nº 7 da las dimensiones de probetas que se usan con materiales de, espesor nominal desde 0.127 mm. hasta 12.7 mm. y anchos de 16 mm. ó más.

Las muestras fueron recortadas en láminas de 9 mm. de ancho y luego maquinadas a baja velocidad hasta su dimensión final para evitar calentamiento ó endurecimiento y finalmente pulidas.

Los ensayos de tracción se llevaron a efecto en la Maquina INSTRON MODELO 1230 a temperatura ambiente y a velocidad constante de 5 mm. por segundo.

Remitiéndose al gráfico de tracción Nº 2 cuyo número corresponde a su respectiva probeta se obtienen los valores de la carga de fluencia ó el límite elástico Fe y la carga de rotura Fr en una escala de ordenadas de cero a doscientos kilogramos. La carga máxima Fm se confunde con Fr.

En las abcisas se encuentran graficados los valores de OB bajo la carga de fluencia y de OA bajo la carga de rotura.

Cálculo del límite de fluencia

Tomando la probeta Nº 2 como caso típico se tiene:

$$Lf = \frac{Fe}{Ao} = \frac{86\ kg}{3.06\ mm^2} = 28.10\ kg/mm^2$$

donde:

Lf = Límite de fluencia

Fe = Carga al límite elástico

Ao = Area de la sección transversal de la probeta

Cálculo del porcentaje de alargamiento o elongación.

La elongación se expresa como la relación:

$$\frac{\Delta \ell}{\ell} \times 100 \quad \text{ó} \quad \frac{\ell f - \ell o}{\ell o} \times 100$$

donde:

ℓf = Longitud final

ℓo = Distancia entre marcas de la probeta

Tomando la probeta Nº 2 como caso típico se tiene:

$$\frac{62.3 \text{ mm.} - 57.15 \text{ mm.}}{57.15} \times 100 = 9\%$$

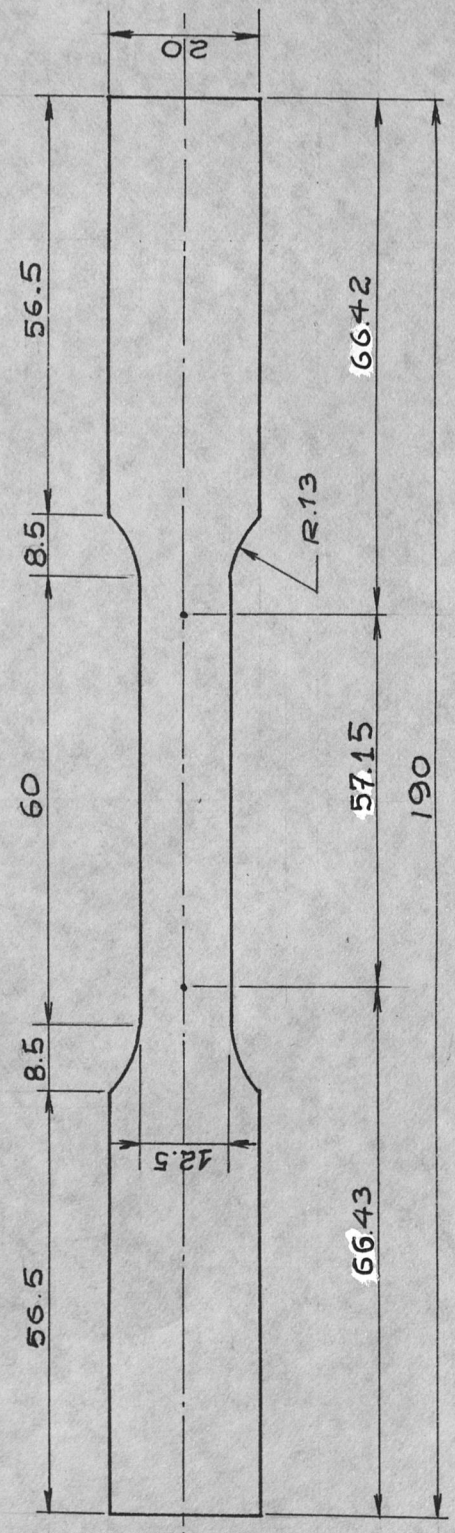


FIGURA Nº 7

Dimensiones de probetas para ensayos de tracción según norma A.S.T.M. B162-49T

GRAFICOS Y RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCION

DIAGRAMAS TAMAÑO DE GRANOS, DUREZA, RESISTENCIA A LA TRACCION Y ELONGACION.

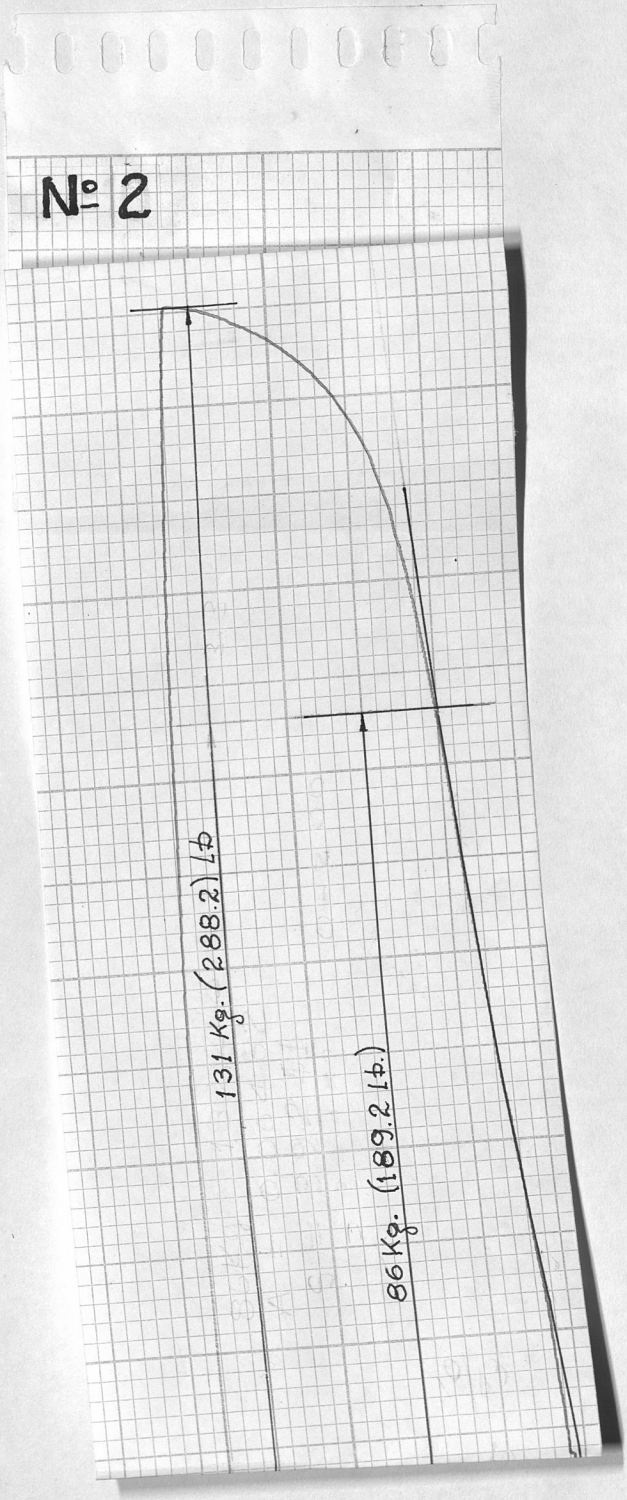


Gráfico de tracción de la probeta Nº 2

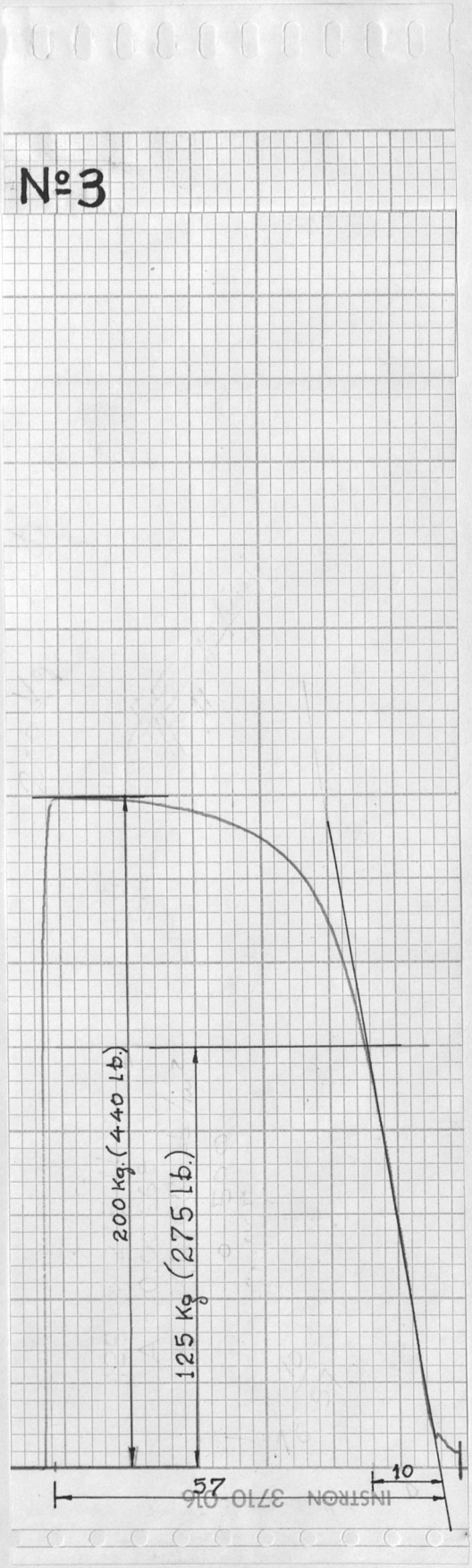


Gráfico de tracción de la probeta Nº 3

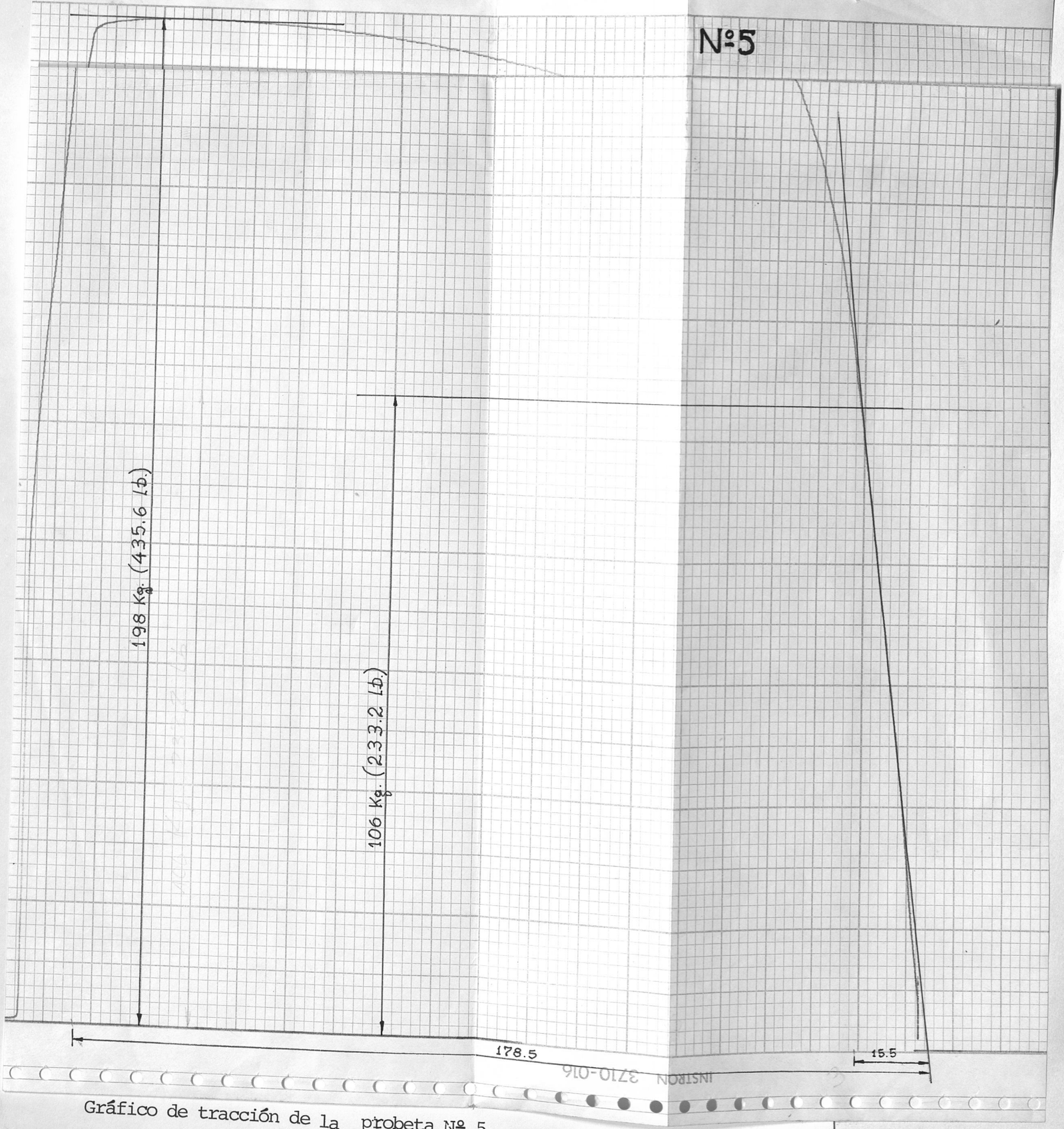
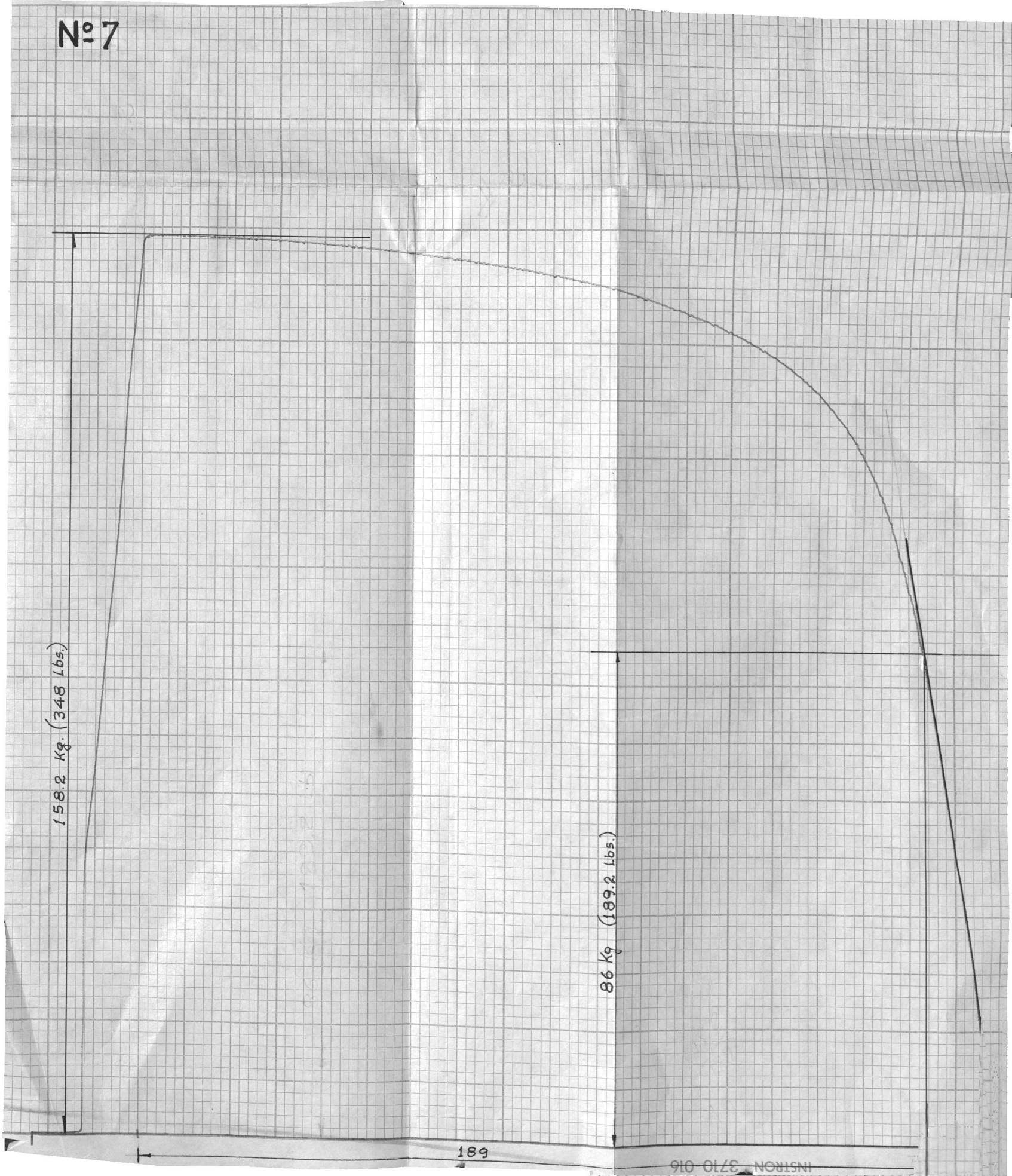


Gráfico de tracción de la probeta Nº 5

Gráfico de tracción de la probeta Nº 6


№7
158.2 Kg. (348 lbs.)
86 Kg (189.2 lbs.)
189
INSTRON 3710-016

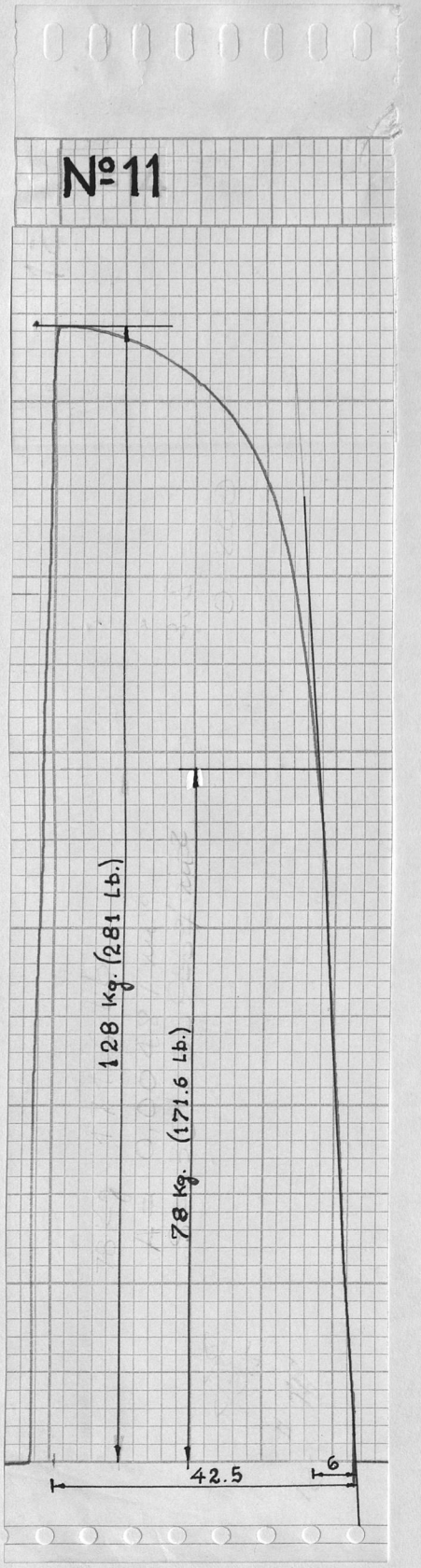


Gráfico de tracción de la probeta Nº 11

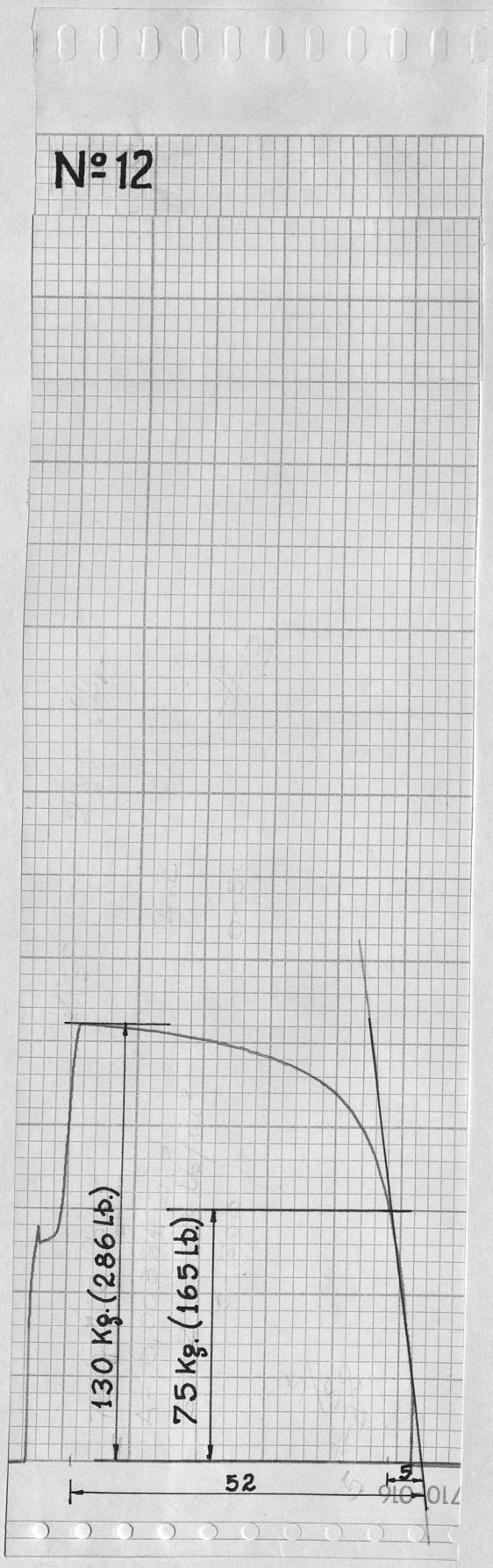
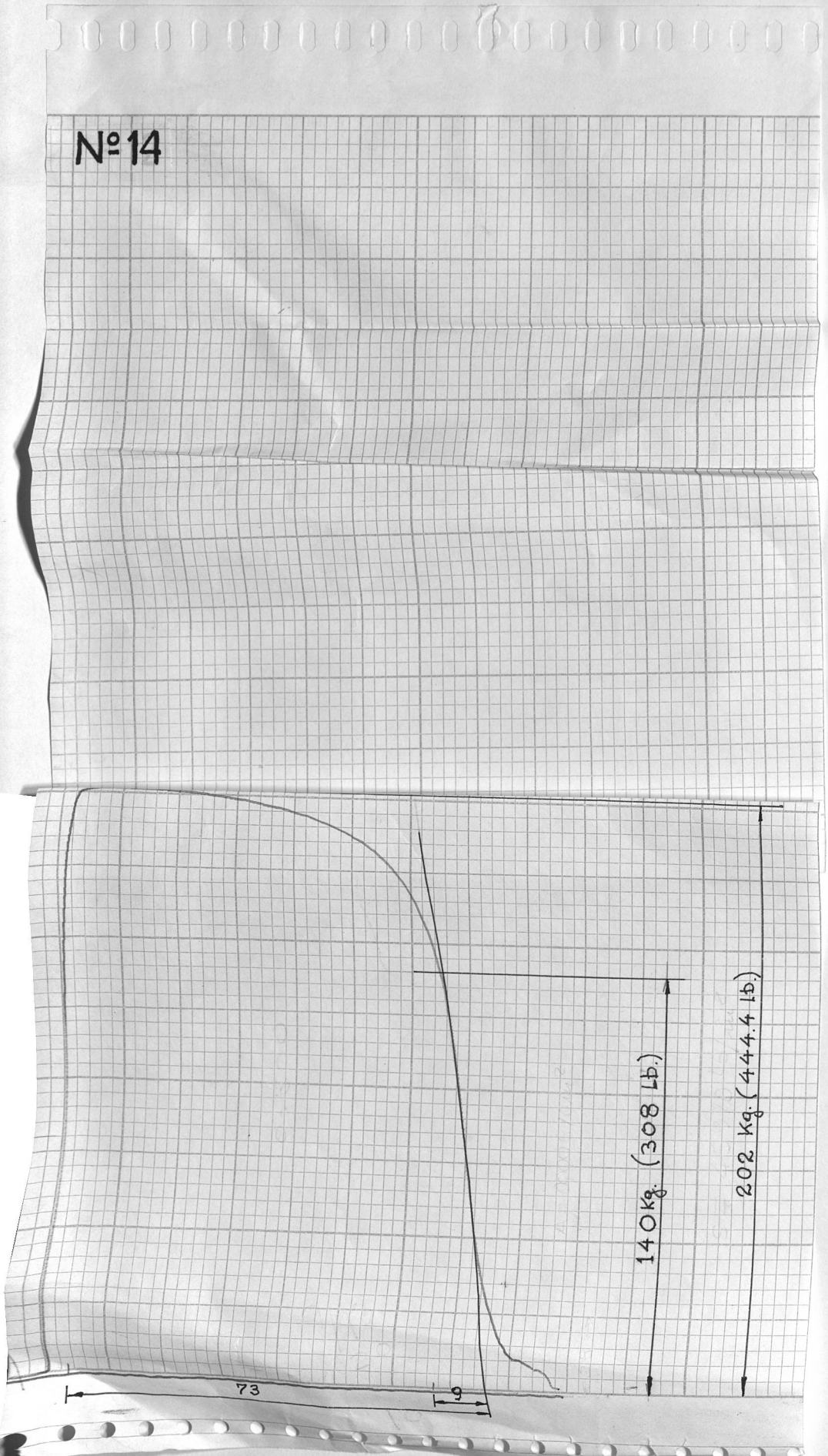


Gráfico de tracción de la probeta Nº 12


№14
140 kg. (308 Lb.)
202 kg. (444.4 Lb.)
73
9

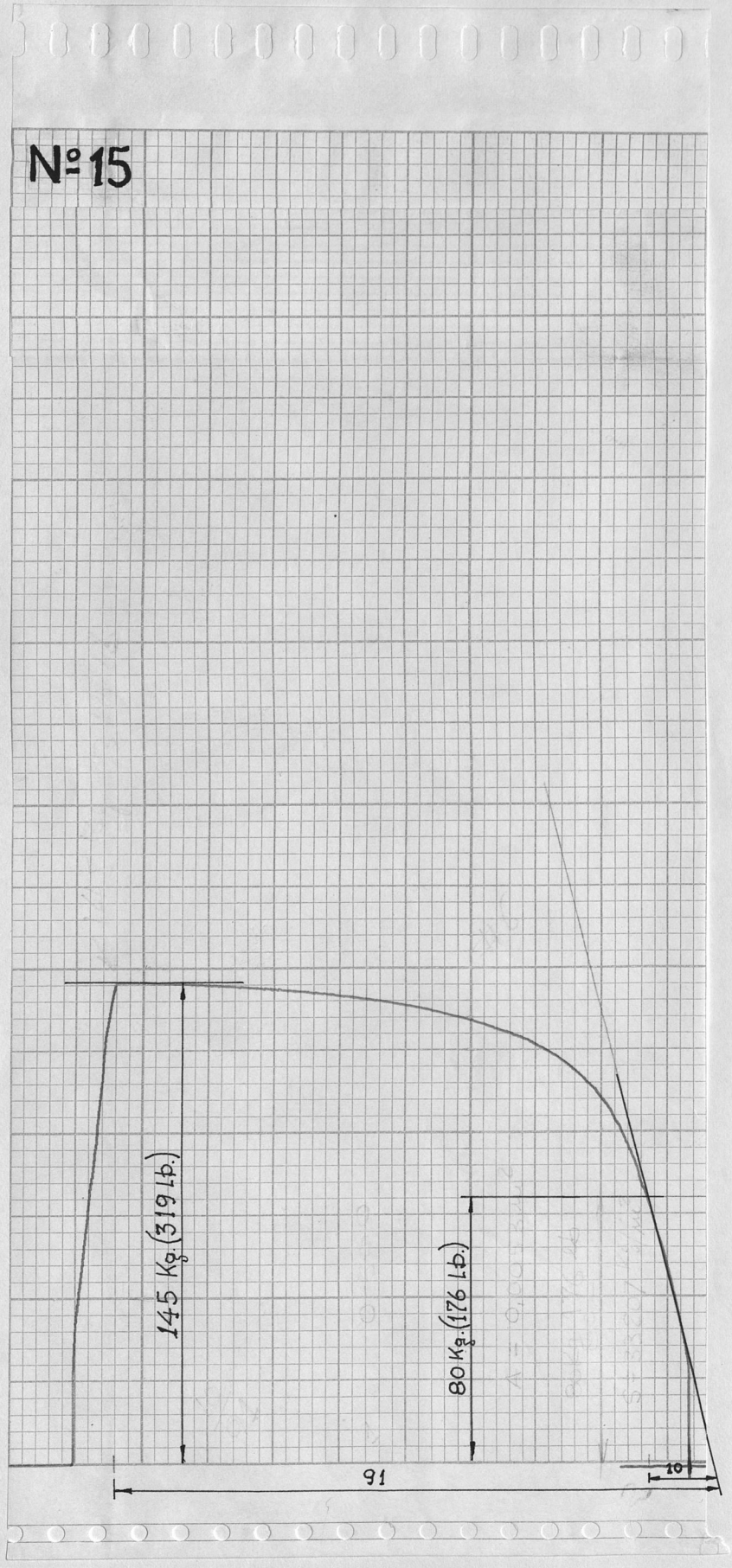


Gráfico de tracción de la probeta Nº 15

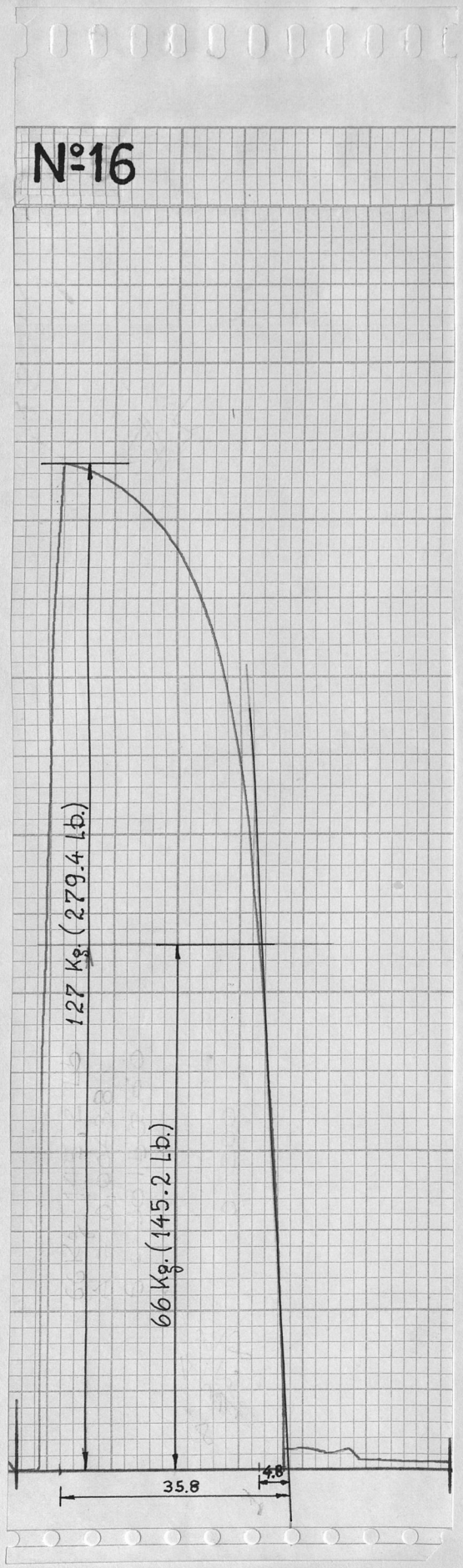


Gráfico de tracción de la probeta Nº 16

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Apartado: 5863 - Guayaquil - Ecuador.
Lab. Ensayo de Materiales

ENSAYO DE TENSION

Solicitud No.

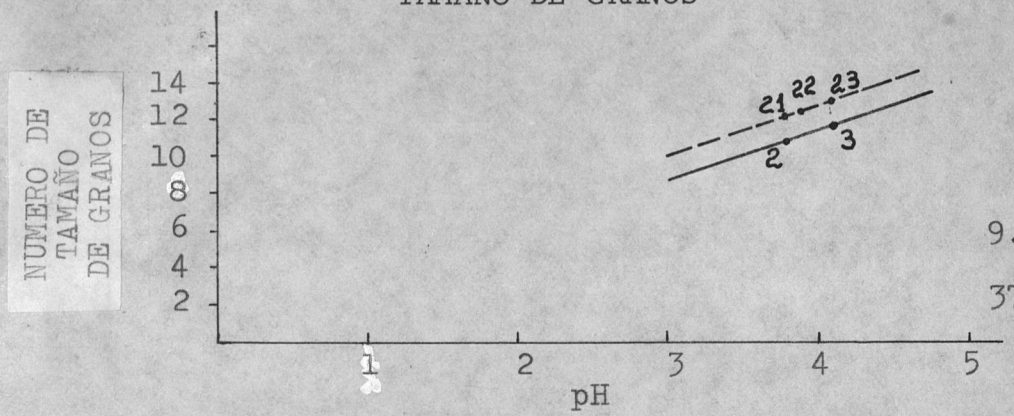
Solicitado por: OSWALDO ORDOÑEZ
Material: Niquel
Temp. de ensayo: Ambiente
Velocidad de ensayo:
Equipo usado: Máquina INSTRON Modelo 1230
Fecha:

Observaciones:
Norma:
Grado:
Resistencia a la tracción:
Límite de fluencia:
Alargamiento:

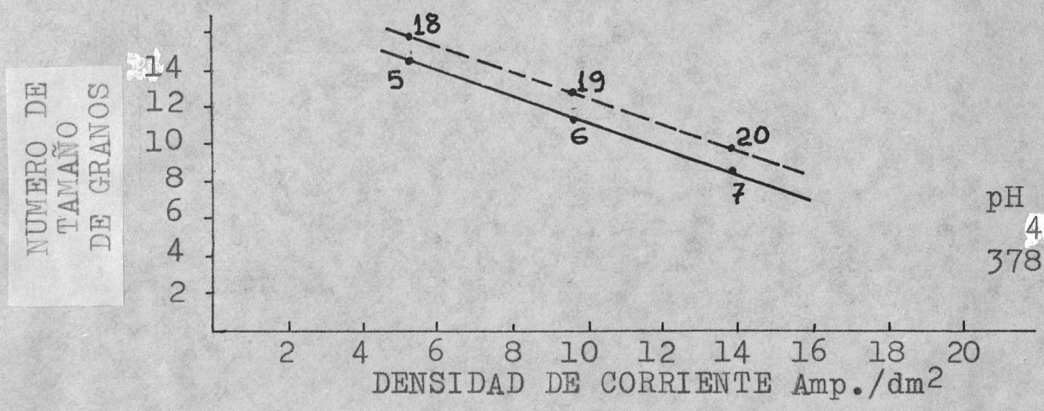
Probeta No.	Diámetro de la muestra	Sección de la probeta	Longitud inicial	Longitud final	Limite de fluencia	Resistencia a la tracción	Resistencia a la rotura	Alargamiento	OBSERVACIONES
	mm	mm^2	mm	mm	kgf/mm^2	kgf/mm^2	kgf/mm^2	o/o	
2		3.06	57.15	62.30	28.10	42.81		9.0	
3		4.23	57.15	60.80	29.55	47.28		6.3	
5		3.12	57.15	58.63	33.97	63.46		2.6	
6		3.07	57.15	61.01	28.66	42.34		6.7	
7		4.30	57.15	69.26	20.00	35.53		21.2	
10		4.63	57.15	60.48	30.23	43.19		5.8	
11		3.09	57.15	64.38	25.24	41.42		12.6	
12		3.05	57.15	64.58	24.59	42.62		13.0	
14		4.25	57.15	58.93	32.94	47.52		3.1	
15		2.96	57.15	63.45	27.02	42.93		11.0	
16		2.71	57.15	65.66	24.35	46.86		14.8	

93A

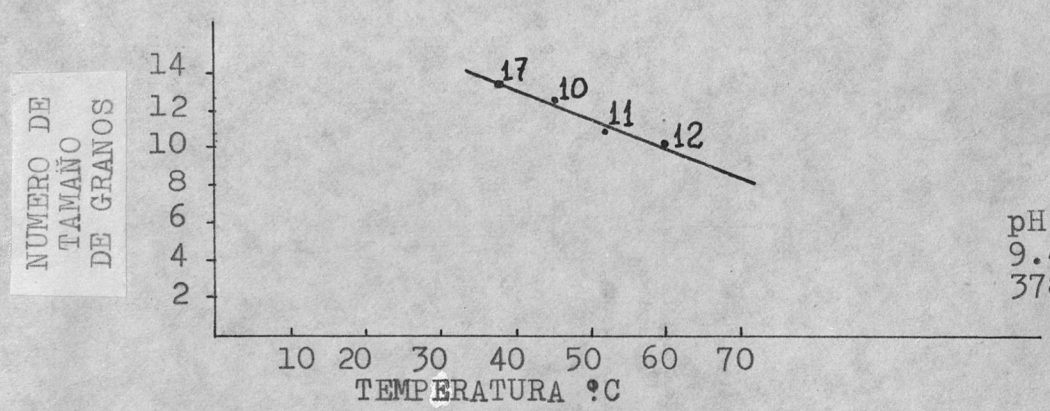
TAMAÑO DE GRANOS



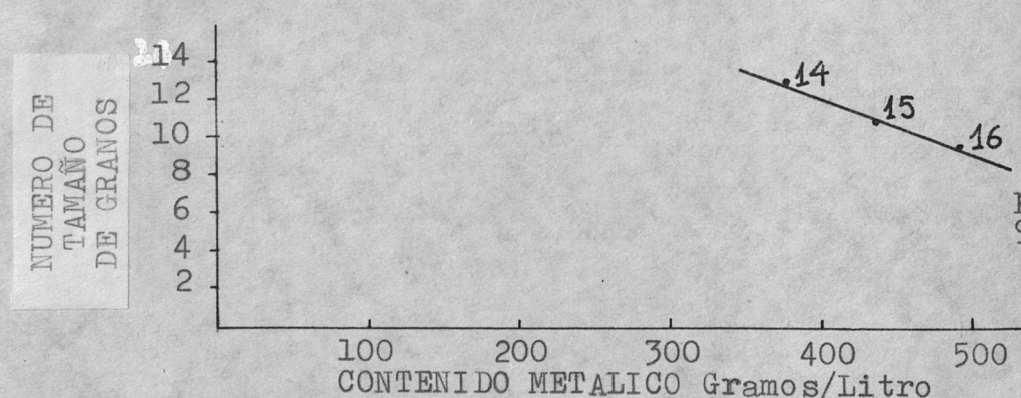
9.46 Amp/dm^2
43°C –
378 g/lit.



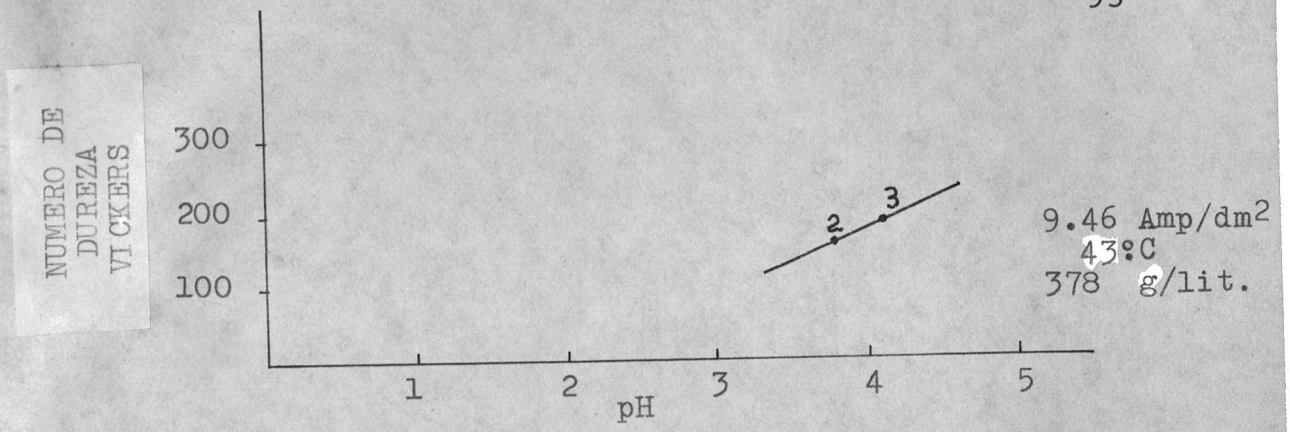
pH 3.9
43°C
378 g./lit.

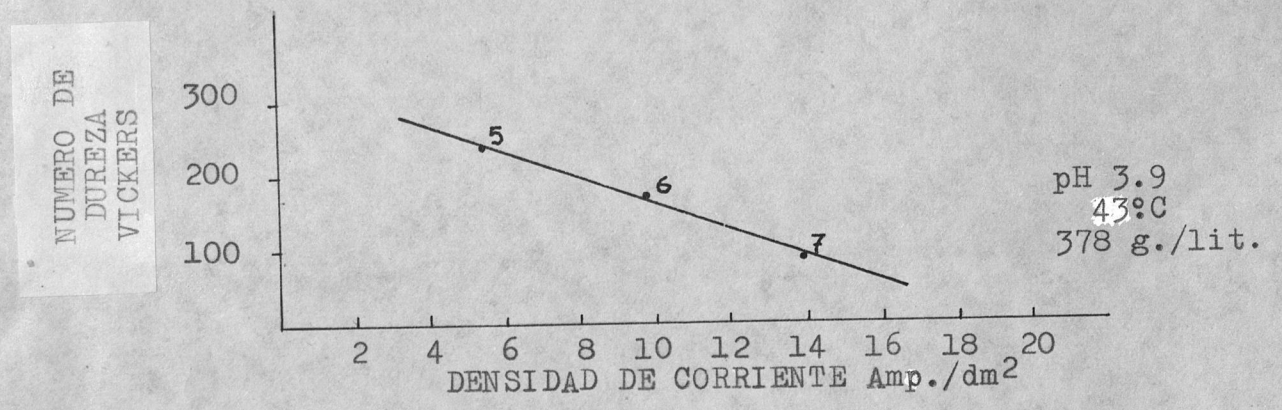


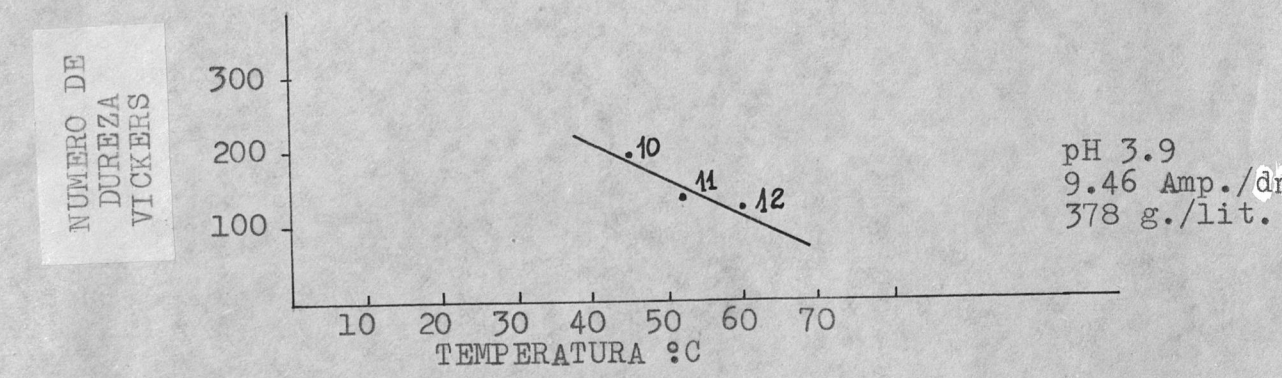
pH 3.9
9.46 Amp/dm^2
378 g./lit.

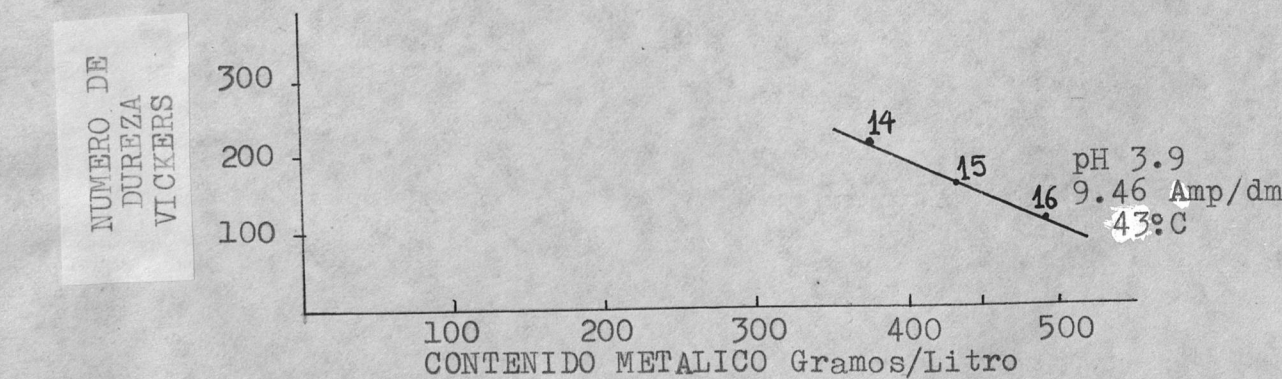


pH 3.9
9.46 Amp/dm^2
43°C

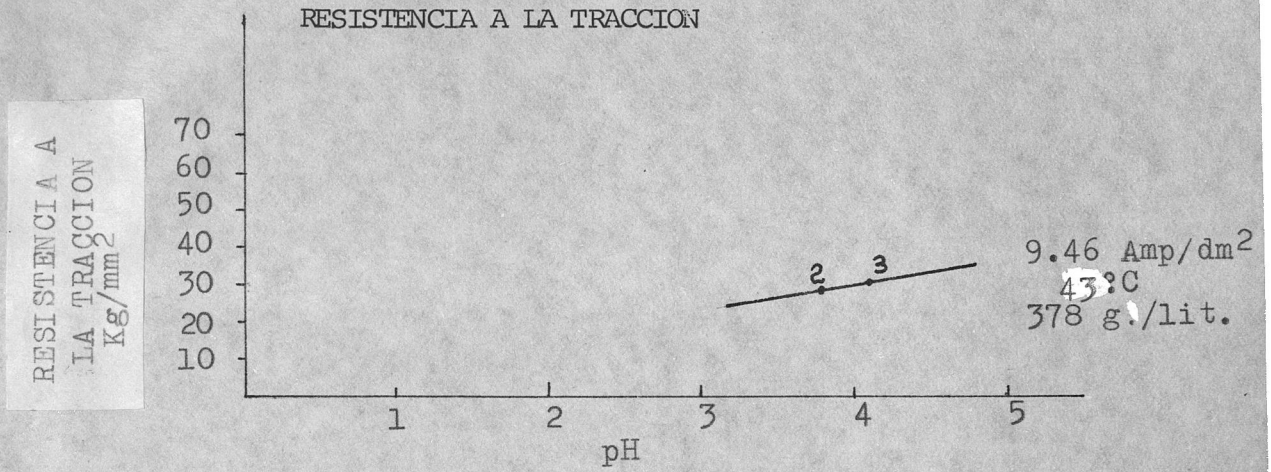

NUMERO DE DUREZA VICKERS
300
200
100
1
2
3
4
5
pH
2
3
9.46 Amp/dm2
43°C
378 g/lit.

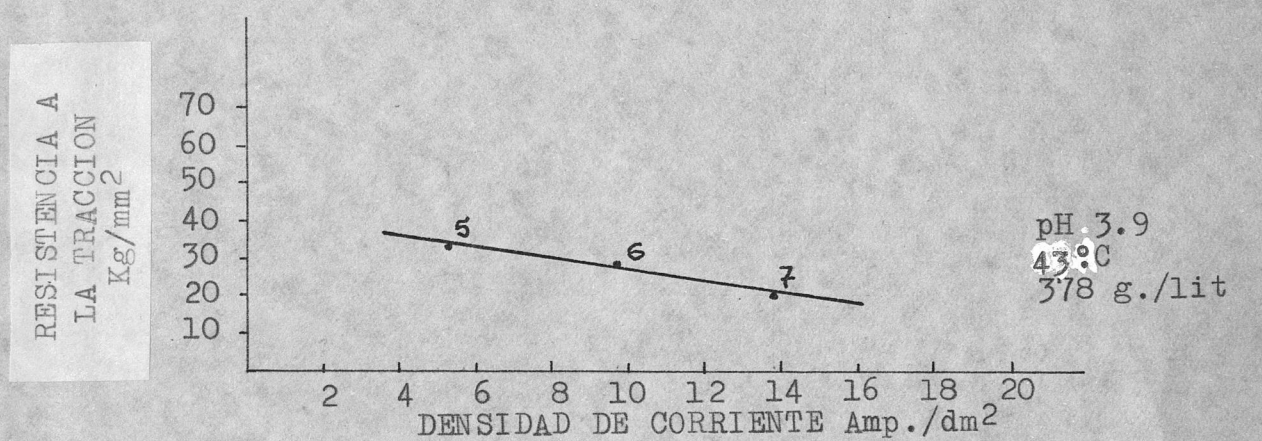

NUMERO DE DUREZA VICKERS
300
200
100
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
DENSIDAD DE CORRIENTE Amp./dm2
5
6
7
pH 3.9
43°C
378 g./lit.

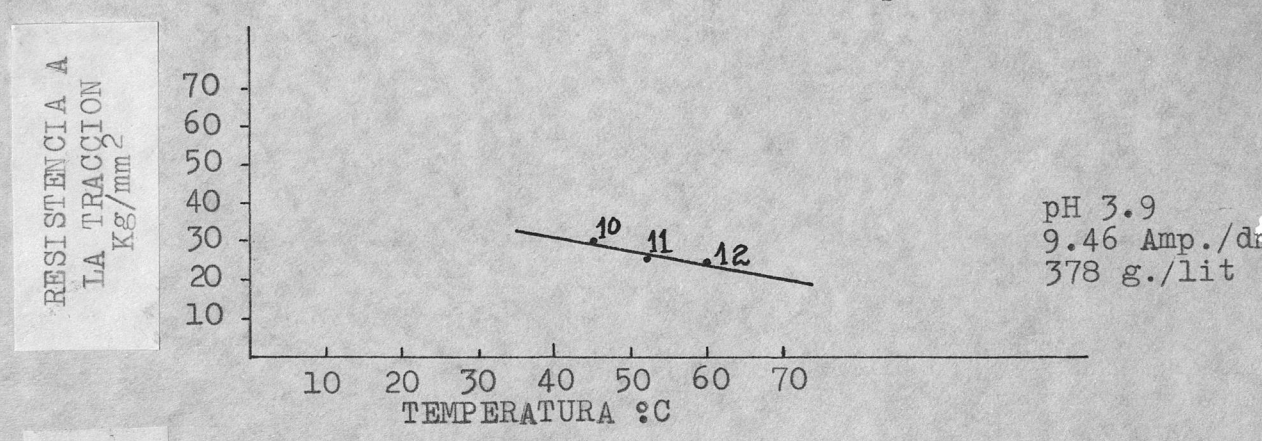

NUMERO DE DUREZA VICKERS
300
200
100
10
20
30
40
50
60
70
TEMPERATURA °C
10
11
12
pH 3.9
9.46 Amp./dm2
378 g./lit.

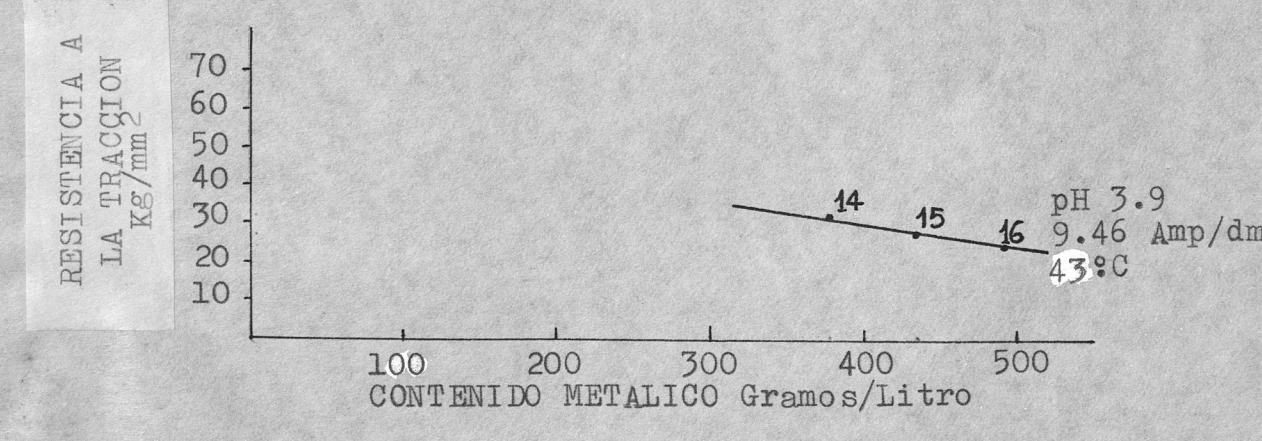

NUMERO DE DUREZA VICKERS
300
200
100
100
200
300
400
500
CONTENIDO METALICO Gramos/Litro
14
15
16
pH 3.9
9.46 Amp/dm2
43°C

RESISTENCIA A LA TRACCION

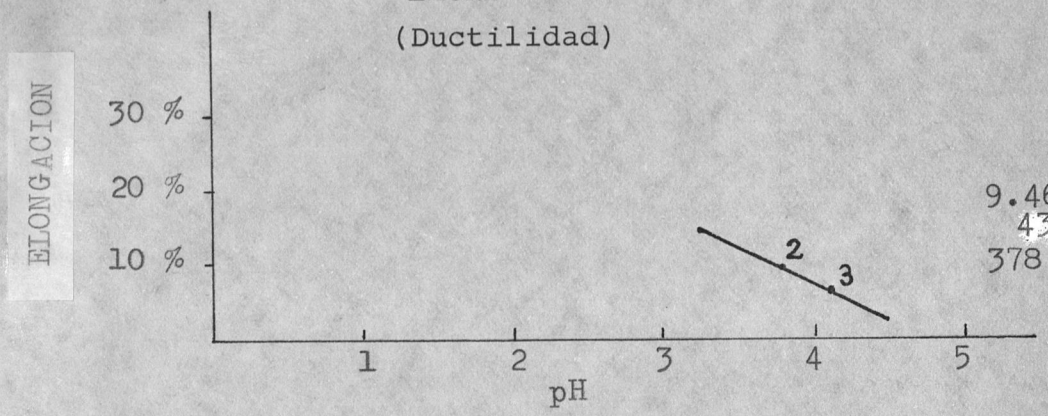




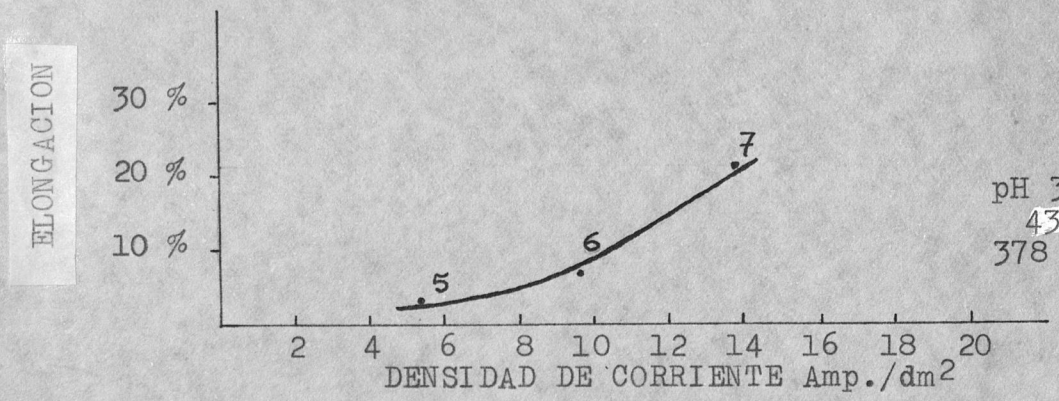




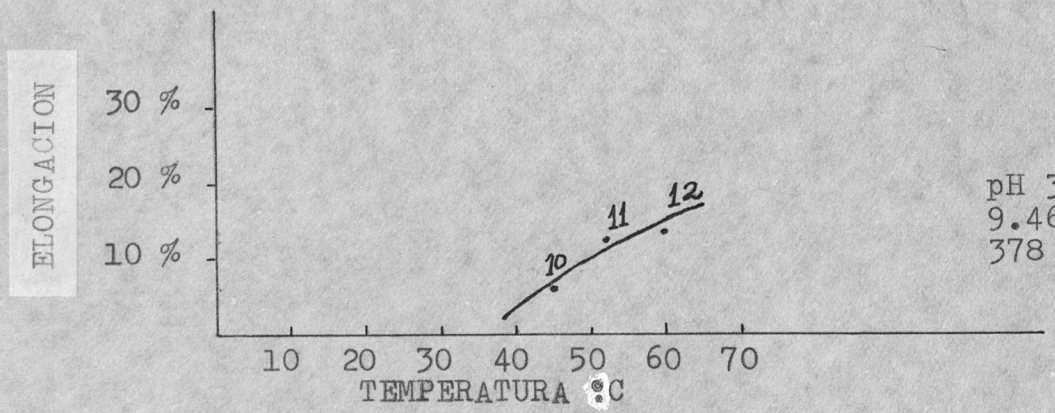
ELONGACION
(Ductilidad)



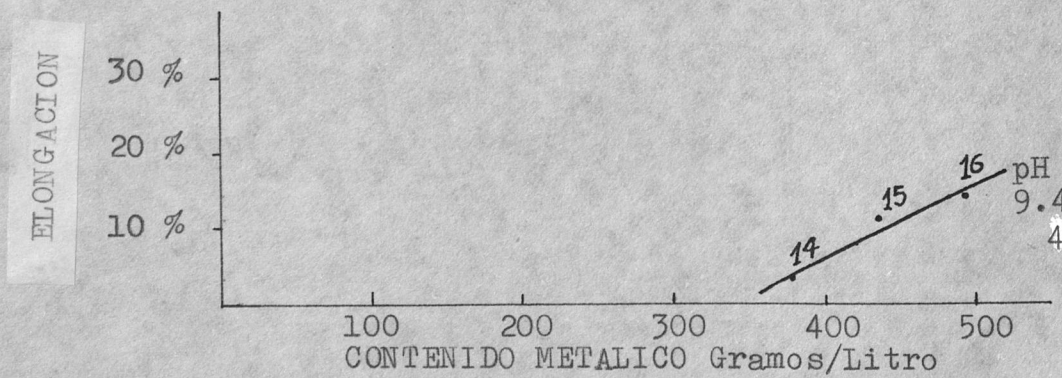
9.46 Amp./dm^2
43 °C
378 g./lit.



pH 3.9
43 °C
378 g./lit.



pH 3.9
9.46 Amp./dm^2
378 g./lit.



pH 3.9
9.46 Amp./dm^2
43 °C

4.4. ANALISIS DE RESULTADOS

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es dar una respuesta a un problema industrial que ocasiona retrasos en la producción y por ende una consecuente pérdida de dinero.

El problema consiste como se ha expuesto en la sección (2.1) en la fractura prematura de matrices fonográficas de níquel que se han obtenido mediante el proceso de electroformado.

A nivel industrial no se cuenta con personal especializado para una investigación privada ni de equipo idóneo para someter el material a ensayos de laboratorio - que determinen la calidad del mismo antes de usarse en la manufactura de discos.

La fractura de un elemento metálico sometido a cargas - cíclicas de compresión se puede presentar por factores tales como: una dureza muy elevada, la presencia de esfuerzos internos residuales o por fatiga.

Considerando el primer caso, o sea un material de matriz con elevada dureza, se puede afirmar que es una de las causas principales de la fractura.

El hecho mismo de no poder modificar arbitrariamente los parámetros del proceso ha sido determinativo para estudiar el problema en condiciones de laboratorio y luego llevar a planta las recomendaciones que hicieran posible dar el correctivo al proceso.

En base de los resultados de las pruebas de dureza de las muestras de laboratorio y en las pruebas de las matrices - confeccionadas en planta con valores de parámetros recomendados por pruebas de laboratorio se puede indicar que materiales que poseen dureza elevada tienen más tendencia a la fractura.

Así la durabilidad de las matrices que siguieron el proceso Nº 5 no alcanza a llegar al 2%.

En cuanto a esfuerzos internos residuales no se ha hecho mayor hincapié en su estudio debido a la inherente facilidad del baño de sulfamato de níquel de producir los más bajos esfuerzos internos y por no disponer en la actualidad de instrumentos capaces de medirlos ni a nivel de planta ni a nivel de laboratorio.

A fin de controlar la condición de tener esfuerzos residuales de tensión a niveles recomendados por la experiencia -

técnica se ha procedido a minimizar el contenido de cloruro de níquel en el baño de bajo pH, así se obtuvo la muestra de laboratorio Nº 2 y la no utilización del cloruro de níquel en los demás baños de laboratorio por conocer que los cloruros son los principales agentes provocadores de esfuerzos internos.

Considerando el caso de fatiga, no se ha creído conveniente analizarlo debido a que las fallas son provocadas a muy pocos ciclos de trabajo y porque no existen elevadas temperaturas de prensaje ni corrosión violenta del níquel.

El baño en sí, tomado como sulfamato puro es decir sin agentes adicionales externos, es el que nos da resultados mas fieles sin comportamiento extraño de los gráficos si no más bien lineales.

Esta ha sido la causa principal de que a nivel de laboratorio se haya optado por el baño puro.

En base a la información bibliográfica sobre electroformado de níquel y mediante la aplicación de la técnica experimental en laboratorio se ha logrado producir muestras de níquel a nivel piloto.

Estas muestras producidas con variaciones de los parámetros dentro de los rangos recomendados permiten conocer con buena precisión el comportamiento de las propiedades mecánicas de los elementos electroformados.

En virtud de tal precisión se ha podido graficar los valores de los resultados obtenidos versus variaciones de parámetros. (Ver gráficos de los valores de números de - tamaños de granos, de dureza, de resistencia a la tracción y de elongación).

La técnica experimental se efectuó, cronológicamente hablando, a partir de la variación del contenido metálico por la conveniencia de dejar un contenido metálico fijo para la obtención de las siguientes muestras mediante la variación de la temperatura.

Seguidamente se efectuaron los procesos con variación de corriente y finalmente los de variación de pH.

Con la variación de temperatura y de la densidad de corriente existe siempre una evaporación no controlada del agua componente del baño y el consecuente aumento de la concentración del mismo.

Como el aumento de concentración del baño trae como consecuencia una disminución del número de tamaño de granos se explica porqué los valores de tamaño de granos de las muestras Nº 14 y Nº 16 no son iguales a pesar de tener condiciones de obtención muy similares.

Se hizo por tanto necesario obtener otra muestra, la Nº 19 con un control preciso del contenido metálico de la solución en 378 g/lit. cuyo número de tamaño de grano satisface un punto de la familia de curvas del gráfico tamaño de grano versus densidad de corriente y que contiene a los puntos 18 y 20.

Se deduce gráficamente que el punto 22 (pH 3.9) del gráfico tamaño de granos versus pH por tener condiciones - similares a las del punto 19 debe estar situado dentro de una línea de la familia de curvas que contengan a los puntos 21 y 23.

El punto 17 a 43°C del gráfico tamaño de granos versus temperatura guarda clara consistencia con el punto 14 - del gráfico tamaño de granos versus contenido metálico.

En los gráficos se observa la clara tendencia de las curvas y la correlación entre éllas, como las de número de

tamaño de grano y dureza cuyo comportamiento es directamente proporcional.

Mientras que las curvas de resistencia a la tracción y elongación tienen un comportamiento inversamente proporcional.

Puesto que se puede manejar a voluntad cada uno de los parámetros de electroformado que son los que determinan las propiedades mecánicas del producto final, se está en condiciones de elegir de antemano las características mecánicas que tendrá cualquier elemento estructural electroformado.

Para las distintas aplicaciones industriales, utilizando este método de electroformado se puede conseguir que un elemento tenga una gran ductilidad si se trabaja con un rango alto de densidad de corriente, o si se requiere extremada dureza se la conseguirá trabajando con rangos bajos de densidad de corriente, de temperatura o de contenido metálico de la solución.

Estos conocimientos de los procesos de electroformado de níquel a nivel de laboratorio permiten que a nivel industrial se pueda entrar a producir con absoluta confianza

con los parámetros de procesos en maquinaria de mayor volumen y sin el aporte de técnicos extranjeros que como inversión inicial tienen un costo relativamente alto.

En el caso específico de una industria local que utiliza este proceso como una etapa de manufactura se encuentra una productora de discos fonográficos. Utiliza el electroformado para producir sus matrices de níquel.

Esta planta dió facilidades para que se pueda reafirmar la validez de la técnica estudiada mediante la confección de matrices con valores de parámetros preestablecidos en base a los procesos que se utilizaron en el equipo piloto.

Para la confección de matrices en planta se escogieron los siguientes procesos:

Un proceso que proporcione condiciones de gran ductilidad (Proceso Nº 7).

Un proceso que proporcione condiciones de gran dureza (proceso Nº 5).

Un proceso que proporcione condiciones promedio entre los procesos Nº 7 y Nº 5 que resultó el proceso Nº 15.

Y dos procesos con condiciones próximas a las condiciones del proceso Nº 15, estos son los procesos Nº 2 y el Nº 11.

Los resultados del cuadro de durabilidad de matrices elaboradas en planta (págs. 123-126), corroboran la eficacia de la aplicación de la técnica estudiada a nivel de laboratorio.

En su orden y en base a los resultados del cuadro de durabilidad se analiza cada proceso escogido.

Proceso Nº 7, la ductilidad que proporciona este proceso a los elementos electroformados se pone de manifiesto - por la distorsión del sonido que esas matrices produjeron, entendiéndose por distorsión, todo ruido adicional al sonido grabado.

Si los microsurcos por efectos de la ductibilidad de la matriz, de la presión del trabajo y del flujo del material del disco, se han deformado es evidente que presentarán una geometría distinta a la original.

Al no recobrar la geometría original cada surco con una - deformación permanente o creciente mantendrá o seguirá distorsionando la grabación cuyo efecto se detectó mediante

el control de audio.

Si este caso sucede en planta no es económico seguir el prensaje de discos fonográficos, se suspende el prensaje y se rechaza la matriz que es recuperable solo como materia prima.

Proceso Nº 5. El porcentaje de vida de las matrices obtenidas mediante este proceso resultó demasiado bajo. La fractura no se hizo esperar y apareció al borde de la matriz.

Este tipo de fractura (ver fotografía Nº 3) denota la existencia de esfuerzos residuales de tensión ocasionados posiblemente por una baja densidad de corriente que es el parámetro más significante de este proceso.

Las fracturas al centro de la matriz se detectaron en prensaje normal de planta, (ver fotografía Nº 4) se comprobaron los rangos de parámetros que resultaron ser los mismos del proceso Nº 14, pero con un contenido bajo de níquel de la solución.

Este rango se estableció entre 350 y 400 gramos/litro y es el que produce matrices con esfuerzos residuales de com

presión con números de tamaños de granos sobre 12 y número de dureza Vickers sobre 160.

Proceso Nº 15. Resultó ser el proceso óptimo ya que proporcionó porcentajes de vida muy próximos al 100% y en algunos casos mayores que el 100%. Se constituye por tanto en el proceso ideal para la confección de matrices para discos fonográficos.

Los procesos Nº 2 y Nº 11 son todavía de muy buen rendimiento y son económicamente aceptables puesto que su porcentaje de vida está alrededor del 85% en la mayoría de los casos.

Remitiéndose a los valores de los números de tamaños de granos se puede establecer como rango de buen rendimiento los comprendidos entre 10 y 11.5.

Si se consideran los valores de dureza de las probetas Nº 15, Nº 2 y Nº 11 se puede también establecer como rango de buen rendimiento a los valores comprendidos entre 130 y 160.

La solución al problema se orienta entonces al adecuado control de la dureza de los depósitos mediante la selec-

ción de un proceso óptimo como el número 15 por sus excelentes resultados tanto en los ensayos de laboratorio como en las pruebas de planta.

Por otro lado, es necesario evitar los procesos que involucran bajas densidades de corriente (proceso Nº 5) y bajas concentraciones de níquel de la solución del baño - (proceso Nº 14) por conocerse que provocan fallas prematuras.

4.5. PRUEBAS EN PLANTA

4.5.1. Descripción del equipo

Los equipos de planta se pueden clasificar en dos grandes grupos: los equipos de galvanoplastia y el equipo de prensaje.

Equipos de galvanoplastia.- En este grupo se encuentran según el orden de proceso.

Tanque de lavado
Cámara de enjuague
Bandejas de sensibilizado
Cámara de plateado

Tina de preniquelado

Tina de niquelado

Orilladora

Microscopio de centrado

Prensa de centrado

Prensa de preformado

Tanque de lavado.- De aproximadamente 120 litros de capacidad, es el que contiene la solución de jabón neutro donde se libra al acetato de todo vestigio de polvo o grasa. (Fotografía Nº 14).

Cámara de enjuague.- Es un recipiente de 50 cm. de diámetro por 25 de profundidad con un sistema de rotación al fondo sobre el cual va colocado el acetato.

De forma manual se vierte agua destilada sobre el acetato y se fricciona muy suavemente con un cepillo de pelo de camello hasta sacar todo el jabón.

Bandejas de sensibilizado.- Recipiente de 50 cm. de diámetro por 5 pulgadas de profundidad montadas sobre un eje diametral el cual tiene agitación moderada (30 ciclos por minuto). (Fotografía Nº 16).



FOTOGRAFIA Nº 14



FOTOGRAFIA Nº 15

Cámara de plateado.- De aproximadamente 0.5 m^3. con sistema de agitación en la parte posterior, el eje rotor donde se monta el acetato tiene 60° con respecto a la horizontal para facilitar el rociado de las soluciones. (Fotografía Nº 17).

Dichas soluciones llegan por gravedad y se impulsan por presión de 2.6 Kg/cm^2 de aire a través de una pistola similar a las de pintar. Todo exceso de soluciones va a desague y lo que vaporiza se extrae por succión.

Tina de niquelado.- Tiene aproximadamente 120 litros de capacidad dotada de calentador y agitador. Sobre un costado se encuentra la fuente que proporciona corriente - contínua de bajo amperaje pues la capa a depositarse es sumamente delgada. (Fotografía Nº 18).

Además posee un sistema constante de bombeo de la solución a través de un filtro de carbón acitivado con lo que se consigue pureza y uniformidad del baño.

Tina de niquelado.- Al igual que la tina de preniquelado posee agitador, calentador y fuente de corriente contínua pero de amperaje relativamente alto y suceptible re regulación, además difiere de la tina de preniquela-



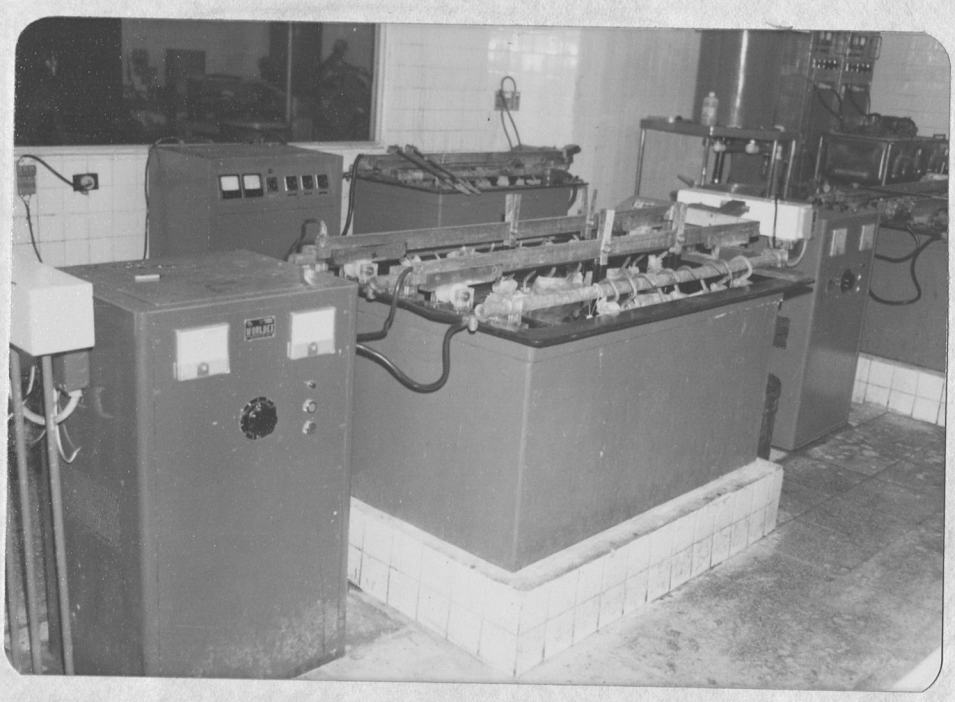
FOTOGRAFIA Nº 16



FOTOGRAFIA Nº 17



FOTOGRAFIA Nº 18



FOTOGRAFIA Nº 19

do por su capacidad pues contiene 240 litros de solución. (Fotografía Nº 19).

Orilladora.- Esta máquina sirve para recortar los bordes de los stampers una vez desprendidos del acetato tiene regulación para stampers de 10, 25 y 30 centímetros. (Fotografía Nº 20).

Microscopio de centrado.- Una vez recortados los bordes, los stampers van a este microscopio donde se observan los surcos hasta conseguir que la espiral se desplace uniformemente sin oscilación.

Posee un pequeño troquel que perfora el centro del stamper con un diámetro de 19 mm. Este troque actua mediante una palanca que se mueve con la mano. (Fotografía Nº 21).

Prensa de centrado.- Posee un sistema de pistón hidráulico y un troquel que recibe el centro de 19 mm. de diámetro que viene desde el centrado al microscopio. Aquí se perfora el centro final a 31 mm. (Fotografía Nº 22).

Prensa de preformado.- Es la misma prensa de centrado pero usa un molde con perfil idéntico al molde de la pren-

sa de manufactura. Aquí se coloca los stampers y se les da la preforma con presión que varía de 467 a - 667 Kg/cm^2.

Equipo de prensaje.- Es la prensa de manufactura propiamente dicha accionada por una bomba hidráulica que impulsa el pistón sobre el cual está el molde porta matriz. El molde porta matriz se compone de dos caras sobre las cuales se colocan las matrices.

A estos moldes llegan alternativamente vapor a 10 kg/cm^2 que proporciona una temperatura máxima de 185°C y agua a 9 kg/cm^2 enfriada a 35°C.

El orden de entrada de agua ó vapor se gobierna mediante controles de tiempo que envian la señal de apertura a la respectiva válvula solenoide la misma que permite el paso de una señal neumática regulada a 2.7 kg/cm^2.

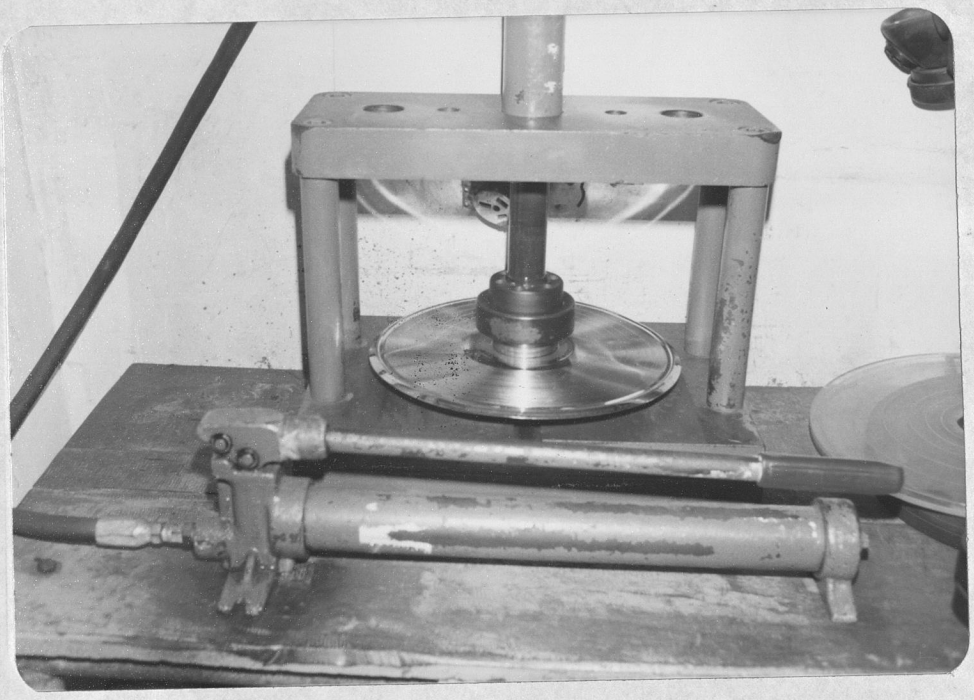
Esta señal neumática actúa finalmente sobre el diafragma de una válvula de tres vías. Por otro lado el sistema hidráulico tiene un doble accionamiento, un primer - intervalo a baja presión (67 kg/cm^2) y gran caudal que aproxima las dos caras del molde rápidamente.



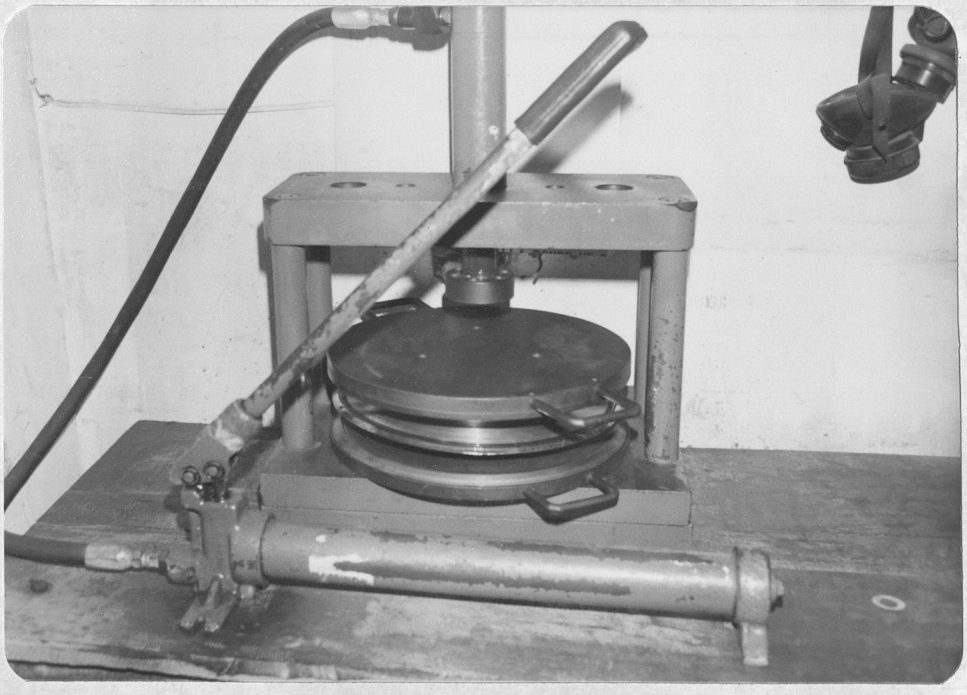
FOTOGRAFIA Nº 20



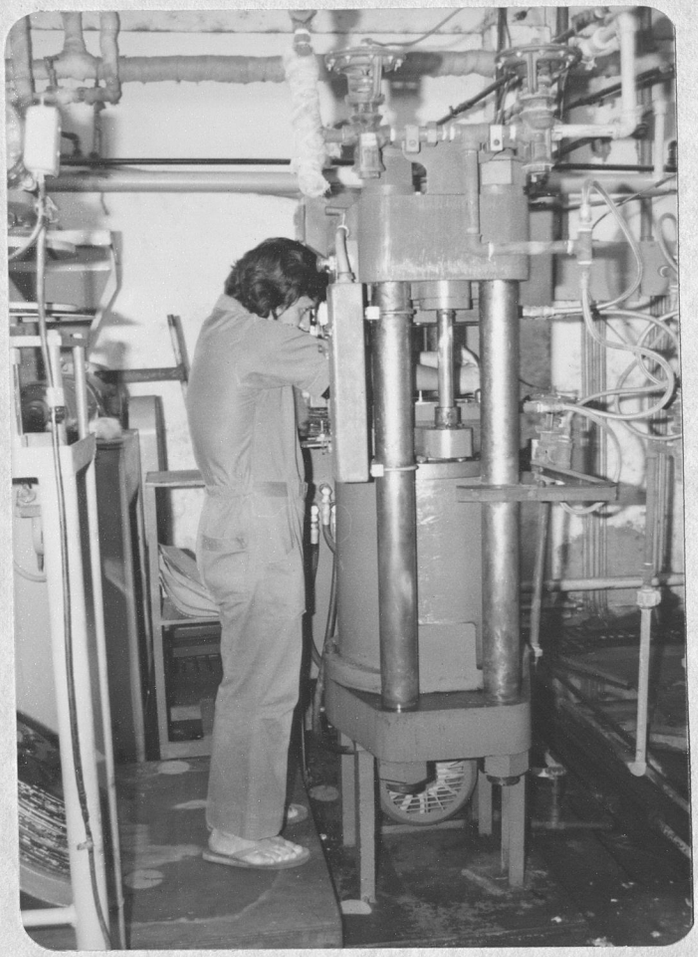
FOTOGRAFIA Nº 21



FOTOGRAFIA Nº 22



FOTOGRAFIA Nº 22 A



FOTOGRAFIA Nº 23

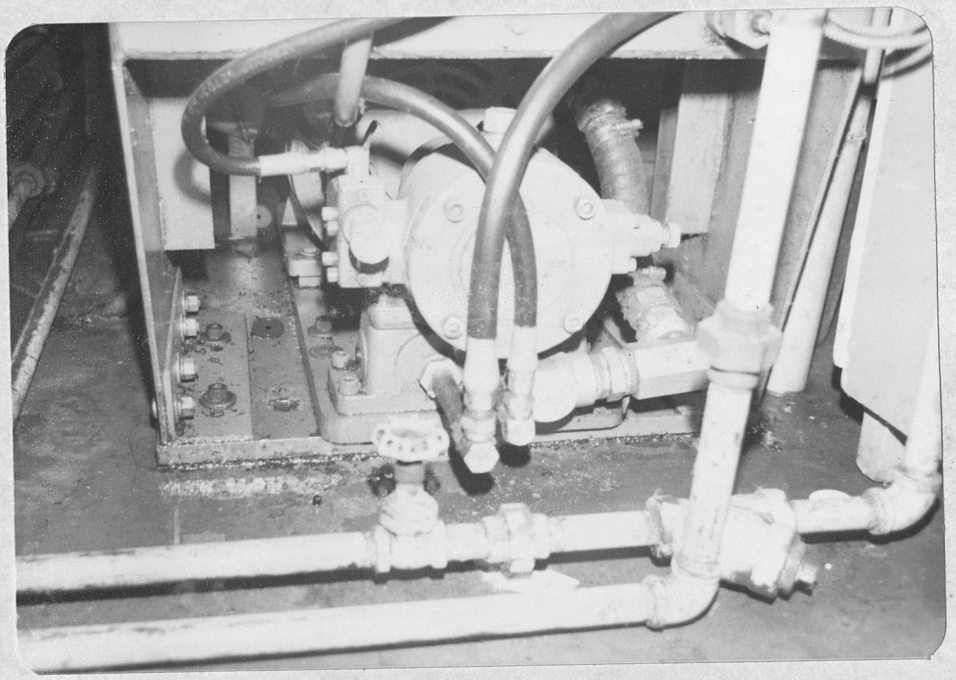
El segundo intervalo es de alta presión 13.3 kg/cm^2 bajo caudal para la etapa que es el prensaje propiamente dicho y el que genera los esfuerzos en las matrices.

4.5.2. Elaboración de Matrices

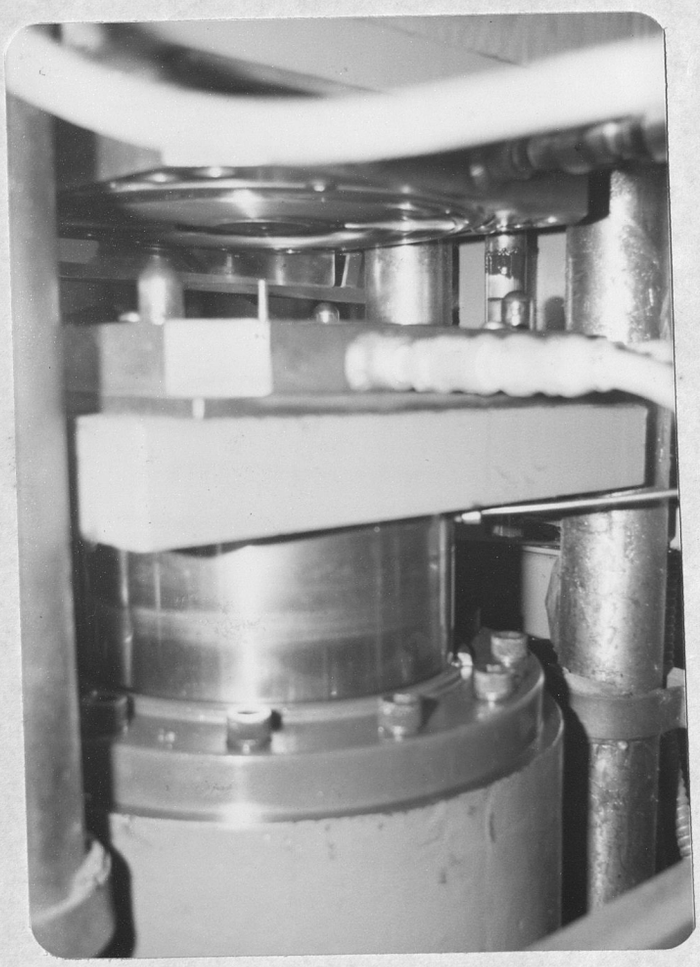
Conociendo la influencia de cada parámetro de proceso en las características del metal obtenido en el equipo piloto se ha estimado conveniente la confección de matrices (stampers) a nivel industrial para someterlas a trabajo normal de producción de discos y observar su comportamiento mediante el control del número de ciclos de prensaje que pueden soportar antes de la fractura.

Los procesos recomendados para la confección de las matrices a nivel industrial se escogieron tomando como base los resultados de los ensayos de las muestras de laboratorio y se ha considerado conveniente confeccionar 10 matrices por cada proceso (5 matrices de diámetro 178 mm. y 5 matrices de diámetro 305 mm.), a fin de obtener resultados consistentes.

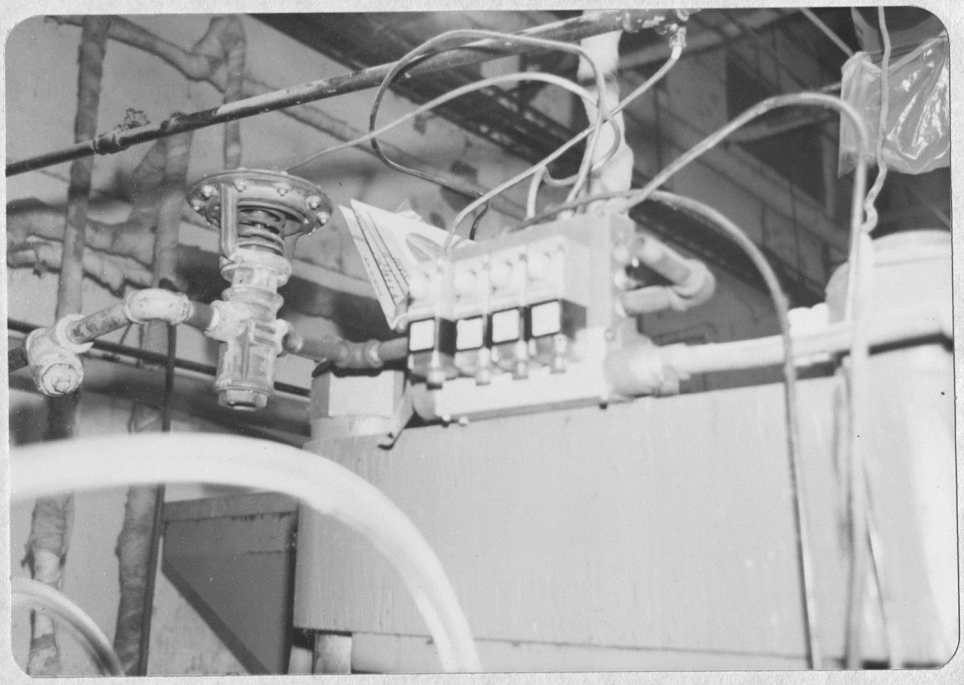
Cada matriz se confeccionó según las operaciones que siguen el orden de la descripción de los equipos de galva



FOTOGRAFIA Nº 24



FOTOGRAFIA Nº 25



FOTOGRAFIA Nº 26

noplastía y de prensaje de la sección 4.5.1.

Las matrices se numeraron de acuerdo al código interno de planta a la vez que se ha registrado el número de proceso que siguieron.

El cuadro de durabilidad de la sección 4.5.3., proporciona una información resumida que incluye el porcentaje de vida de cada matriz.

4.5.3. Pruebas de matrices en prensa

Una vez confeccionadas las matrices y siguiendo los procesos 15, 11, 2, 7 y 5 se sometieron a trabajo normal de prensaje.

Efectuando un cuadro estadístico se puede observar la durabilidad de las matrices tomando como base la vida - óptima de 4.500 ciclos.

Número de matriz	Número de proceso	Diámetro de matriz mm.	ciclos de duración	% de vida
50100	15	1 78	4970	110.4
50101	15	178	4832	107.3
50102	15	178	4725	105.0

Número de matriz	Número de proceso	Diámetro de matriz mm.	ciclo de duración	% de vida
50103	15	17 8	4841	107.5
50104	15	178	4936	109.6
50105	15	305	4508	100.1
50106	15	305	4495	99.8
50107	15	305	4492	99.8
50108	15	305	4560	101.3
50109	15	305	4590	102.0
50110	11	178	3872	86.0
50111	11	178	3528	78.4
50112	11	178	3099	68.8
50113	11	178	3921	87.1
50114	11	178	3945	87.6
50115	11	305	3286	73.0
50116	11	305	3149	69.9
50117	11	305	3202	71.1
50118	11	305	3887	86.3
50119	11	305	3703	82.2
50120	2	178	3796	84.3
50121	2	178	3645	81.0
50122	2	178	3851	85.5
50123	2	178	3972	88.2
50124	2	178	3679	81.7

Número de matriz	Número de proceso	Diámetro de matriz mm.	Ciclo de duración	% de vida
50125	2	305	3443	76.5
50126	2	305	3458	76.8
50127	2	305	3927	87.2
50128	2	305	3572	79.3
50129	2	305	3308	73.5
50130	7	178	182	4.0*
50131	7	178	121	2.6*
50132	7	178	145	3.2*
50133	7	178	172	3.8*
50134	7	178	168	3.7*
50135	7	305	139	3.0*
50136	7	305	118	2.6*
50137	7	305	191	4.2*
50138	7	305	230	5.1*
50139	7	305	421	9.3*
50140	5	178	37	0.3
50141	5	178	26	0.5
50142	5	178	31	0.6
50143	5	178	45	1.0
50144	5	178	72	1.6
50145	5	305	65	1.4
50146	5	305	28	0.6

* Se suspendió el prensaje por distorsión

Número de matriz	Número de proceso	Diámetro de matriz mm.	Ciclo de duración	% de vida
50147	5	305	43	0.9
50148	5	305	49	1.0
50149	5	305	29	0.6

CAPITULO 5

CAPITULO 5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo experimental desarrollado en base al estudio teórico del electroformado de níquel más los controles de laboratorio y las facilidades de planta han hecho posible que los argumentos aquí expuestos tengan una unidad útil.

Los puntos de vista que se exponen pueden variar de acuerdo a ciertos criterios científicos, prácticos y económicos o de acuerdo al avance del estudio del electroformado en nuestro medio.

Las conclusiones a que se llega a través del desarrollo de la presente tesis son:

1. Se puede llegar a obtener muestras con propiedades mecánicas predeterminadas con un proceso de electroformado como un proceso metalúrgico extractivo sin necesidad de recurrir a tratamientos térmicos posteriores.

   Estas muestras se pueden obtener a nivel de planta o de laboratorio con propiedades iguales o similares - siempre y cuando se guarde la identidad de los paráme

tros y el exacto control de los mismos en los dos casos.

2. Las propiedades de las muestras pueden variarse en un amplio rango variando solamente uno de los parámetros aunque los otros permanezcan constantes.

   El hecho de variar dos parámetros simultáneamente no necesariamente significa que pueden superponerse los gráficos de los resultados, desconociéndose realmente cual sería el verdadero comportamiento de los elementos así obtenidos al someterse a trabajo mecánico.

   Es posible que a nivel de planta esté sucediendo la variación simultánea de dos o más parámetros en rangos muy pequeños y que no pueden medirse, pero suficientes para provocar un comportamiento fuera de control de las matrices.

3. La técnica experimental es válida para los propósitos de laboratorio en cuanto al uso de baños de sulfamato puro pero puede hacerse extensible el uso de este tipo de baño a nivel de planta para librar de plano la influencia de agentes adicionales.

4. Las pruebas de las matrices elaboradas en planta con los procesos recomendados en base a los resultados obtenidos en el laboratorio demuestran que el comportamiento de las propiedades mecánicas tienen marcada influencia en la durabilidad de las matrices.

   Los cuadros estadísticos de durabilidad nos indican con claridad cuales son los procesos que hay que evitar y cuales procesos seguir si se quiere prolongar al máximo la vida útil de las matrices.

5. En atención al análisis de la sección 4.4 se puede escoger un proceso óptimo como el Nº 15 que demostró dar mejores resultados y seguir aplicándolo en forma definitiva para obtener matrices en planta.

   Se puede establecer un laboratorio de control de calidad a nivel de planta que permita realizar análisis - metalográficos y ensayos de dureza.

   La mejor vía de control es a través de ensayos de dureza pues no requiere mayor preparación puesto que las matrices están pulidas a espejo y poseen una parte central plana donde se puede efectuar una o varias identa

ciones sin perjudicar los microsurcos.

6. Al controlar la dureza de los depósitos y mantenerla dentro del rango 130-160 Vickers. Se está en capacidad de evitar la fractura y por tanto solucionando el problema de planta que motivó el presente trabajo investigativo.

Para efectos de utilizar de la mejor manera las conclusiones a que se llegan en los párrafos anteriores y como base para la solución al problema de la fractura del níquel electroformado se emiten las siguientes recomendaciones:

1. Utilizar de manera preferencial los baños puros de sulfamato de níquel con lo que se evita la influencia negativa de los agentes adicionales.

2. Trabajar en el rango alto de contenido metálico de la solución del baño (400-450 gr/lit) con lo que se consigue depósitos dentro de los mejores rangos de número de tamaño de granos (10-11.5) y de dureza Vickers (130-160).

3. Evitar los procesos con bajas densidades de corrien-

te que provoca fragilidad y fallas prematuras (4 - 6 Amp/dm^2).

4. Establecer el control de calidad en base a los ensayos de microdureza de las matrices de planta.

   Si se quiere efectuar una mayor inversión se puede establecer como otras recomendaciones las anotadas a continuación:

5. Establecer el control de la calidad adicional en base a ensayos metalográficos.

6. Implementar un control más preciso del pH mediante la utilización de mediciones electrométricas.

7. Implementar un estabilizador de corriente para evitar variaciones incontroladas de la densidad de corriente durante los procesos de electroformado.

8. Utilizar material aislante inerte en la superficie libre del baño para evitar la evaporación de agua de la composición y conseguir una temperatura uniforme.

   En las recomendaciones de los párrafos 6, 7 y 8 se evita la variación incontrolada y simultánea de los pará-

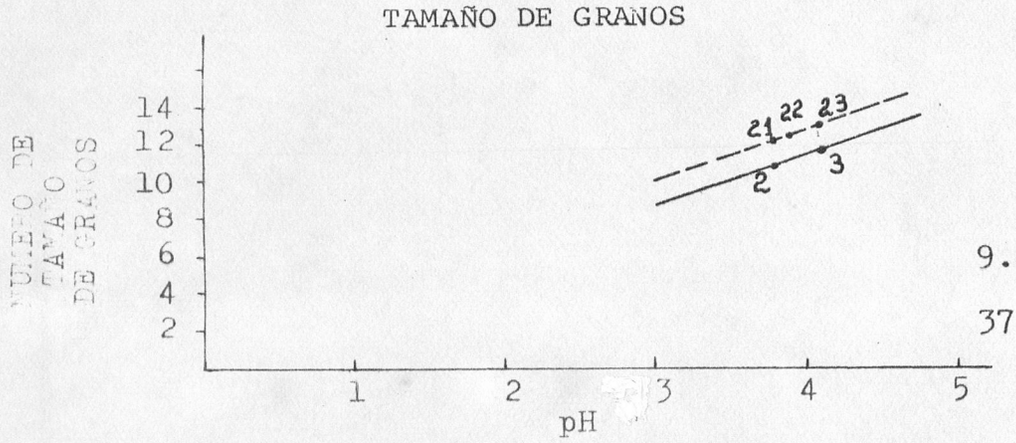
metros de los procesos.

En base al criterio de conseguir economía, sustituír la importación así como un mejor control de calidad de la solución se recomienda:

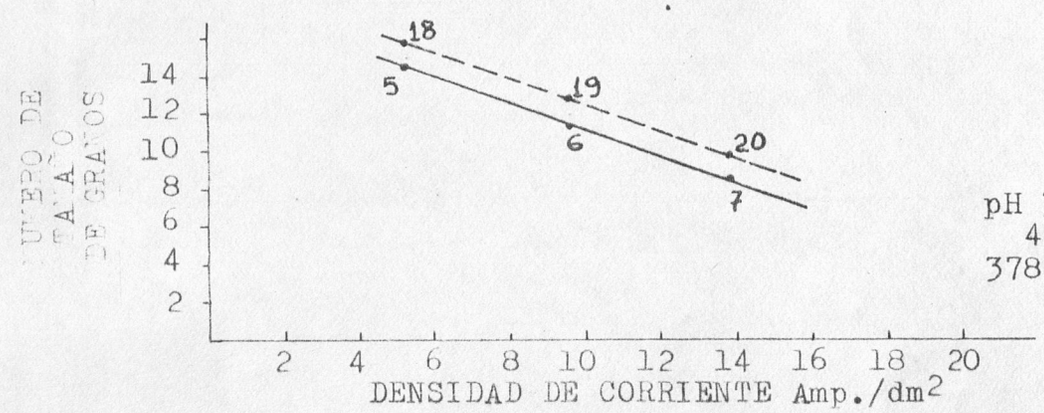
9. La fabricación de soluciones de sulfamato para uso local en electroformado.

DIAGRAMAS Y TABLAS

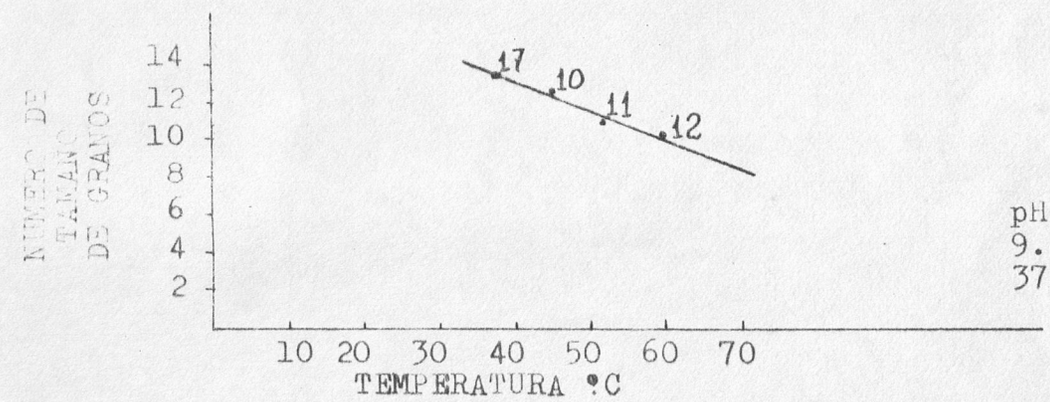
TAMAÑO DE GRANOS



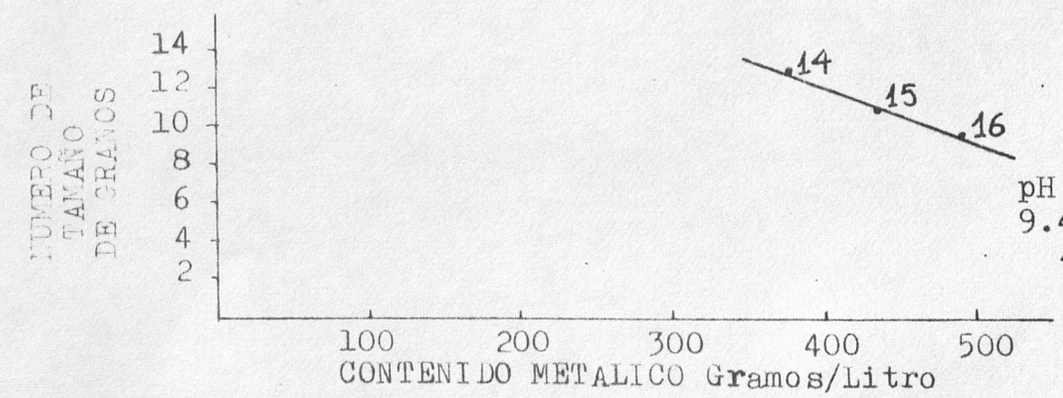
9.46 Amp/dm^2
43°C
378 g/lit.



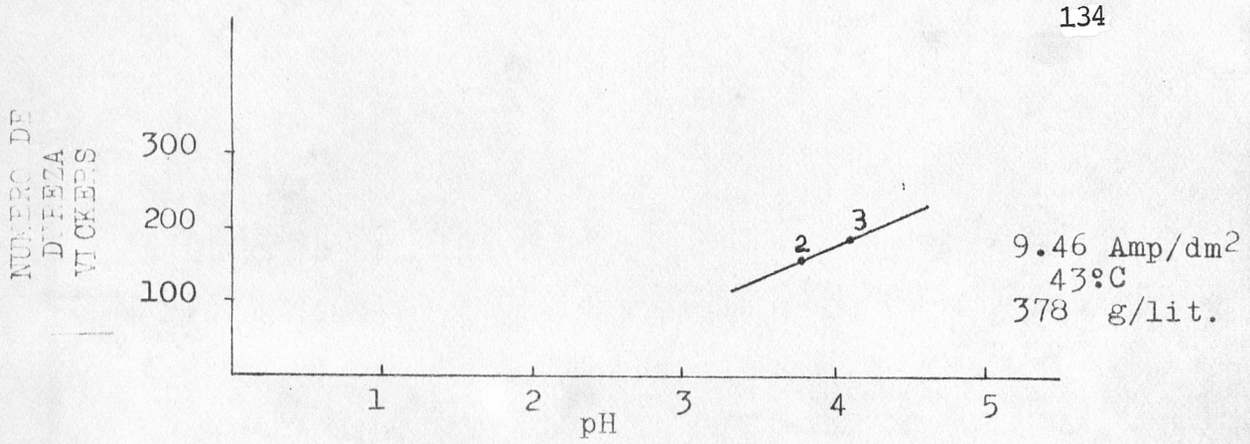
pH 3.9
43°C
378 g./lit.

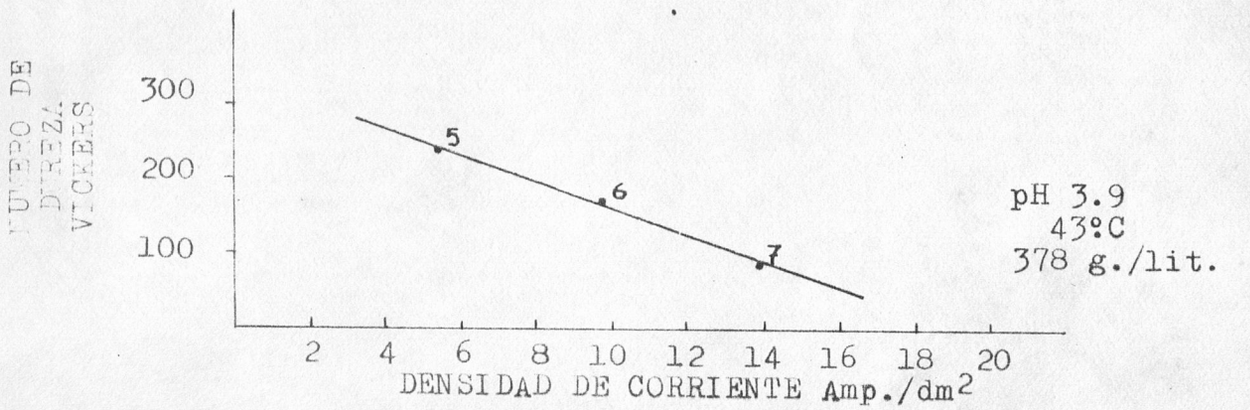


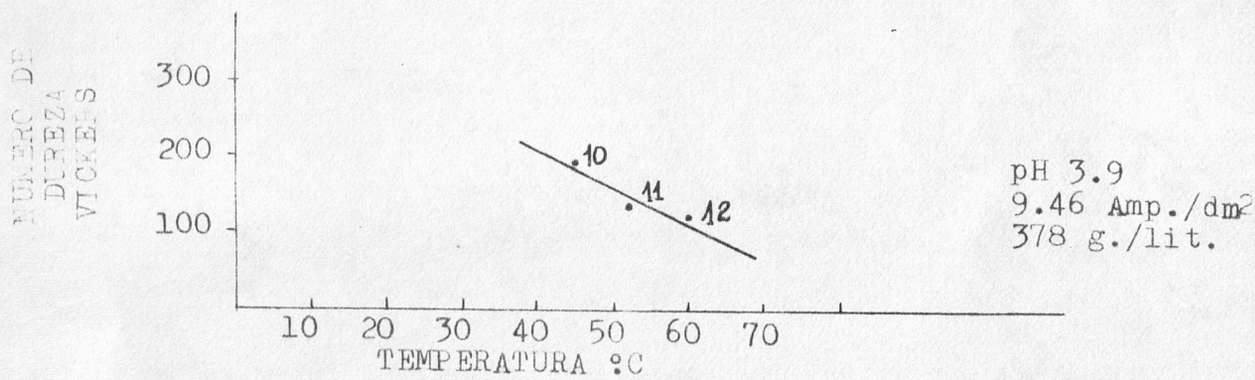
pH 3.9
9.46 Amp/dm^2
378 g./lit.

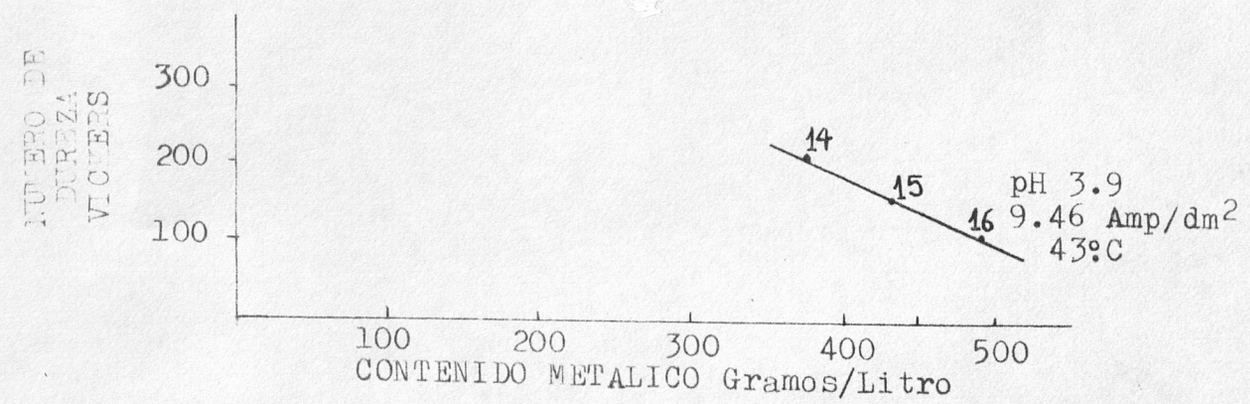


pH 3.9
9.46 Amp/dm^2
43°C

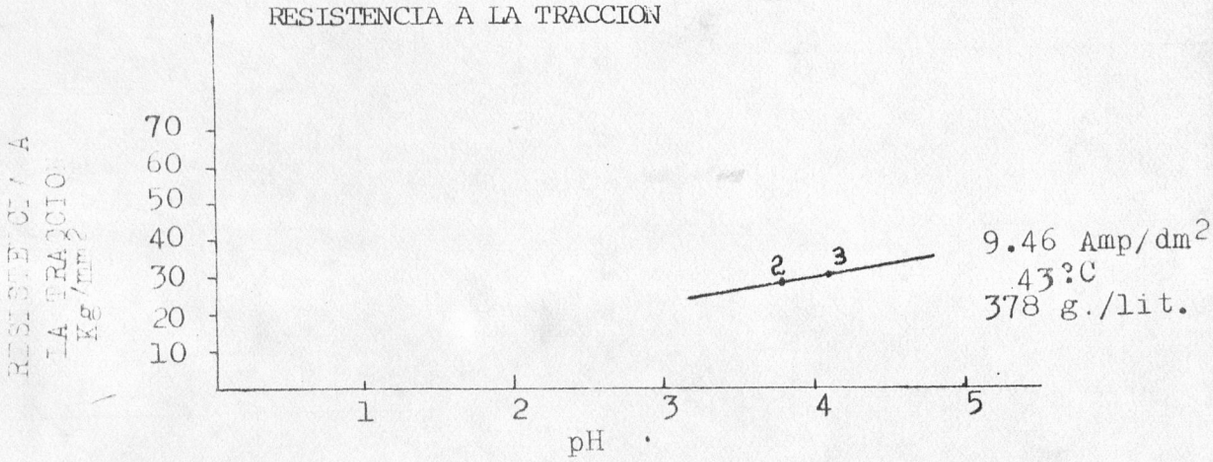

NUMERO DE DUREZA VICKERS
300
200
100
1
2
3
4
5
pH
2
3
9.46 Amp/dm2
43ºC
378 g/lit.

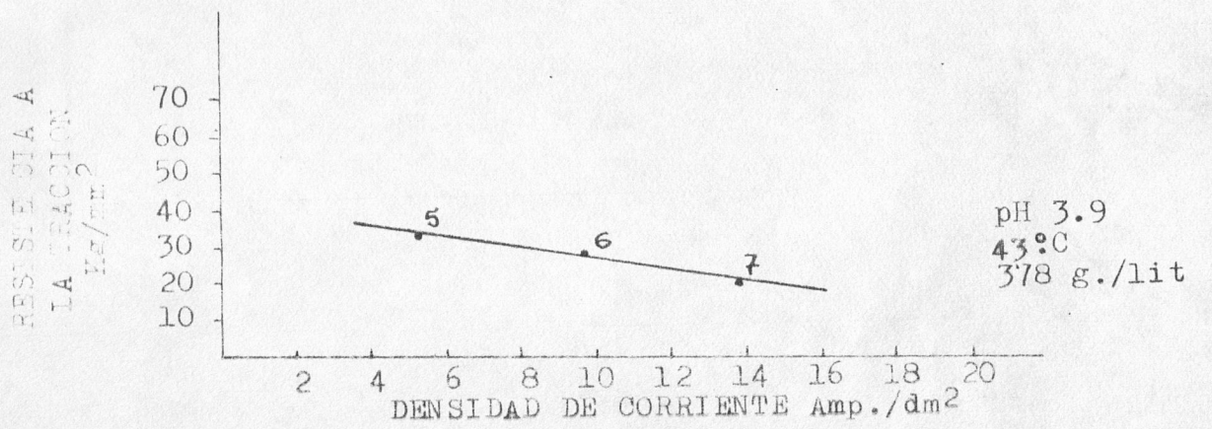

NUMERO DE DUREZA VICKERS
300
200
100
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
DENSIDAD DE CORRIENTE Amp./dm2
5
6
7
pH 3.9
43ºC
378 g./lit.

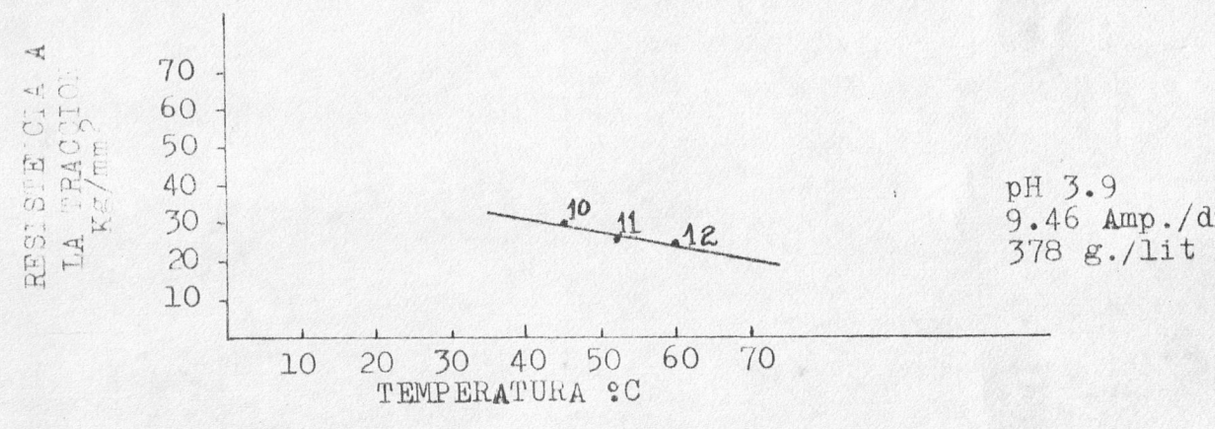

NUMERO DE DUREZA VICKERS
300
200
100
10
20
30
40
50
60
70
TEMPERATURA ºC
10
11
12
pH 3.9
9.46 Amp./dm2
378 g./lit.

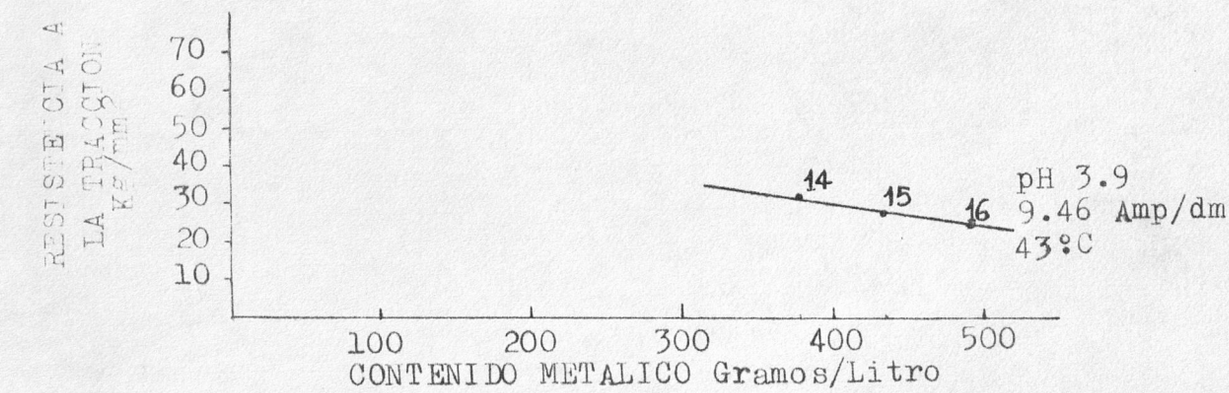

NUMERO DE DUREZA VICKERS
300
200
100
100
200
300
400
500
CONTENIDO METALICO Gramos/Litro
14
15
16
pH 3.9
9.46 Amp/dm2
43ºC

RESISTENCIA A LA TRACCION

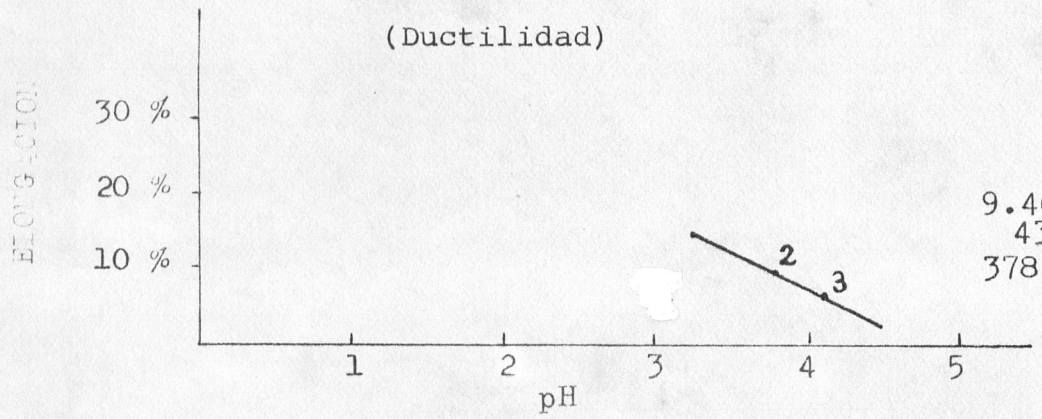




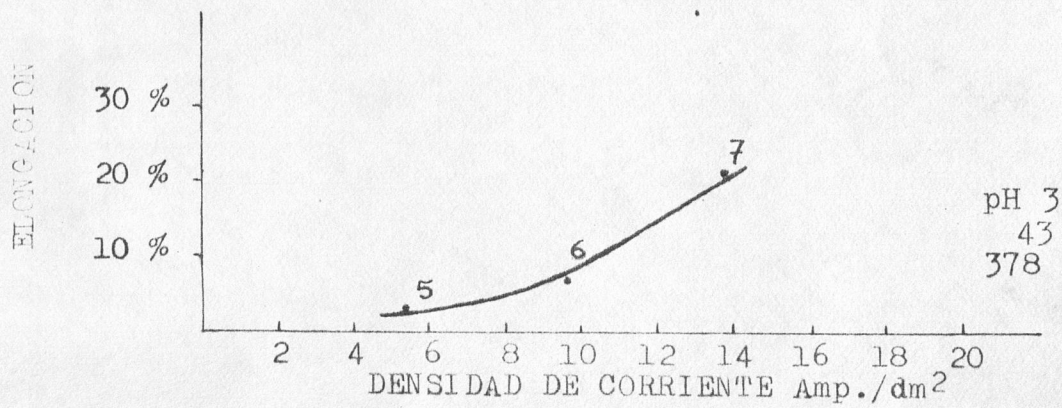




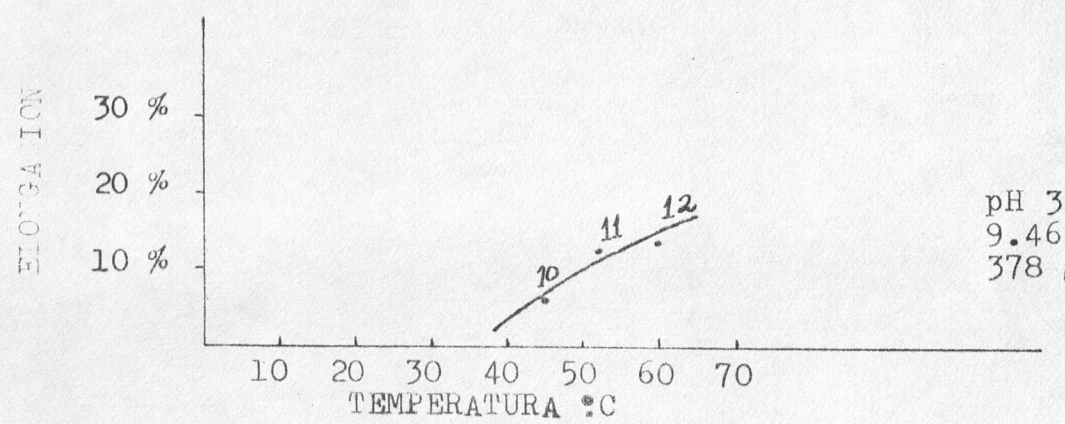
ELONGACION
(Ductilidad)



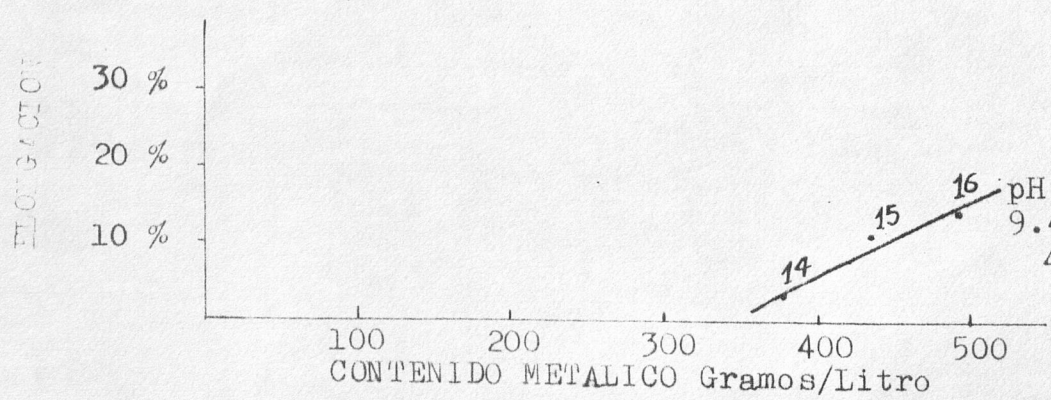
9.46 Amp./dm^2
43°C
378 g./lit.



pH 3.9
43°C
378 g./lit.



pH 3.9
9.46 Amp./dm^2
378 g./lit.



pH 3.9
9.46 Amp./dm^2
43°C

TABLA Nº 1

BAÑO DE SULFAMATO

COMPOSICION:	
Sulfamato de niquel	450 g/l
Acido bórico	30 g/l
CONDICIONES DE OPERACION:	
pH	3.0 - 5.0
Temperatura °C	40 - 60
Densidad de corriente Amp/dm^2	2 - 30
PROPIEDADES MECANICAS:	
Dureza Vickers	250 - 350
Resistencia a la tensión	63 - 900 Kg/mm^2
Elongación	2 - 30%
Esfuerzos residuales	0.35 kg/mm^2

TABLA Nº 2 [1]

VARIABLES QUE INFLUYEN EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL NIQUEL ELECTROFORMADO [9]

pH

Densidad de corriente

Temperatura

Contenido metálico de la solución

BIBLIOGRAFIA

1. Modern Electroplating, edited by Frederick A. Lowenheim, second edition, John Wiley & Sons, Inc. 1963.

2. Electroplating Engineering Handbook, edited by A. Kenneth Graham, Van Nostrand Reinhold Company. 1971.

3. Metal Finishing, Guidebook, Metals and Plastics. Publications, Inc. 1973.

4. The Principles of Metalographic Laboratory Practice. edited by George L. Kehl, McGraw Hill Book Company. 1939.

5. Materials of Engineering, edited by Carl A. Keyser Prentice Hall, Inc., 1958.

6. Resistance of Materials, edited by Fred B. Seely, John Wiley & Sons, Inc., 1954.

7. Manual del Ingeniero Mecánico de Marks., editado por Lionel S. Marks - Theodore Baumeister., Unión Tipográfica Editorial Hispanoamericana, 1960.

8. Ensayos mecánicos de los materiales metálicos. Editado por Domenico Lucchesi, G.C. Sansoni S.P.A. 1973.

9. Metal Finishing, Metal and plastic Publications, Ing. Volumen 71, Nº 2. 1973.

10. Metal Finishing, Metal and plastic publications, Inc. Volumen 71, Nº 3, 1973.

11. Metal Finishing, Metal and plastic publications, Inc., Volumen 71, Nº 4. 1973.

12. Manual de electroformado. Planta Fediscos S.A. 1974.

13. Metal Handbook. Edited by American Society for Metals. Eigth Edition. Book 7. 1972.

14. Metal Handbook. Edited by American Society for Metals. Eigth Edition. Book 8. 1973.

15. Enciclopledia de Tecnología Química. Raymond Kirk and Donald Opthmer. Unión Tipográfica. Editorial Hispano Americana. Primera Edición en Español. Año 1969.