

3295

671.36  
S 586  
2001  
c

**PROYECTO FONTEC**

**INFORME TECNICO FINAL**

**CODIGO: 200 - 2283**

**TRATAMIENTO TERMICO POR ALTA FRECUENCIA  
A PIEZAS DE ACERO DE GRAN LONGITUD**

**LAUTARO SILVA DIAZ**

**31 de Julio de 2001**

671.36  
S 586  
2001

## PRESENTACIÓN

En el último decenio, se constata que el país ha sabido enfrentar con éxito el desafío impuesto por la política de apertura en los mercados internacionales, alcanzando un crecimiento y desarrollo económico sustentable, con un sector empresarial dinámico, innovador y capaz de adaptarse rápidamente a las señales del mercado.

Sin embargo, nuestra estrategia de desarrollo, fundada en el mayor esfuerzo exportador y en un esquema que principalmente hace uso de las ventajas comparativas que dan los recursos naturales y la abundancia relativa de la mano de obra, tenderá a agotarse rápidamente como consecuencia del propio progreso nacional. Por consiguiente, resulta determinante afrontar una segunda fase exportadora que debe estar caracterizada por la incorporación de un mayor valor agregado de inteligencia, conocimientos y tecnologías a nuestros productos, a fin de hacerlos más competitivos.

Para abordar el proceso de modernización y reconversión de la estructura productiva del país, reviste vital importancia el papel que cumplen las innovaciones tecnológicas, toda vez que ellas confieren sustentación real a la competitividad de nuestra oferta exportable. Para ello, el Gobierno ofrece instrumentos financieros que promueven e incentivan la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas productoras de bienes y servicios.

El Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo FONTEC, organismo creado por CORFO, cuenta con los recursos necesarios para financiar Proyectos de Innovación Tecnológica, formulados por las empresas del sector privado nacional para la introducción o adaptación y desarrollo de productos, procesos o de equipos.

Las Líneas de financiamiento de este Fondo incluyen, además, el apoyo a la ejecución de proyectos de Inversión en Infraestructura Tecnológica y de Centros de Transferencia Tecnológica a objeto que las empresas dispongan de sus propias instalaciones de control de calidad y de investigación y desarrollo de nuevos productos o procesos.

De este modo se tiende a la incorporación del concepto "Empresa - País", en la comunidad nacional, donde no es sólo una empresa aislada la que compite con productos de calidad, sino que es la "Marca - País" la que se hace presente en los mercados internacionales.

El Proyecto que se presenta, constituye un valioso aporte al cumplimiento de los objetivos y metas anteriormente comentados.

**FONTEC - CORFO**

## INDICE

	<u>PAGINA</u>
A. RESUMEN EJECUTIVO	1
A.1 Antecedentes de la empresa	1
A.2 Síntesis del proyecto de innovación	2
A.3 Principales resultados y conclusiones	2
B. EXPOSICION DEL PROBLEMA	3
B.1 Problema a resolver	3
B.2 Objetivos técnicos del proyecto	5
B.3 Tipo de innovación desarrollada	6
C. METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO	8
C.1 Descripción de la investigación	8
C.2 Plan de trabajo	10
a) Organización del proyecto	10
b) Diseño general e individual de elementos	11
c) Fabricación de elementos y armado	15
d) Pruebas de funcionamiento del dispositivo	17
e) Pruebas de templado a piezas de acero	19
f) Análisis de resultados	20
g) Cronograma de ejecución	22
D. RESULTADOS OBTENIDOS	23
D.1 Principales resultados obtenidos	23
D.2 Análisis y conclusiones	26
E. IMPACTOS DEL PROYECTO	27
E.1 Impactos técnico-económicos	27
E.2 Implementación de resultados	28
F. ANEXOS	30

## ANEXOS

	<u>Nº</u>
Resumen de Actividades Desarrolladas	1
Planos de Dispositivo y Componentes	2
Fotografías de Componentes del Dispositivo	3
Ejemplos de Pruebas Experimentales	4

## A. RESUMEN EJECUTIVO

### A.1 Antecedentes de la empresa

Don Lautaro Silva Díaz, después de iniciarse como operario en diferentes industrias, ser encargado de mantención en una maestranza, haber incursionado como empresario en la locomoción colectiva y tener una desarmaduría, decidió a comienzos de la década del '70 instalar una fábrica de repuestos industriales.

Se inició con un torno y una fresadora en un local arrendado, adquiriendo en 1974 un terreno pequeño en su actual ubicación de calle Romero 2987, Comuna de Santiago, sector de Estación Central, comprando con el tiempo terrenos contiguos y diversos equipos, hasta contar en la actualidad con 2.500 m<sup>2</sup> de terreno, casi 2.000 m<sup>2</sup> de galpones y construcciones, y un gran parque de maquinaria, entre las que se cuentan: tornos, fresadoras, generadoras de engranajes, soldadoras de arco sumergido, de balanceo, rectificadoras, etc.

La industria opera bajo el nombre de fantasía "Maestranza FANARI" y se dedica a la fabricación y reparación de engranajes (rectos, helicoidales, cónico-helicoidales), tornillos sinfin bimetálicos, recuperación de cilindros, vástagos, cromados, cilindros hidráulicos, relleno arco sumergido automático (cigüeñales, ejes), balanceo dinámico industrial sin límite de volumen y peso, y todo tipo de repuestos y piezas industriales para los sectores del plástico, minería, agrícola, textil, automotriz, agroindustria, constructoras, industria en general, etc.

La participación de la empresa en el mercado en esta especialidad es de un 5%, siendo sus principales fortalezas su prestigio y responsabilidad, ya que realiza trabajos que otras maestranzas evitan por ser muy complicados. Cuenta con clientes importantes, como Codelco, Chilectra, Compañía de Aceros del Pacífico, Asmar, entre muchas otras.

## A.2 Síntesis del proyecto de innovación

En términos generales, el proyecto de innovación realizado consistió en el diseño y fabricación de un dispositivo destinado a templar mediante tratamiento térmico por alta frecuencia piezas de acero de gran longitud, produciéndose calentamiento por inducción, es decir, con aprovechamiento de las corrientes parásitas en forma controlada y que llevan en segundos a altas temperaturas, ajustando las variables de cada uno de los elementos que componen el dispositivo de modo de templar zonas específicas y hasta la profundidad deseada, sin perder la elasticidad o tenacidad de las piezas en el proceso, las cuales pueden tener distinta composición, largo, diámetro, forma y uso.

## A.3 Principales resultados del proyecto y conclusiones

La investigación del presente proyecto de innovación permitió diseñar y fabricar un dispositivo de tratamiento térmico por alta frecuencia a piezas de acero de gran longitud y de cualquier tipo, proceso que es rápido, exento de contaminación, y que permitirá a la empresa aumentar sus ingresos, tener ahorros de costos y ofrecer un servicio de calidad.

Las pruebas de templado efectuadas han permitido obtener durezas cercanas a 55 Rockwell C en la zona tratada en muy corto tiempo, concluyéndose por lo tanto que la investigación ha cumplido con los objetivos originalmente planteados.

## B. EXPOSICION DEL PROBLEMA

### B.1 Problema a resolver

El presente proyecto de innovación tuvo su origen en las causas siguientes:

Templado de piezas de gran longitud.

Fanari repara o fabrica repuestos industriales de acero de diferentes tipos, muchos de los cuales son de gran longitud, tales como cilindros y tornillos sinfin, y que requieren del proceso de templado para su endurecimiento.

En el país no existen hornos de gran capacidad que puedan efectuar el proceso de templado a piezas de gran longitud, pudiendo tratar sólo hasta dimensiones de 1,4 metros. En la actualidad estas piezas solamente pueden ser endurecidas mediante un proceso largo y complicado, que consiste en el relleno manual con soldaduras especiales y su posterior torneado y terminado. Este tratamiento no siempre resulta exitoso, ya que la pieza puede quedar con dureza no uniforme en toda su extensión.

Tiempo de proceso de templado

Los tratamientos tradicionales de templado en hornos son lentos, con tiempos que pueden superar las 48 horas, debido a que las piezas deben ser calentadas hasta una determinada temperatura y posteriormente enfriadas, todo ello en forma paulatina para no crear tensiones en el material.

Contaminación

En estos procesos tradicionales realizados en hornos se utilizan productos como carbón, gases de carbono, sales de cianuro o amoníaco gaseoso, que hacen que el proceso sea limitado, lento y contaminante.

También se origina la necesidad de sustituir el proceso de relleno manual con soldaduras especiales, el cual es contaminante debido a los gases expelidos a la atmósfera, por uno absolutamente limpio de contaminación, como es la electricidad.

#### Costo del equipo

En Europa y Estados Unidos este dispositivo se arma solo a pedido, con un costo muy superior al que resulta de diseñar y fabricar uno similar en el país.

#### Ahorro de costos

En el caso de piezas menores, que actualmente Fanari debe enviar a tratamiento térmico a otras empresas, podrá realizar este proceso en su taller con un ahorro de costos.

#### Aspectos técnicos

Los servicios que la empresa contrata con terceros, relacionados con tratamiento térmico mediante endurecido del material por sales o carbón, no siempre satisfacen la necesidad de los requerimientos específicos de algunas piezas, razón por la cual el empresario está interesado en desarrollar el presente proyecto.

El dispositivo diseñado y fabricado a través del presente proyecto tecnológico está destinado a templar mediante tratamiento térmico por alta frecuencia piezas de gran longitud, usando energía eléctrica para calentar el metal, proceso que es rápido y absolutamente no contaminante.



## B.2 Objetivos técnicos del proyecto

Los resultados y soluciones específicas perseguidas a través del proyecto planteado eran:

- Diseñar y fabricar un dispositivo para dar tratamiento térmico por alta frecuencia a piezas de gran longitud y cualquier otro tipo.
- Ajustar las variables de cada uno de los elementos que componen el dispositivo de modo de templar zonas específicas y hasta la profundidad deseada, sin perder la tenacidad de las piezas en el proceso, las cuales pueden tener distinta aleación, longitud, diámetro, forma y uso.
- Determinar la técnica más adecuada para el proceso de templado en función de las características mecánicas y físicas de las piezas a tratar.

Los indicadores para evaluación de éxito que se plantearon inicialmente son los que se indican a continuación:

- Obtener una dureza superficial de la pieza de acero, no inferior a 55 Rockwell C en la zona tratada, sin que ésta pierda su resistencia y tenacidad.
- Reducir la entrega de una pieza que debe someterse a tratamiento térmico, de tres días, que es la demora actual, a un máximo de dos horas.

### B.3 Tipo de innovación desarrollada

El procedimiento básico para endurecer el acero mediante tratamiento térmico consiste en calentar el metal hasta una temperatura a la que se forma austenita, generalmente entre los 850 y 1.000 °C, y después enfriarlo con rapidez sumergiéndolo en agua o aceite. Estos tratamientos de endurecimiento crean grandes tensiones internas en el metal, situación que es peligrosa dado que la pieza pierde su elasticidad o tenacidad y se torna frágil.

Hay muchas variaciones del proceso básico, siendo las principales: recocido, templado prolongado, martemplado, austemplado, cementación, carburización, cianurización, nitrurización, etc.

El uso de carbón vegetal o coque, gases de carbono (metano o monóxido de carbono), sales de cianuro, amoníaco gaseoso, para el calentamiento del metal, hace que la mayoría de los tratamientos térmicos sean contaminantes.

El dispositivo diseñado y fabricado por Fanari está destinado a templar mediante tratamiento térmico por alta frecuencia, usando energía eléctrica para calentar el metal, proceso que es absolutamente no contaminante.

Por lo expuesto, este proyecto tuvo como objetivo el desarrollo en el país de un nuevo proceso para el tratamiento térmico, no sólo de piezas de acero de gran longitud, sino que de todo tipo de formas, volumen y diámetros.

Se utilizó tecnología de los hornos de inducción y se creó un sistema de control de comando en función al desplazamiento de la pieza en tratamiento. Respecto al campo de trabajo, se adaptó un transformador de alta frecuencia a una bancada de torno en la que se desplaza la pieza.

Ciertas piezas metálicas como engranajes, ejes, sierras, herramientas, etc. están sujetas a desgaste y al mismo tiempo a grandes esfuerzos. Un acero muy templado es resistente al desgaste por ser muy

duro, pero puede no admitir ciertos esfuerzos (flexión, torsión, etc.) por ser relativamente más frágil.

La solución consiste en endurecer la superficie de la pieza, permitiendo que el núcleo siga conservando las propiedades elásticas del material no templado. Esto se consigue con el calentamiento por inducción, usando una frecuencia alta, como máximo de 1 Mc/s, que produce en pocos segundos una gran concentración de calor en la superficie de la pieza.

En la pieza de trabajo, la densidad de las corrientes inducidas es mayor en la superficie y disminuye exponencialmente hacia el núcleo de la misma. La magnitud de la profundidad de penetración depende de la frecuencia empleada y de las propiedades eléctricas y magnéticas de cada material.

## C. METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO

### C.1 Descripción de la investigación

No hay información escrita que explicite la tecnología utilizada para fabricar un dispositivo como el del presente proyecto, ya que éste adapta técnicas de diversas máquinas y equipos. En consecuencia, tienen especial importancia los conocimientos y la práctica que poseen sobre el tema las diferentes personas que intervinieron en la investigación.

En este sentido tuvo una activa participación en el diseño y fabricación de las partes y piezas del dispositivo el personal del Departamento de Desarrollo y Conducción Operativa de la Producción (COP) de la empresa, así como el de Control de Calidad e incluso operarios de amplia experiencia en los diferentes trabajos ejecutados.

De igual manera, los conocimientos empíricos del empresario y del personal de investigación y apoyo fueron fundamentales en las pruebas de funcionamiento del dispositivo y en las pruebas iniciales de templado a piezas de acero. Se requiere de gran experiencia para determinar a simple vista el momento en que la pieza ha adquirido la temperatura ideal de templado, lo que se constata a través del color que es un “rojo cereza” bien específico.

Los resultados de las pruebas experimentales de templado fueron verificados midiendo con durómetro la dureza del material en distintos puntos de la pieza tratada. El análisis de los resultados obtenidos determinaba las correcciones a realizar, ya sea en el dispositivo o en las variables involucradas en el proceso.

## Metodología

Para alcanzar los objetivos técnicos planteados, la metodología seguida constó de las etapas siguientes:

- a) Organización del proyecto de investigación.
- b) Diseño general y diseño individual de elementos.
- c) Fabricación de elementos y armado de dispositivo.
- d) Pruebas de funcionamiento del dispositivo.
- e) Pruebas de templado a piezas de acero.
- f) Análisis de Resultados.

## Referencias bibliográficas

- Enciclopedia de la Técnica y de la Mecánica  
Ediciones Nauta S.A.
- Manual "Standard" del Ingeniero Electricista  
A.E. Knowlton – Editorial Labor S.A.
- Manual del Ingeniero  
Hutte – Editorial Gustavo Gili S.A.
- Instruction Manual for Induction Heating Generator  
Lepel Hihg Frequency Laboratories, Inc.

## C.2 Plan de trabajo

Siguiendo las mismas etapas de la metodología seleccionada, se tiene:

### a) Organización del Proyecto de Investigación

En atención a que el empresario había planificado durante los últimos años desarrollar este proyecto, el análisis del mismo, el estudio de la estrategia a seguir y la organización general fue breve.

Una vez recibida por la empresa la comunicación oficial que la solicitud presentada a FONTEC había sido aprobada, el empresario efectuó reuniones con el personal que participaría en la investigación, poniendo énfasis en llevar un estricto control de cada uno de los gastos en que se incurra y de todas las actividades que se desarrollen, a fin de determinar el costo real del proyecto y principalmente por existir fondos de terceros.

Finalmente, a cada una de las personas de dirección, investigación y de apoyo, se les informa de los cargos y funciones que desempeñarán durante todo el periodo que dure la investigación.

b) Diseño General e Individual de Elementos del Dispositivo

En esta etapa, el empresario realizó reuniones de trabajo con asesores y colaboradores en las cuales se procedió a un intercambio de ideas, originándose diversas alternativas que dieron origen al diseño general del dispositivo a fabricar y de cada uno de los elementos que lo componen.

Entre las alternativas se discutió la posibilidad de realizar el proceso ubicando la pieza a temprar en forma vertical, con la ayuda de un cabrestante y el uso de un pozo profundo vertical, la que fue descartada.

Finalmente se adoptó la decisión que el dispositivo constaría de los siguientes elementos básicos: un generador de alta frecuencia con un transformador de acoplamiento de alta frecuencia, una mesa de trabajo de traslado automático, un sistema de refrigeración por ducha, un intercambiador de calor y un sistema de control del generador en función del avance de la pieza.

Seleccionados los elementos que componen el dispositivo, se procedió a la confección de diversos croquis a partir de los cuales se podrían elaborar los planos respectivos de los componentes, partes y piezas, y del dispositivo como conjunto.

Obtenidos los croquis definitivos, se procedió a elaborar los planos de cada uno de los componentes, partes y/o piezas del dispositivo, que sería necesario modificar, adecuar o fabricar.

Cada uno de los planos del diseño individual de los componentes fue analizado y discutido nuevamente, efectuándose las correcciones necesarias y procediendo a dibujar croquis y planos que contenían las modificaciones acordadas.

Se dio prioridad al diseño y selección de aquellos componentes que tenían un período de fabricación largo y/o que debían ser importados.

A continuación se indican las labores ejecutadas en el diseño y selección de componentes, partes y/o piezas de los principales elementos del dispositivo:

#### Generador de alta frecuencia

En atención a que la casi totalidad de los elementos del generador de alta frecuencia eran de origen importado, el empresario viajó a Estados Unidos en busca de información y de tecnología adecuada respecto del tema de la investigación, e inició al mismo tiempo las gestiones para la adquisición de aquellos elementos que fueran importados.

En este viaje el empresario contó con la asistencia técnica de un Técnico Electrónico, residente en dicho país y quien además fue el asesor principal del presente proyecto en gran parte de la investigación tecnológica.

Empresario y asesor efectuaron varias visitas a la industria East Coast Induction Inc. ubicada en Brockton, ciudad situada a menos de 30 minutos en tren de Boston, realizando diversas inspecciones, análisis de especificaciones técnicas y pruebas de los diferentes elementos que componen un generador de alta frecuencia.

Estudiadas las ventajas y desventajas de cada uno de los elementos, se procedió a la selección de aquellos más convenientes para la finalidad del proyecto, analizando posteriormente con ejecutivos y técnicos de la industria estadounidense la fabricación a pedido de un generador de alta frecuencia de las características especificadas, con las cuales se crearía un equipo exclusivo y único en el país para los fines perseguidos.



De igual manera se seleccionó un transformador de acoplamiento de alta frecuencia, el cual permitirá que la zona de trabajo esté ubicada a cierta distancia del generador.

#### Mesa de trabajo

Para la mesa de trabajo de traslado automático se utilizó el motovariador, caja Norton, cabezal y bancada de un torno existente que cumplía con todas las exigencias y a la cual se le agregó un reductor y una caja de cambios que permitiese trabajar a las velocidades requeridas.

Se realizaron los diseños para las modificaciones y/o ajustes correspondientes en lo que respecta a velocidad, lira de la bancada, soportes en que irá la pieza a temprar en forma horizontal y el recambio de elementos menores.

#### Sistema de refrigeración

Los elementos diseñados y que conforman este sistema de recirculación de agua son los que se señalan a continuación:

Un depósito de agua fría con una bomba a su salida envía agua a la ducha de enfriamiento de la pieza a templar, accionada por una válvula de comando manual antes de la ducha.

El agua utilizada es recibida en un receptáculo y enviada a un estanque decantador mediante una bomba.

Una bomba situada a la salida de este último estanque hace pasar el agua por un panel de irradiación (radiador), enfriándola mediante un ventilador y enviándola nuevamente al depósito de agua fría, con lo cual se cierra el circuito.

#### Intercambiador de calor

Dado que el intercambiador de calor tiene por objeto refrigerar los elementos internos del generador de alta frecuencia, el empresario solicitó a la firma fabricante estadounidense que el

equipo de refrigeración correspondiente estuviese incluido en el equipo importado, consistente en un estanque con agua destilada para enfriar el tubo del generador.

Al sistema de refrigeración anterior se le adicionó un segundo circuito de agua destinado a mantener el agua destilada del estanque interior a una temperatura inferior a 26 °C. Este circuito se inicia en el depósito de agua fría, pasa por el estanque del generador y vuelve al estanque decantador para el filtrado correspondiente y posterior enfriamiento.

#### Tableros de controles

El diseño y fabricación de los controles permite al operador tener al alcance de la mano la mayoría de los interruptores que se requieren para el buen funcionamiento del dispositivo. Desde su posición de trabajo, el operador puede accionar los controles del sistema de refrigeración, mesa de trabajo de traslado automático y generador de alta frecuencia.

#### Elementos menores

Se procedió además a diseñar los soportes de la mesa de trabajo en que se montará la pieza a tratar térmicamente y el sistema de ducha a utilizar.

#### Tablero eléctrico

Fue necesario solicitar a Chilectra la modificación del empalme eléctrico a fin de contar con los nuevos requerimientos de consumo que exigía el dispositivo. Estos trabajos se efectuaron al interior y exterior de la empresa con una duración de varios meses.

c) Fabricación de Elementos y Armado de Dispositivo

Como se ha señalado, se dio prioridad al diseño y selección de aquellos componentes que tenían un período de fabricación largo y/o que debían ser importados.

En cada caso, determinados los diseños definitivos más convenientes de los diferentes componentes, se efectuó un detalle con las especificaciones de las materias primas, materiales e insumos requeridos, se seleccionó a los proveedores y se procedió a la adquisición de los mismos.

La fabricación propiamente tal de las partes y elementos del dispositivo se realizó básicamente en la propia industria, adquiriéndose solamente aquellos existentes en el mercado que presentaban ventajas comparativas.

De igual manera se contrataron servicios con terceros para ciertos trabajos específicos y que no podían ser efectuados en los talleres de la empresa.

En lo que respecta a la mesa de trabajo de traslado automático, se realizaron las diversas modificaciones acordadas en la etapa de diseño.

En cuanto al sistema de refrigeración e intercambiador de calor, se fabricó en los talleres de la empresa la mayor parte de sus elementos, tales como estructuras metálicas, estanques, circuitos de agua, sistema de ducha, receptáculo de agua de la ducha etc., adquiriéndose los motores, bombas, ventilador y radiador. Una vez fabricados y/o adquiridos los diversos componentes, se procedió al armado del sistema.

Se confeccionaron además diversas bobinas de tubos de cobre de diferentes diámetros y números de vueltas y se procedió a la fabricación de los soportes de la mesa de trabajo de traslado automático en que va montada la pieza a tratar.

El armado y acoplamiento de las partes del equipo como un todo solamente se pudo efectuar una vez que ingresó al país el generador de frecuencia, fabricado a pedido por una firma estadounidense en base a las especificaciones técnicas entregadas por el empresario y su asesor.

El generador de frecuencia está compuesto básicamente por un circuito de control, una fuente de alto poder de corriente directa y un oscilador de poder.

El circuito de control comprende a su vez botones de partida, luz piloto, enchufes protectores, relés y contactores.

La fuente de alto poder incluye un transformador de tres fases, el cual eleva el voltaje de salida de corriente alterna, convirtiéndose a corriente continua con un rectificador. La potencia es controlada variando el nivel de la corriente continua.

El oscilador de poder convierte la corriente continua en alta frecuencia y es un tipo modificado de oscilador Hartley. El tanque o bobina de salida tiene diferentes conexiones para acomodar un amplio rango de carga en conjunto con la variación del voltaje de grilla.

d) Pruebas de Funcionamiento del Dispositivo

Una vez que los diferentes elementos que componen el dispositivo estuvieron totalmente interconectados, se realizaron pruebas y ensayos para constatar el correcto funcionamiento del equipo a través de la medición de diversos parámetros.

En esta etapa de la investigación la detección y solución de problemas estuvo radicada básicamente en los componentes importados.

Debido a que este tipo de equipo es delicado, las causas probables de fallas se habrían originado en la manipulación de su traslado desde Estados Unidos y fueron las siguientes: cable de alta tensión cortado, chispero interior quebrado, abierta una resistencia de grilla y las interconexiones de tapas, relé desarmado cuyas piezas se encontraron en el interior.

A raíz del retraso producido en los trabajos de Chilectra para aumentar la potencia del tablero eléctrico, inicialmente el dispositivo se hizo funcionar con un generador de corriente, apto solamente para pruebas de funcionamiento en baja potencia.

Aún con estas limitaciones, luego de solucionar los problemas señalados anteriormente y otros menores detectados, el equipo funcionó adecuadamente en las pruebas de templado a pequeñas zonas de diversas piezas y por tiempo limitado.

Las principales actividades realizadas en esta etapa se centraron en el generador de frecuencia y tuvieron relación con los siguientes aspectos:

- Puesta en marcha.
- Ajuste y calibración.
- Pasos a seguir para encendido y apagado.

Para estas pruebas de funcionamiento del dispositivo como conjunto se utilizó material de bajo costo y no recuperable.

De las diversas bobinas de cobre fabricadas, se seleccionaron aquellas acordes con las dimensiones de la pieza con que se efectuarían las pruebas. Diversas alternativas de diámetro permitieron efectuar mediciones de resultados en función del alejamiento de la bobina.

De igual manera, se experimentó con los diferentes controles del generador a fin de probar su funcionamiento, siendo los principales: la fijación de la grilla, voltaje de placa, corriente de placa y potenciómetro.

El tanque o bobina de salida al interior del generador se mantuvo en una posición fija durante todas las experiencias.

Las pruebas realizadas modificando las variables del dispositivo permitieron analizar también la obtención de resultados similares en tiempos menores.

También durante esta etapa se capacitó al personal en los métodos de uso del dispositivo, mantención del equipo y riesgos que es necesario evitar.

e) Pruebas de Templado a Piezas de Acero

Una vez calibrado el equipo en su conjunto y cada uno de sus componentes se procedió a realizar pruebas de tratamiento térmico a piezas similares a las que se procesarán en la etapa comercial y productiva del proyecto.

En atención a que las piezas que proporcionarán los clientes de la empresa para que sean sometidas a este proceso, son de alto valor y muchas veces únicas, esta etapa de la investigación fue de enorme importancia para realizar los ajustes definitivos a cada uno de los componentes del equipo.

Estas pruebas implicaron modificaciones en la ubicaciones del generador de frecuencia, del soporte en que se monta la pieza a tratar, y en el sistema de ducha y receptáculo correspondiente.

Estas pruebas permitieron además conocer con mayor exactitud los voltajes y corrientes a aplicar, la elección de la bobina por diámetro y cantidad de vueltas, la determinación de la velocidad adecuada de la mesa de trabajo de traslado automático, todas ellas según la pieza a temprar.

f) Análisis de Resultados

A medida que se realizaron las pruebas de funcionamiento del dispositivo y de templado a diversas piezas de acero se analizaron y verificaron los resultados, se efectuaron las correcciones respectivas, para finalmente verificar los resultados definitivos de los mismos.

Como ya se ha señalado, en las pruebas de funcionamiento se analizó el comportamiento del equipo de acuerdo, ajustándose y/o reubicándose algunos componentes o conjunto de ellos.

En las pruebas de templado a piezas de acero, se estudió el comportamiento del material utilizado durante el proceso mismo, mediante un análisis visual en cuanto al color que tomaba la pieza a medida que incrementaba la temperatura en su superficie. En esta fase fueron fundamentales los conocimientos empíricos del empresario y del personal de investigación y apoyo, para determinar a simple vista el momento en que la pieza ha adquirido la temperatura ideal de templado.

La medición de dureza se llevó a cabo en la misma industria mediante un durómetro, labor que fue efectuada por personal de la sección de control de calidad de la empresa.

Con los adecuados resultados finales obtenidos, empresario y personal de apoyo determinaron que no era necesario el envío de las piezas tratadas térmicamente a laboratorios externos para análisis adicionales.

Dado el alto costo del equipo y lo delicado de ciertos elementos del mismo, tales como tubo y filamento, se redactaron pequeños manuales de operación.

Uno de ellos dice relación con las secuencias a seguir para poner en funcionamiento el generador de frecuencia y su apagado posterior.



También se confeccionó un instructivo que señala las diferentes variaciones que afectan la corriente del equipo.

Otro pequeño manual señala los diferentes problemas que se pueden presentar y las posibles causas que los generan.

En cada uno de estos instructivos se indican las principales precauciones a tomar para el correcto funcionamiento del dispositivo.

La modificación del empalme eléctrico a fin de contar con los nuevos requerimientos de consumo que exigía el dispositivo implicó un incremento en el costo de energía, lo que motivó de inmediato el inicio del estudio de costos del proceso de tratamiento térmico.

Es importante destacar que todas las actividades de las etapas de pruebas de funcionamiento del dispositivo y de templado a piezas de acero, así como los análisis de resultados, se llevaron a cabo en dependencias de la industria.

En página siguiente se presenta el cronograma de actividades del plan de trabajo ejecutado.



## D. RESULTADOS OBTENIDOS

### D.1 Principales resultados y/o soluciones obtenidas

El primer objetivo a obtener con la investigación, señalado en el punto B.2 anterior, era diseñar y fabricar un dispositivo para dar tratamiento térmico por alta frecuencia a piezas de gran longitud y de cualquier otro tipo.

Los planos correspondientes al diseño general del dispositivo y diseño individual de los elementos que lo componen se presentan en Anexo N° 2 de este informe.

Con estos diseños se procedió a la fabricación, adquisición de ciertos elementos y armado del dispositivo, acompañándose en Anexo N° 3 fotos que muestran diferentes vistas del mismo.

El segundo objetivo era ajustar las variables de cada uno de los elementos que componen el dispositivo en función de las piezas a tratar térmicamente, las cuales pueden tener distinta longitud, diámetro, forma y uso.

Las variables a considerar en el funcionamiento del dispositivo son básicamente las siguientes:

- El tanque o bobina de salida, ubicada al interior del generador.
- Fijación de grilla.
- Modificación del potenciómetro.
- Velocidad de la mesa de trabajo de traslado automático.
- Diámetro de la bobina de cobre.
- Número de vueltas de la bobina de cobre.

La potencia se puede modificar mediante la variación por separado o en forma conjunta del voltaje de grilla y voltaje de placa.

Finalmente, el tercer y último objetivo consistía en determinar la técnica más adecuada para el proceso de templado en función de las características mecánicas y físicas de las piezas a tratar.

En este sentido, las diferentes pruebas efectuadas determinaron que:

- El tiempo para que la pieza alcance la temperatura óptima de templado (color rojo cereza) para un buen aprovechamiento de energía debe ser inferior a 5 segundos.
- El potenciómetro debe aplicarse en una posición cercana al 100%
- La fijación de la grilla debe estar comprendida entre 50 y 75 grados.
- El rango de la velocidad de la mesa de trabajo debe estar comprendida entre 1 y 50 cm/min, lo que equivale a 75-300 rpm en primera marcha.
- La distancia de la bobina a la superficie de la pieza a templar debe ser no inferior a 3 mm para que no se formen arcos y no superior a 6 mm a fin de tener un buen aprovechamiento de la potencia entregada por el equipo, es decir, el diámetro interior de la bobina debe ser superior al de la pieza a templar entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  pulgada.
- Las bobinas más apropiadas eran aquellas que tenían cuatro vueltas siempre que su diámetro no fuese superior a 5 pulgadas, dado que el largo del tubo de cobre con que se confeccionan las bobinas no debe ser superior a 72 pulgadas. Esto implica que para bobinas de diámetro entre 5 y 7 pulgadas el número de vueltas deberá reducirse a tres.

De todas las pruebas realizadas, en Anexo N° 4 se acompañan cuatro de ellas que son representativas respecto de los resultados obtenidos y de las modificaciones a realizar en las variables involucradas para mejorar el proceso.

En la Prueba 1 de dicho Anexo se requirió de mucho tiempo para alcanzar la temperatura adecuada de templado, debido por una parte al diámetro de la bobina superior en 1 pulgada a la de la pieza, y por otra a las regulaciones de la grilla y potenciómetro.

En la Prueba 2 se sustituyó la bobina por una de diámetro solamente  $\frac{1}{4}$  de pulgada mayor al de la pieza y se elevó el potenciómetro, con lo cual se redujo el tiempo para alcanzar la temperatura de templado a 20 segundos.

En las Pruebas 3 y 4 se utilizaron bobinas adecuadas en cuanto a diámetro y número de vueltas y se modificaron los controles de grilla y potenciómetro. En ambos casos la temperatura de templado se alcanzó en menos de 5 segundos.

## D.2 Análisis y conclusiones

De lo expuesto en este informe se puede concluir que los objetivos iniciales se cumplieron en su totalidad: se diseñó y fabricó un dispositivo para dar tratamiento térmico por alta frecuencia a piezas de gran longitud, se ajustaron las variables de cada uno de sus elementos y se determinó la técnica más adecuada para el proceso de templado en función de las características mecánicas y físicas de las piezas a tratar.

Aún cuando los resultados obtenidos de la investigación son considerados exitosos desde el punto de vista del presente proyecto de innovación, la empresa en forma previa a la implementación de la etapa productiva y comercial, seguirá efectuando pruebas de templado a mayor cantidad de piezas de acero con la finalidad de reducir los rangos de operación de las variables involucradas en el proceso.

## E. IMPACTOS DEL PROYECTO

### E.1 Impactos técnico-económicos

Desde el punto de vista técnico, se dará tratamiento térmico por alta frecuencia a piezas de acero de gran longitud con una calidad muy superior a la que se lograría en hornos de procesos convencionales, si ellos existieran en Chile de las dimensiones requeridas. Los hornos que poseen las empresas especializadas en tratamiento térmico solamente pueden tratar piezas de hasta 1,4 metros de longitud.

Los reducidos tiempos de proceso permitirán a la industria nacional contar en pocos días con repuestos de calidad, lo que redundará en reducción de costos.

Otro beneficio muy importante es el impacto ambiental, al contar con un proceso de tratamiento térmico absolutamente libre de contaminantes. Asimismo, la rapidez del proceso y el control existente sobre el equipo permite que el envío de calor a la atmósfera sea mínimo.

El diseño y fabricación de este dispositivo por parte de Fanari ha significado para el país un importante ahorro de divisas.

Para la empresa, la implementación de este proyecto le significará un incremento en las ventas y un ahorro de costos.

## E.2 Mecanismos de implementación de resultados

Para implementar los resultados de la investigación a escala productiva y comercial la empresa requiere de inversiones mínimas para trasladar a las ubicaciones definitivas los elementos del dispositivo y construir los soportes para las mangueras del sistema de refrigeración, de modo de mantener expeditas las vías de circulación y no alterar la operación del resto de la industria.

Para la introducción de este servicio en el mercado se efectuará promoción a través de los vendedores y del Departamento de Desarrollo y Conducción Operativa de la Producción (COP) de la empresa, quienes siempre están en contacto con el cliente para asimilar cualquier inquietud y proponer la mejor alternativa de fabricación o reparación. Además, se realizará publicidad en Páginas Amarillas, prensa y revistas especializadas.

La implementación del presente proyecto permitirá a la empresa aumentar sus ventas y disminuir los costos derivados de la contratación de servicios de tratamiento térmico con terceros. Asimismo, se incorporará tecnología de tratamiento térmico rápido y no contaminante.

El mercado a atender con este proceso de tratamiento térmico corresponde básicamente a las mismas empresas que actualmente son clientes de Fanari, es decir, de los sectores de la minería, automotriz, agrícola, textil, plástico, agroindustria, constructoras e industria en general, lo que significa que el mercado potencial de la prestación de este servicio es sumamente amplio.

El precio neto por esta prestación de servicios que se ha considerado para la etapa productiva y comercial es de un monto similar al que actualmente pagan las empresas en los tratamientos térmicos en hornos, ofreciendo un proceso menos limitado, más rápido y con un control de calidad garantizado.



Por último, no existen barreras de entrada al mercado y por el hecho de ser un proceso absolutamente no contaminante concuerda con las políticas de medio ambiente formuladas por las autoridades.

En cuanto al mercado de proveedores no hay problemas, ya que los únicos insumos requeridos son electricidad, agua potable y agua desionizada.

## F. ANEXOS

En Anexo N° 1 se presenta el Resumen de Actividades Desarrolladas, siguiendo la pauta entregada por FONTEC.

El Anexo N° 2 incluye los planos de diseño general y diseños individuales de los componentes del dispositivo.

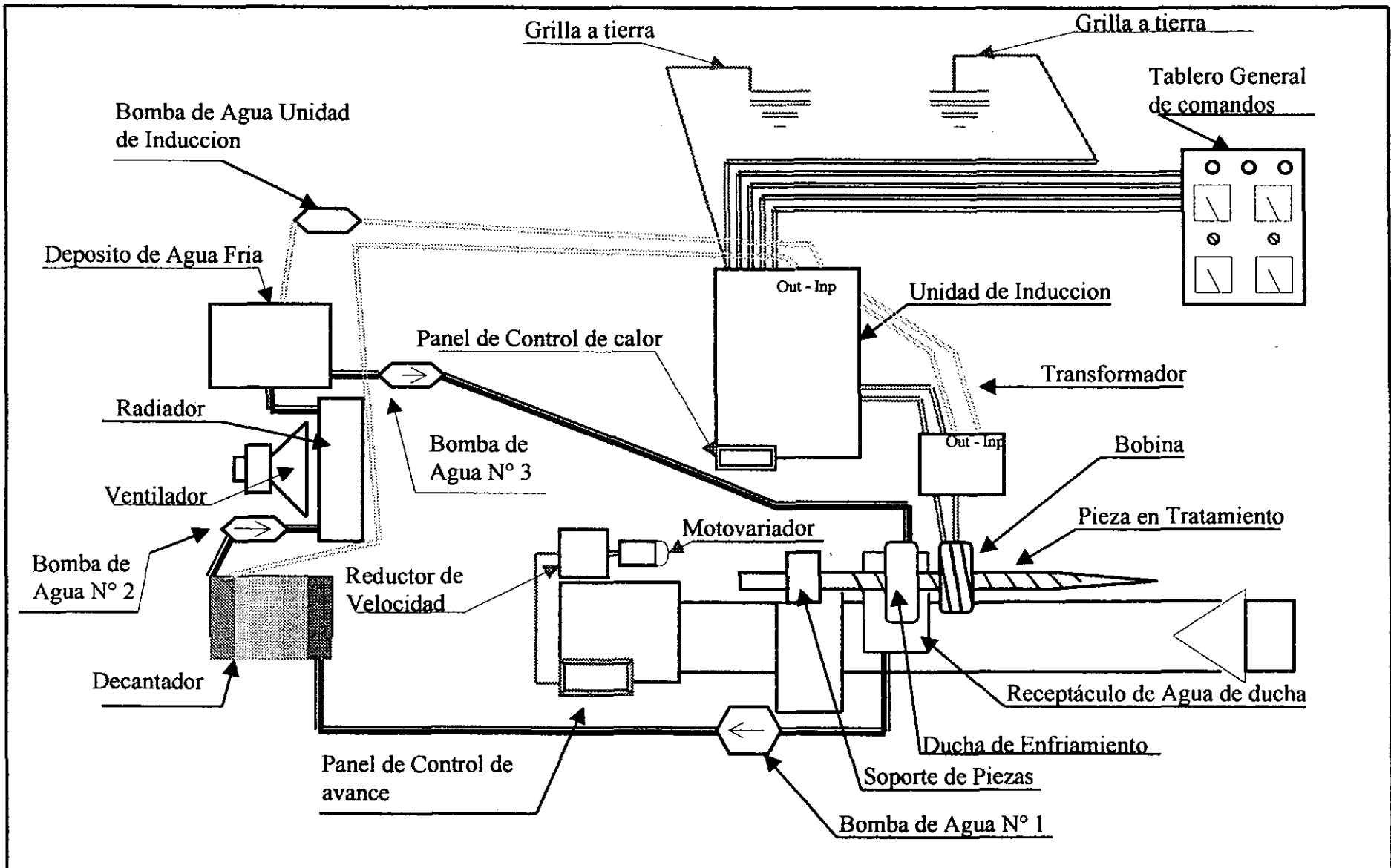
El Anexo N° 3 muestra fotografías con vistas generales del dispositivo y de sus componentes.

En Anexo N° 4 se acompañan algunas de las pruebas realizadas a diferentes piezas de acero.

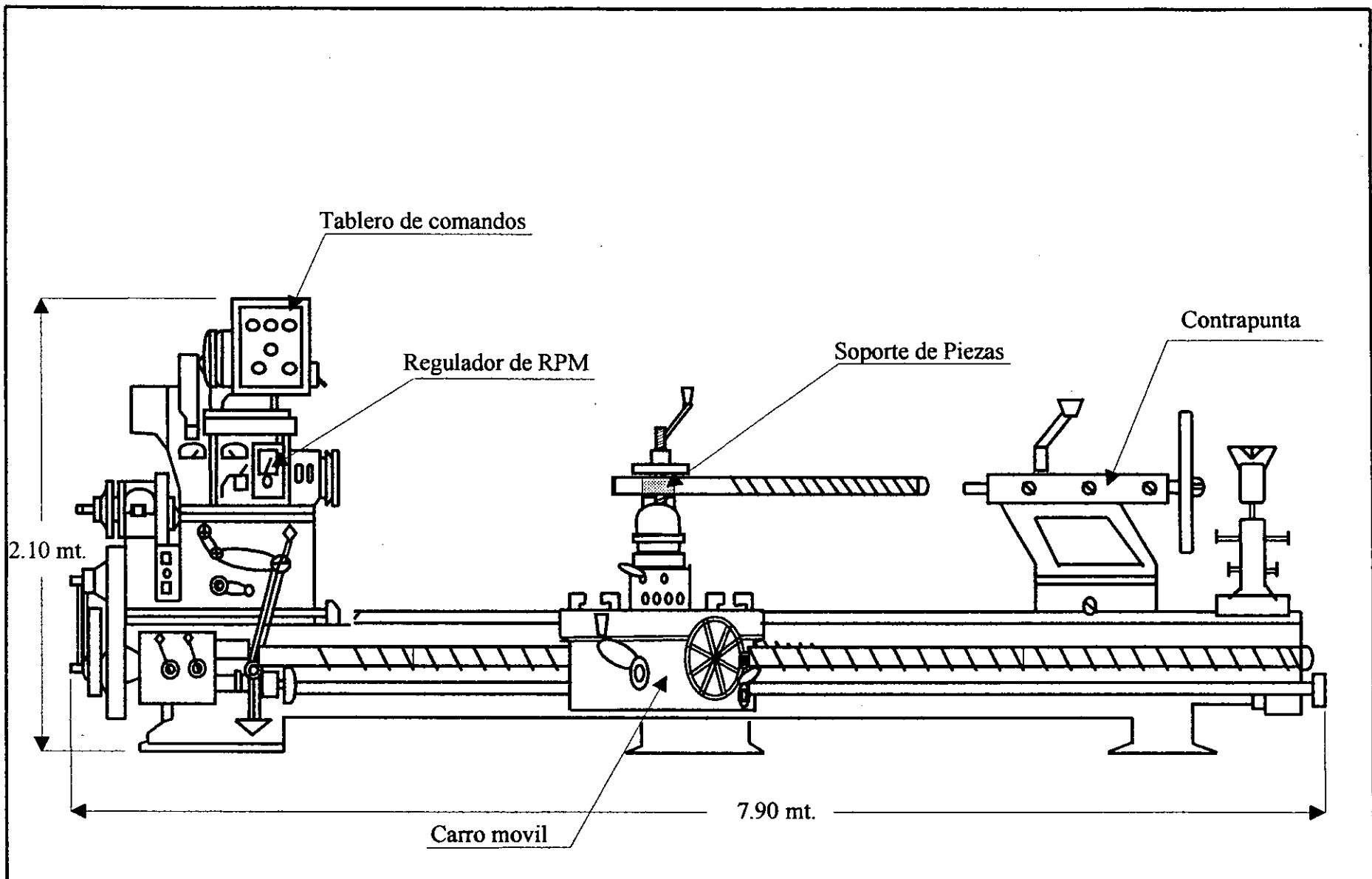


ANEXO N° 2

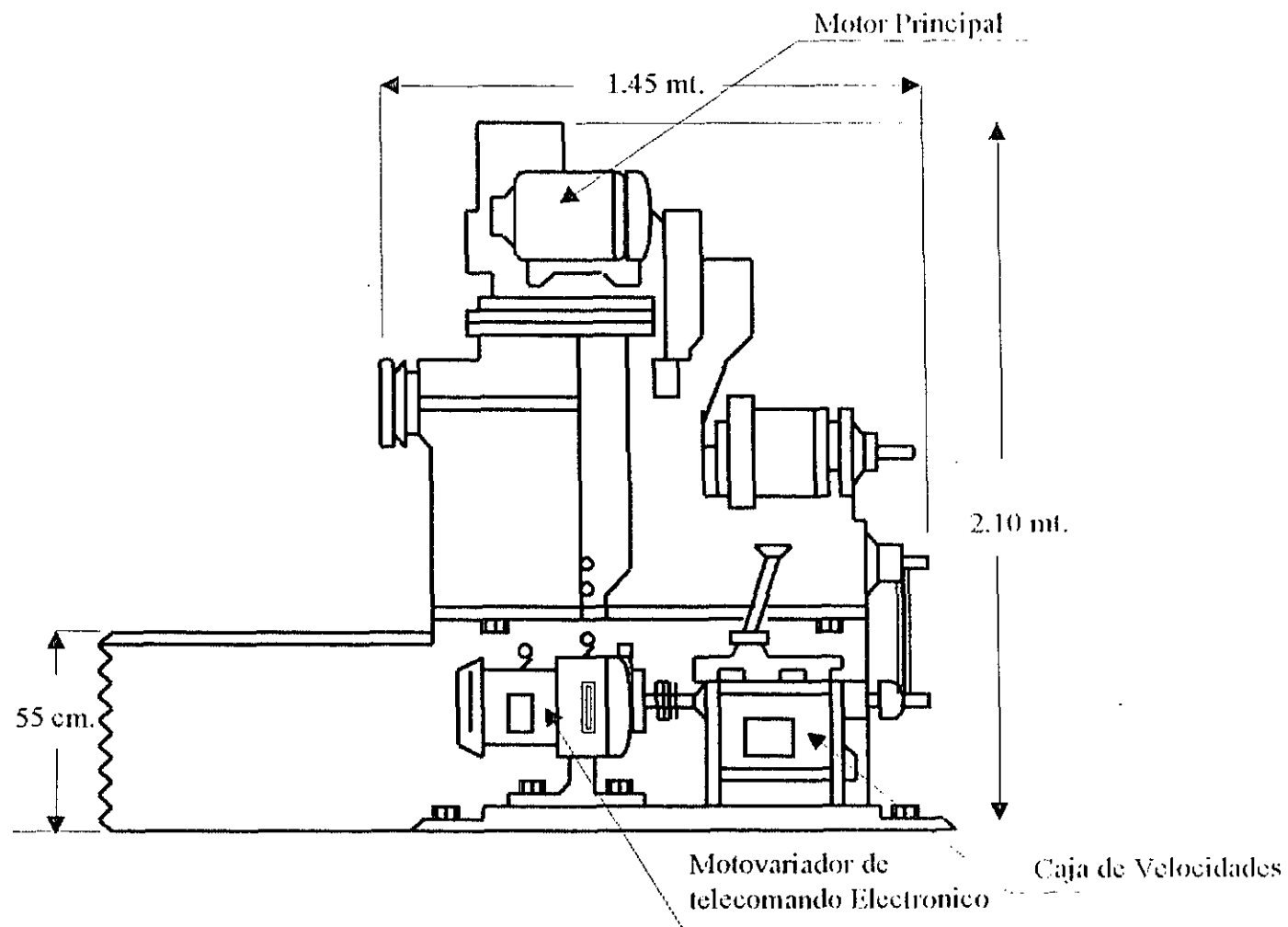
PLANOS DE DISPOSITIVO Y COMPONENTES



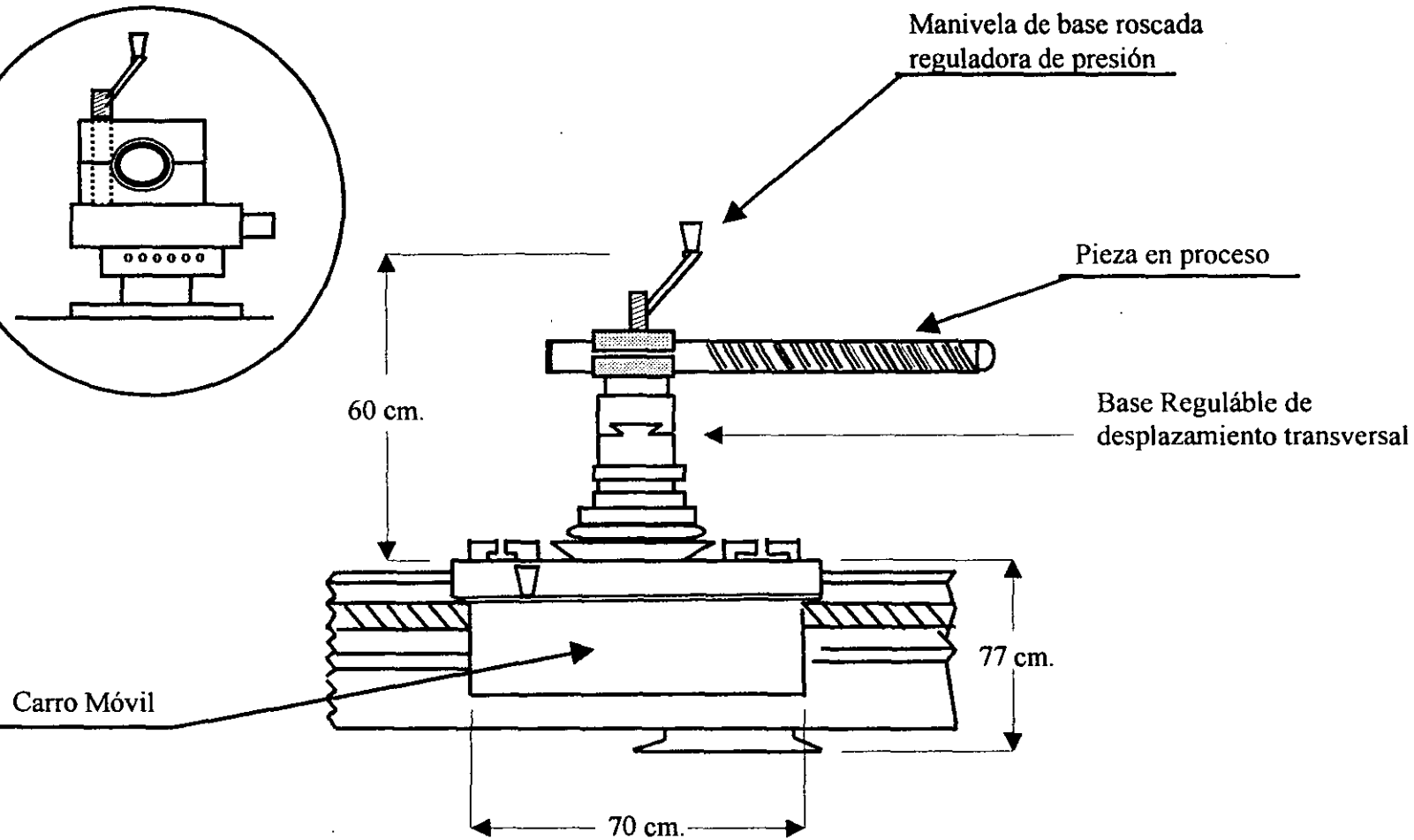
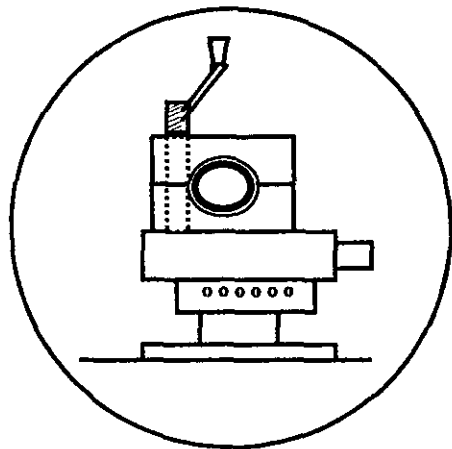
<p><b>Dibujo:</b> N. Fuentealba C.</p>	<p><b>Proyecto:</b> Unidad de Calentamiento por inducción</p>	<p><b>Lautaro Silva Díaz</b></p>
<p><b>Reviso:</b> Hernan Gutierrez V.</p>	<p><b>Contenido:</b> Diagrama de Armado de Conjunto</p>	<p><b>Fecha:</b> 15 - 05 - 2001</p>



<b>Dibujo: Nelson Fuentealba C.</b>	<b>Proyecto: Unidad de Calentamiento por inducción</b>	<b>Lautaro Silva Díaz</b>
<b>Aprobó: Hernán Gutierrez V.</b>	<b>Contenido: Dibujo de Conjunto de Unidad de Avance</b>	<b>Fecha: 15 - 05 - 2001</b>



Dibujo: Nelson Fuentealba C.	Proyecto: Unidad de Calentamiento por inducción	Lautaro <b>Silva</b> Diaz
Reviso: Hernán Gutierrez V.	Contenido: Dispositivo de regulador de avance soporte	Fecha: 13 - 02 - 2001



Dibujo: N. Fuentealba C.

Reviso : Eric Carrillo

Aprobó: Eric Carrillo

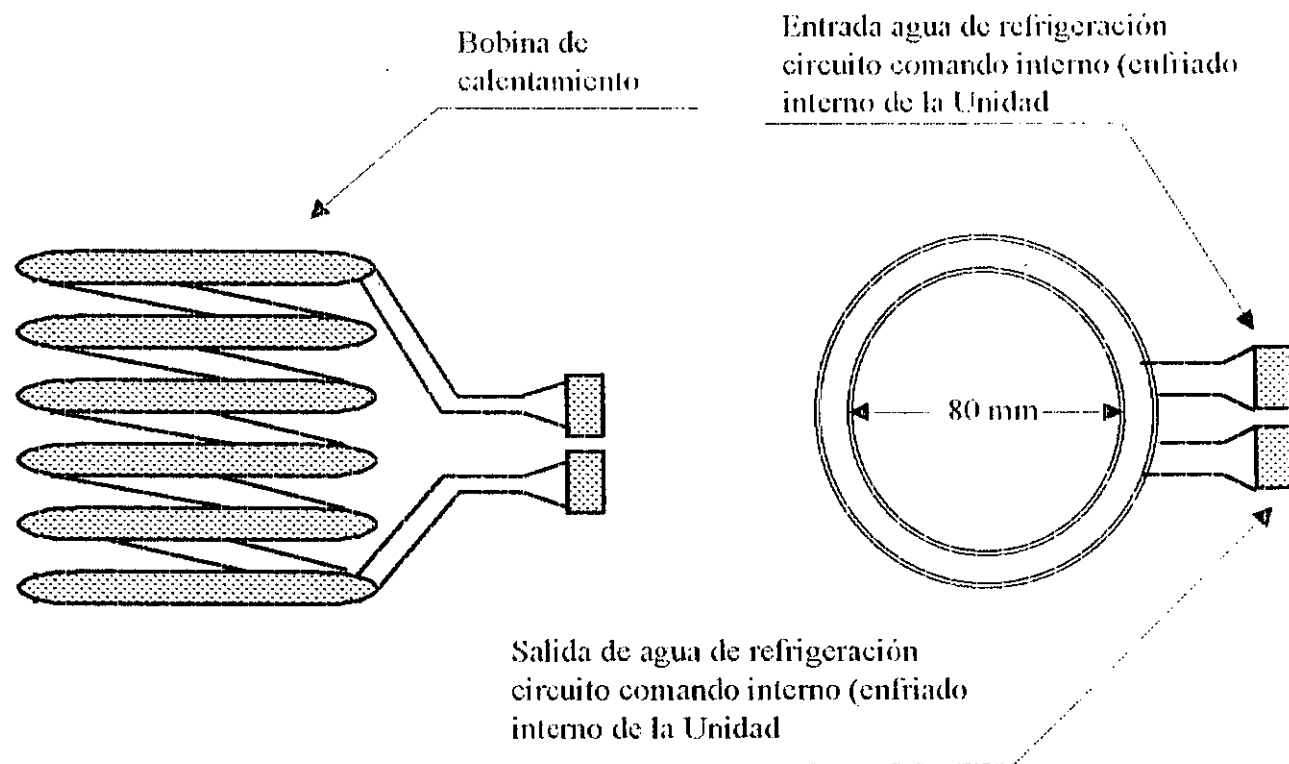
Proyecto: Unidad de Calentamiento por inducción

Contenido: Dispositivo de soporte

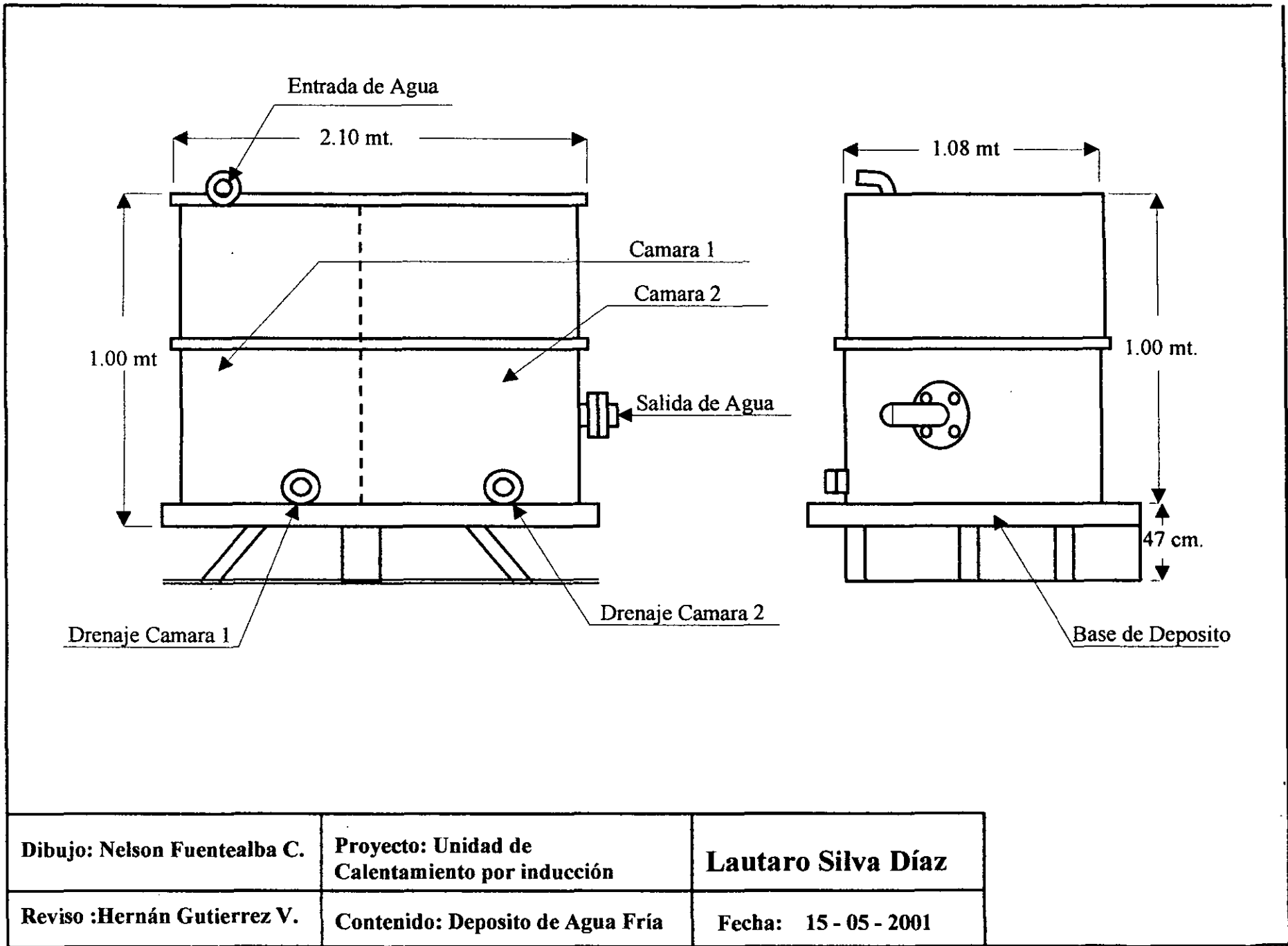
Lautaro Silva Díaz

Fecha: 15 - 05 - 2001

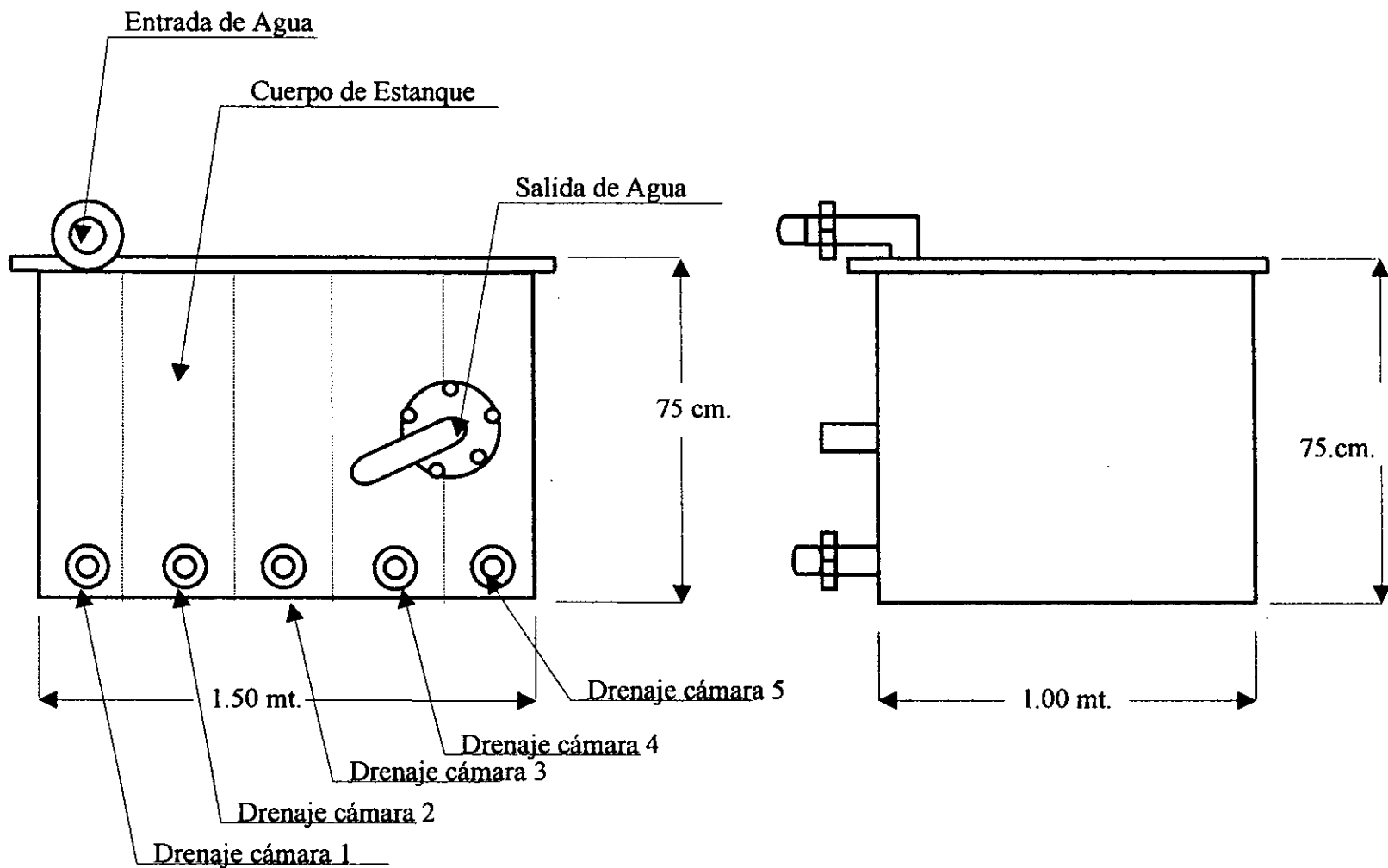




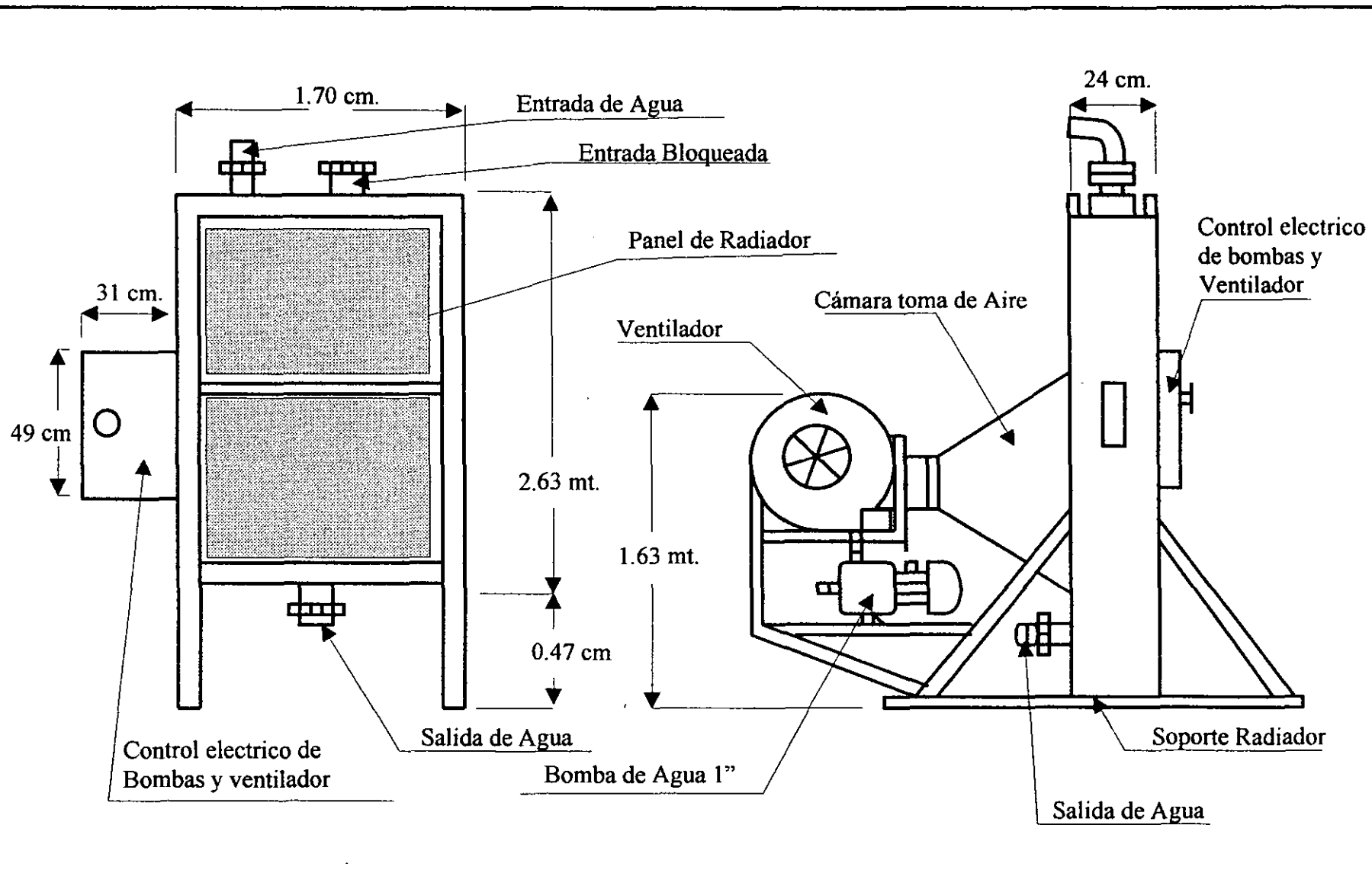
Dibujo: Nelson Fuentealba C	Proyecto: Unidad de Calentamiento por inducción	Lautaro Silva Diaz
Reviso: Hernán Gutierrez V	Contenido: Bobina Grilla	Fecha 25 - 02 - 2001



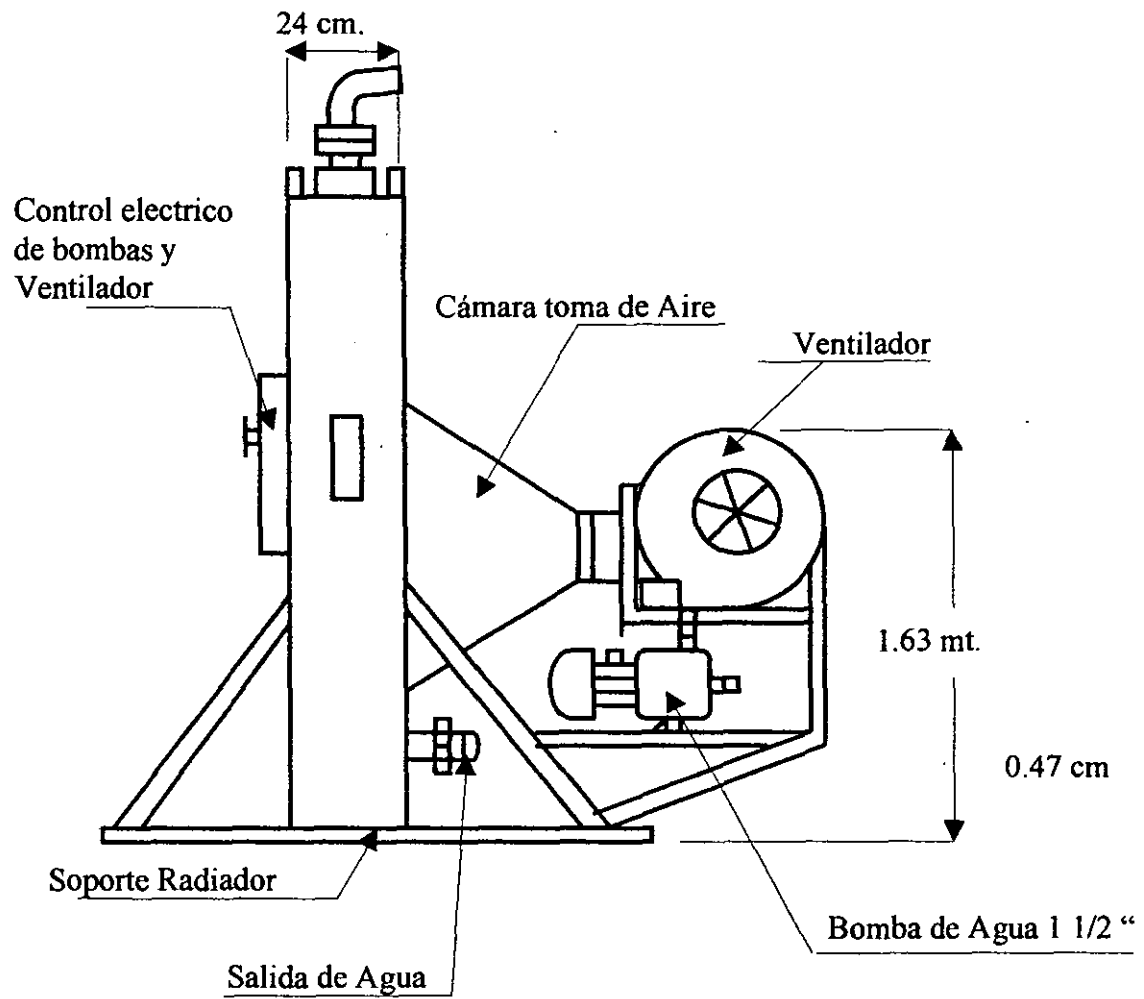
<b>Dibujo: Nelson Fuentealba C.</b>	<b>Proyecto: Unidad de Calentamiento por inducción</b>	<b>Lautaro Silva Díaz</b>
<b>Reviso :Hernán Gutierrez V.</b>	<b>Contenido: Deposito de Agua Fría</b>	<b>Fecha: 15 - 05 - 2001</b>



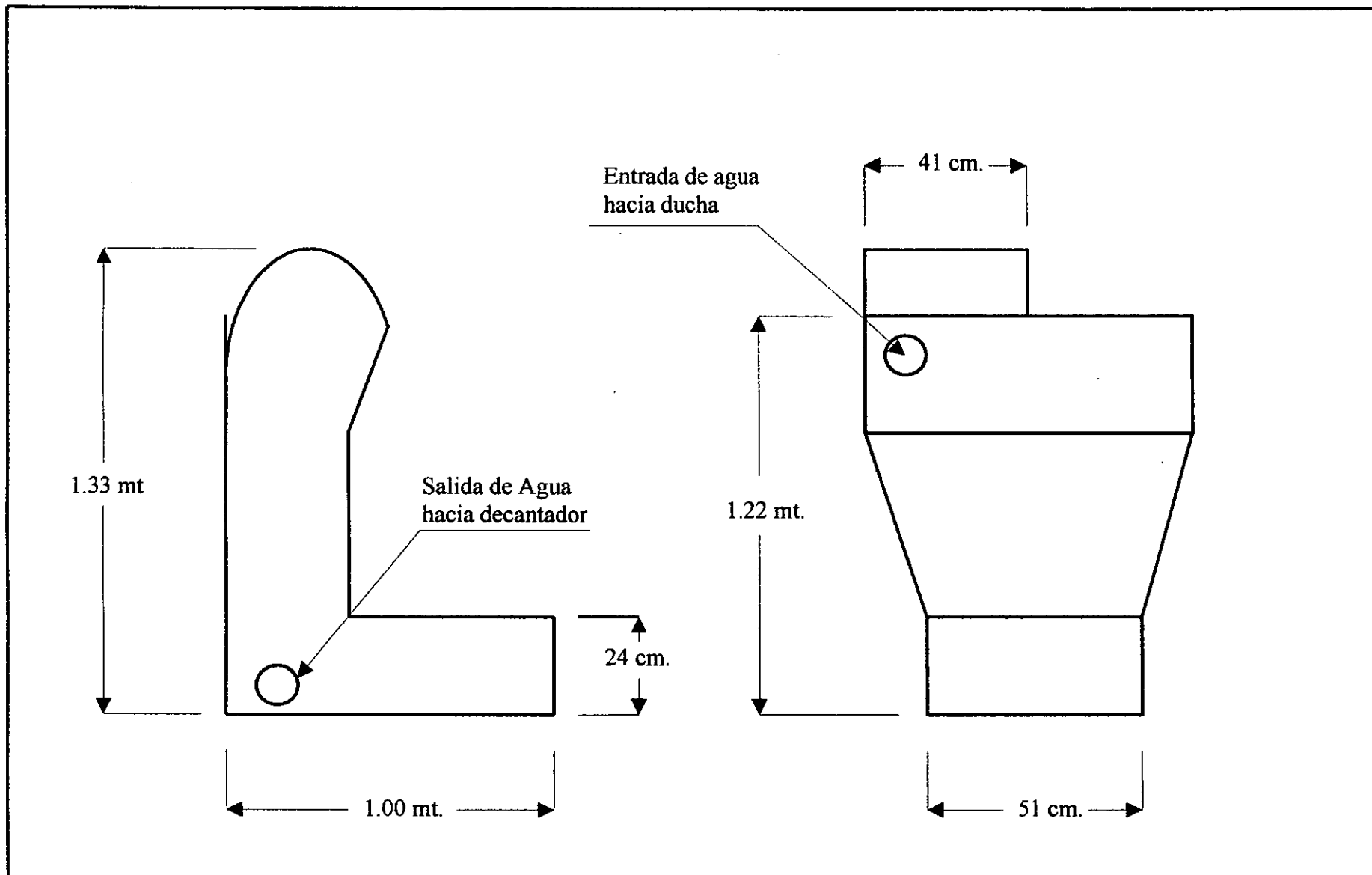
<b>Dibujo: Nelson Fuentealba C.</b>	<b>Proyecto: Unidad de Calentamiento por inducción</b>	<b>Lautaro Silva Díaz</b>
<b>Reviso : Hernán Gutierrez V.</b>	<b>Contenido: Estanque Decantador</b>	<b>Fecha: 15 - 05 - 2001</b>



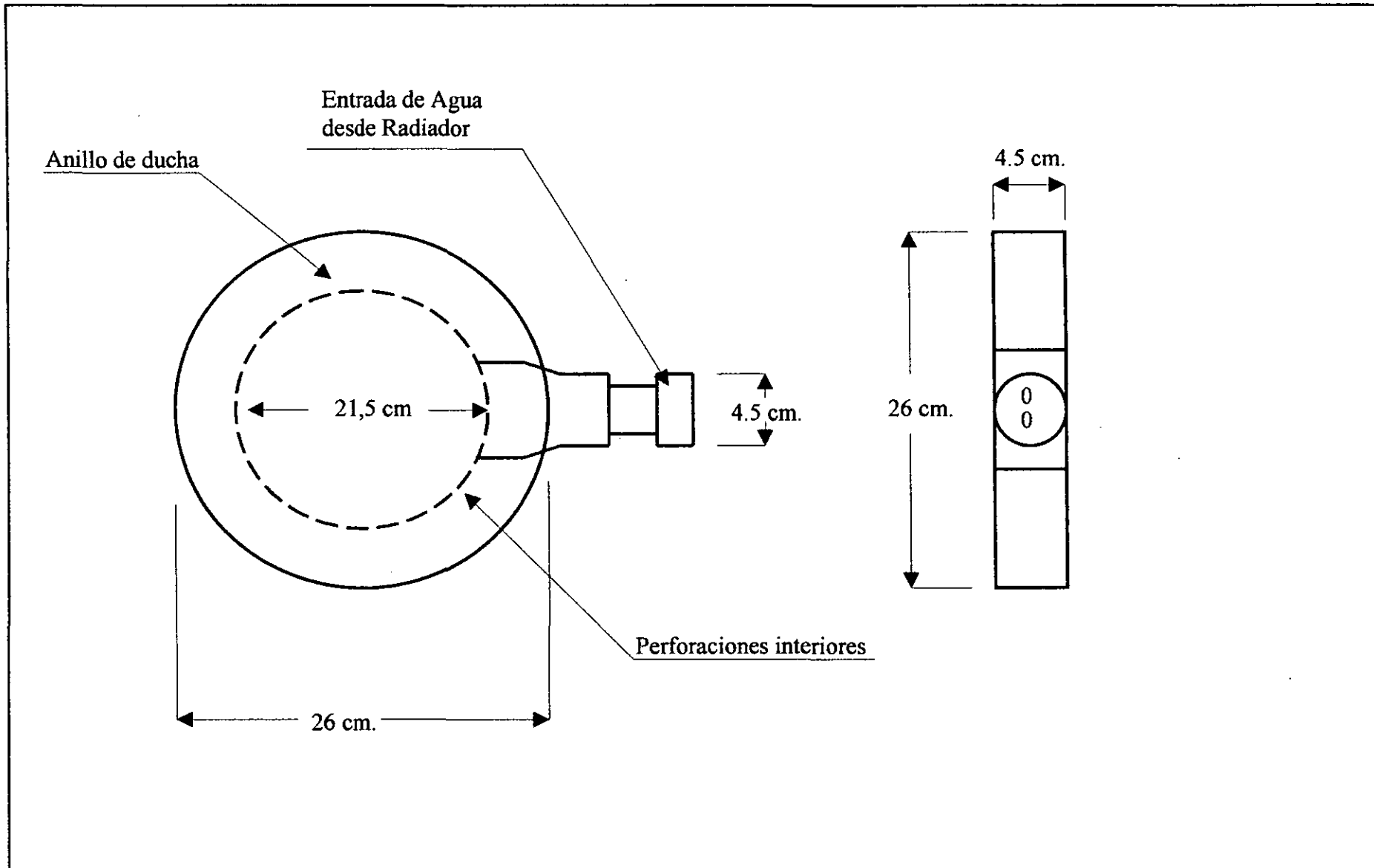
<b>Dibujo: N. Fuentealba C.</b>	<b>Proyecto: Unidad de Calentamiento por inducción</b>	<b>Lautaro Silva Díaz</b>
<b>Reviso :Hernán Gutierrez V.</b>	<b>Contenido: Panel de Enfriamiento</b>	<b>Fecha: 15 - 05 - 2001</b>



<b>Dibujo: Nelson Fuentealba C.</b>	<b>Proyecto: Unidad de Calentamiento por inducción</b>	<b>Lautaro Silva Díaz</b>
<b>Reviso : Hernán Gutierrez V.</b>	<b>Contenido: Panel de Enfriamiento</b>	<b>Fecha: 15 - 05 - 2001</b>



<b>Dibujo: Nelson Fuentealba C.</b>	<b>Proyecto: Unidad de Calentamiento por inducción</b>	<b>Lautaro Silva Díaz</b>
<b>Reviso : Hernán Gutierrez V.</b>	<b>Contenido: Receptáculo de agua Ducha</b>	<b>Fecha: 20 - 05 - 2001</b>



<b>Dibujo: N. Fuentealba C.</b>	<b>Proyecto: Unidad de Calentamiento por inducción</b>	<b>Lautaro Silva Díaz</b>
<b>Reviso :Hernán Gutierrez V.</b>	<b>Contenido: Ducha de enfriamiento</b>	<b>Fecha: 15 - 05- 2001</b>

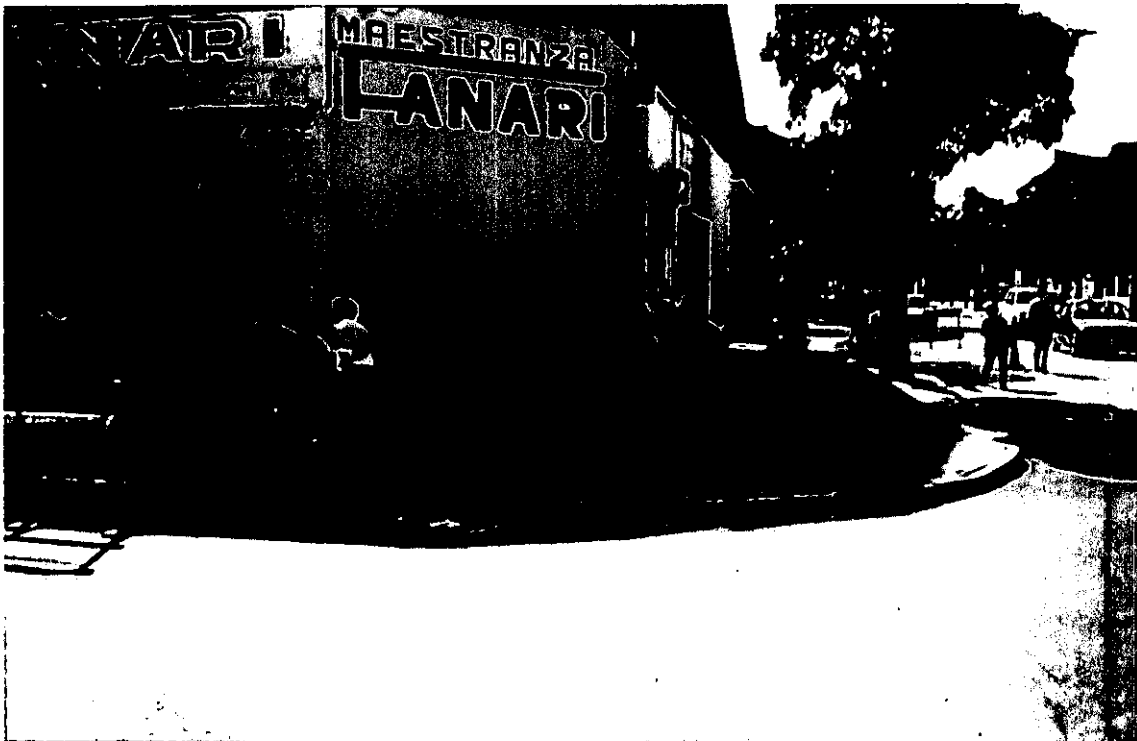
ANEXO N° 3

FOTOGRAFIAS DE COMPONENTES

DEL DISPOSITIVO



Trabajos de Chilectra para modificación de empalme



Vista general mesa de trabajo y generador



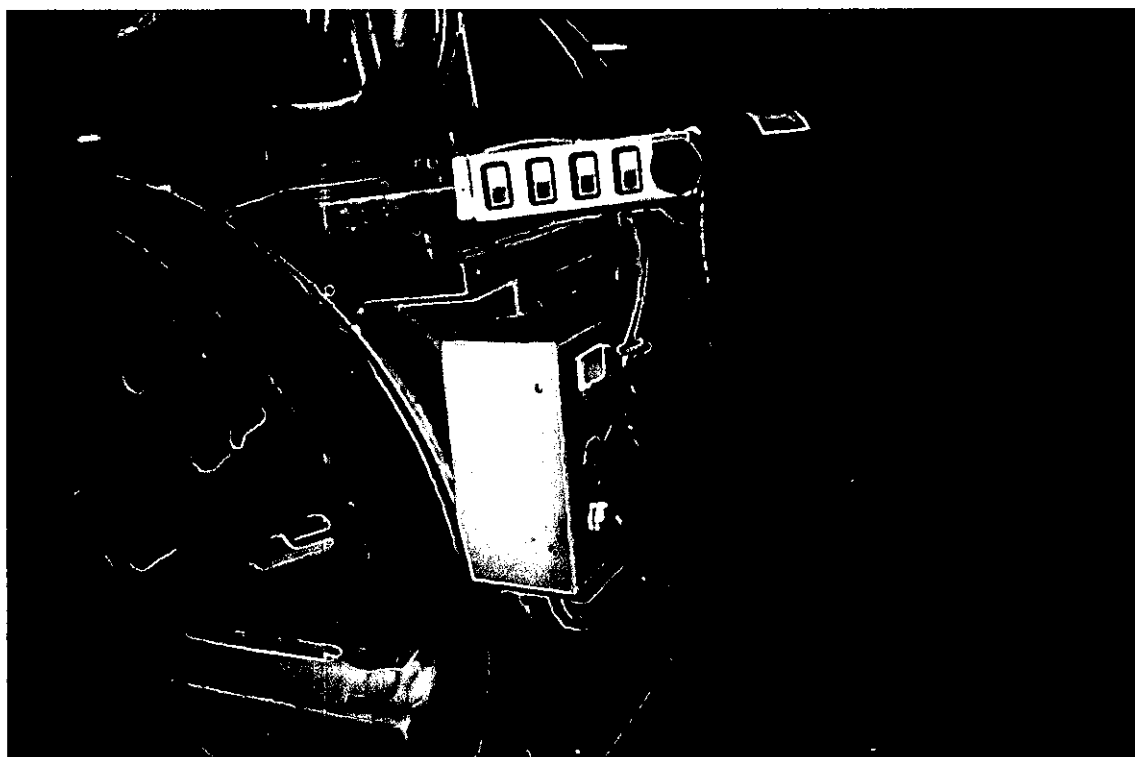
Generador de alta frecuencia



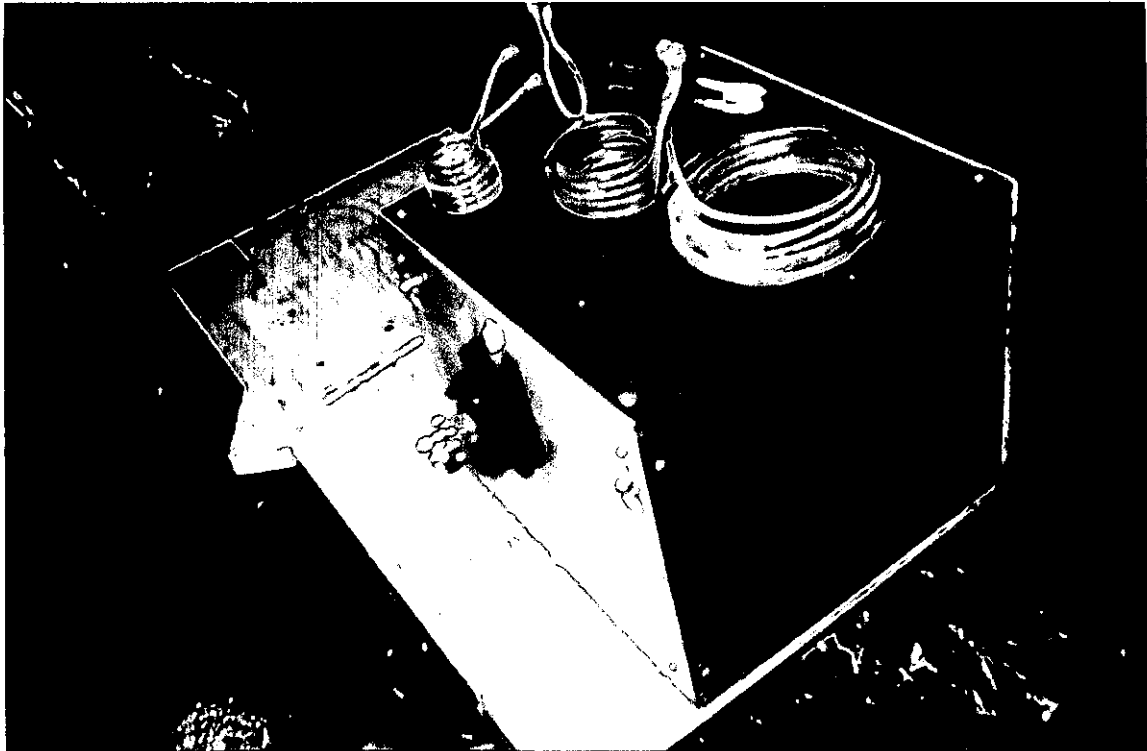
Panel de control y soporte



Panel de control mesa de trabajo



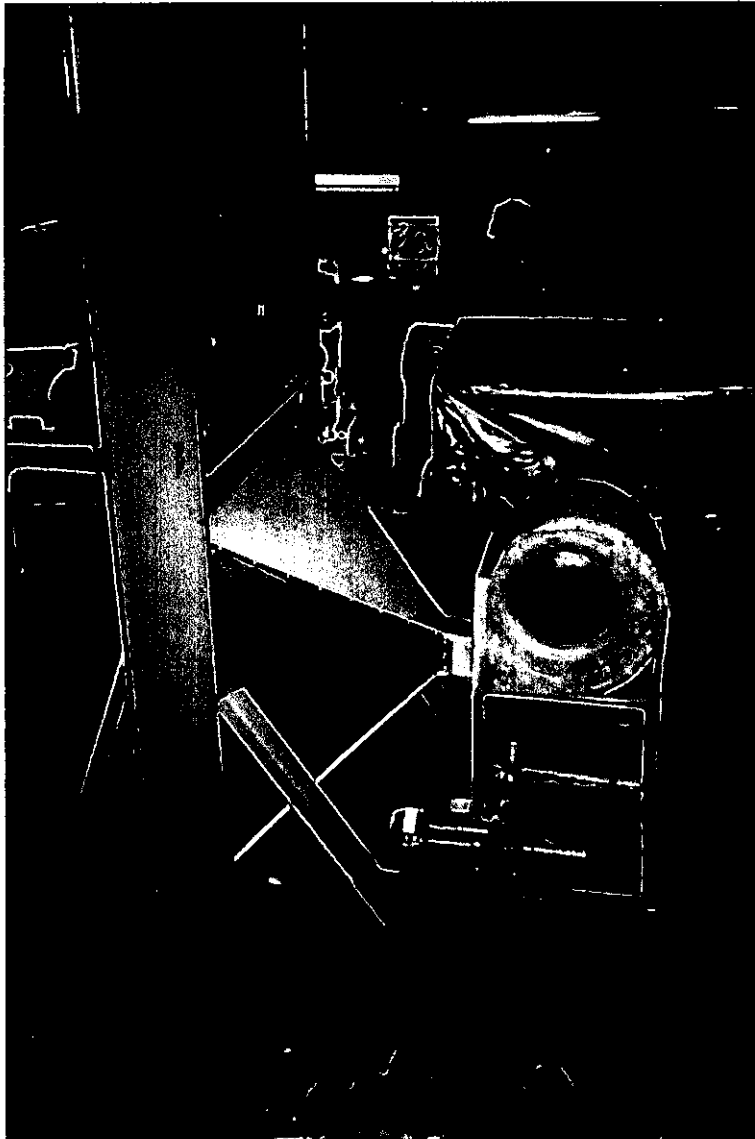
Transformador de alta frecuencia y bobinas



Estanques de sistema de refrigeración

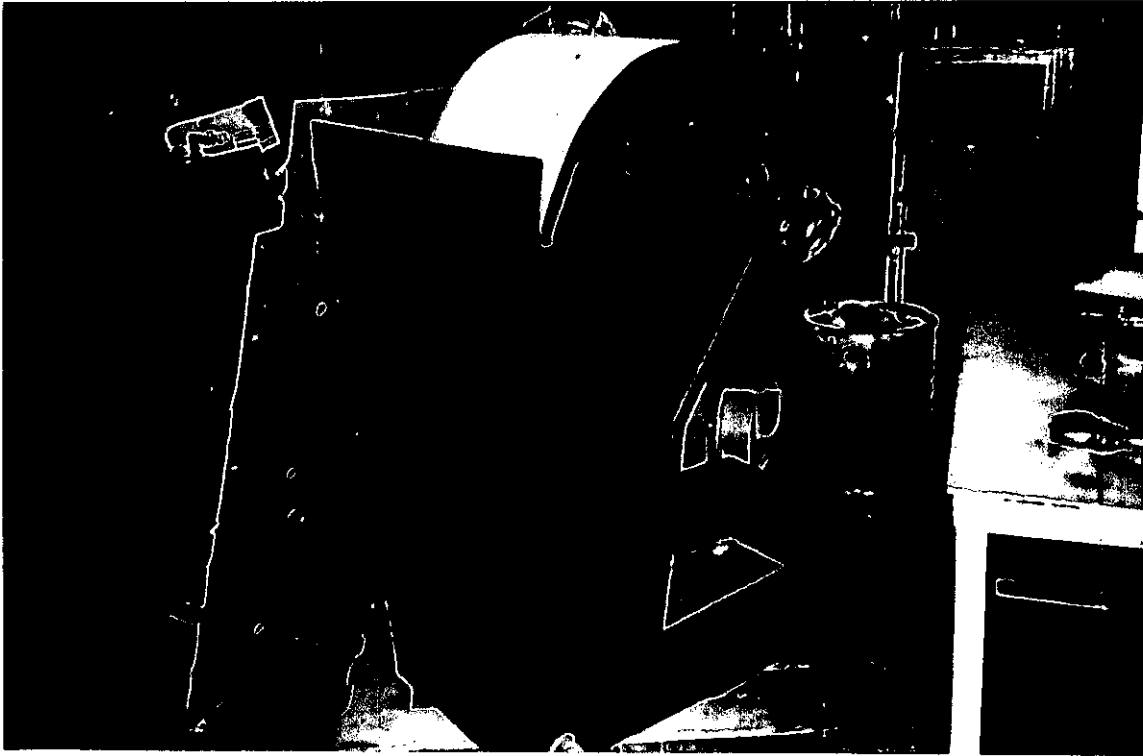


Radiador y ventilador de sistema de enfriamiento





Receptáculo de agua de ducha



ANEXO N° 4

EJEMPLOS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES

### Prueba 1

Pieza	: Engranaje de 3 ¼ pulgadas de diámetro Acero cromo níquel bonificado
Bobina	: De dos vueltas y 4 ¼ pulgadas de diámetro
V placa	: 3.000 Voltios – corriente 500 mAmp.
Corriente placa	: 5 Amp.
Grilla	: 35 grados
Potenciómetro	: 40 %
Potencia entreg.	: 15.000 W
Tiempo para rojo	: Cerca de 120 segundos

## Prueba 2

Pieza : La misma anterior

Bobina : De dos vueltas y 3 1/2 pulgadas de diámetro

V placa : 5.000 Voltios – corriente 500 mAmp.

Corriente placa : 4 Amp.

Grilla : 35 grados

Potenciómetro : 65 %

Potencia entreg. : 20.000 W

Tiempo para rojo : Cerca de 20 segundos

### Prueba 3

Pieza	: Tornillo extrusor de alta densidad, 42 mm de diámetro
Bobina	: De cuatro vueltas y 50 mm de diámetro
V placa	: 6.000 Voltios – corriente 300 mAmp.
Corriente placa	: 7 Amp.
Grilla	: 35 grados
Potenciómetro	: 80 %
Veloc. Avance	: 300 rpm en primera marcha
Potencia entreg.	: 42.000 W
Tiempo para rojo	: Inferior a 5 segundos

#### Prueba 4

Pieza	: Cilindro de 82 mm de diámetro
Bobina	: De cuatro vueltas y 92 mm de diámetro
V placa	: 7.000 Voltios – corriente 300 mAmp.
Corriente placa	: 8 Amp.
Grilla	: 77 grados
Potenciómetro	: 100 %
Veloc. Avance	: 75 rpm en primera marcha
Potencia entreg.	: 56.000 W
Tiempo para rojo	: Inferior a 5 segundos

