

Universidad Nacional de Ingeniería

Programa Académico de Ingeniería
Química y Manufacturera



Titulación Profesional Extraordinaria

TRABAJO PROFESIONAL

Para optar el Título de:

INGENIERO QUIMICO

Presentado por:

Gonzalo Alejandro Rocha Rivero

Lima - Perú

1982 - 83

A MIS PADRES

AGRADECIMIENTOS

El suscrito desea expresar su profundo agradecimiento al Dr. Ing. Vladimir Kucera, Fil. Kand. Jan Gullman y Civ. ing. Anders Thoren, del Instituto Sueco de Corrosión, por su cooperación y asesoramiento durante la capacitación efectuada en dicho instituto.

Asimismo, el agradecimiento a todas aquellas personas que de alguna manera colaboraron durante la participación del suscrito en el Seminario Internacional de Física de la Universidad de Uppsala en su Sesión 1980-81.

CONTENIDO

CAPITULO I.- INTRODUCCION

CAPITULO II.- ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA UNIVER
SIDAD DE UPPSALA

CAPITULO III.- ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN EL INSTITU
TO SUECO DE CORROSION

3.1. Corrosión Atmosférica

3.2. Técnicas Electroquímicas para la Medición
de la corrosión de Metales

3.3. Visitas Efectuadas

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES

ANEXOS.-

Anexo N°1.- Experimentos desarrollados en el Cur
so de Electrónica Aplicada

Anexo N°2.- Funciones y Organización del Institu
to Sueco de Corrosión

Anexo N°3.- Bibliografía sobre Corrosión Atmosfé
rica

Anexo N°4.- Visita a las Estaciones Experimenta
les del Instituto Sueco de Corrosión

Anexo N°5.- Métodos de Evaluación de Especímenes
Metálicos corroídos.

- Anexo N°6.- Programa de Cálculo para Determinar la velocidad de corrosión promedio en la Atmósfera.
- Anexo N°7.- Programa de Cálculo para obtener los parámetros de una ecuación representativa de la velocidad de corrosión atmosférica del acero en función del tiempo de exposición.
- Anexo N°8.- Programa de Cálculo para determinar la correlación existente entre las variables involucradas en el estudio de la corrosión atmosférica.
- Anexo N°9.- Bibliografía sobre Técnicas Electroquímicas para la medición de la Corrosión
- Anexo N°10.- Ensayos de Polarización con Especímenes de acero al carbono inmersos en agua potable.
- Anexo N°11.- Ensayos de Polarización con especímenes de acero al carbono inmersos en agua potable y cloruro de sodio.
- Anexo N°12.- Ensayos de Polarización con Especímenes de Aceros Inoxidables inmersos en Acido Sulfúrico
- Anexo N°13.- Ensayos de Polarización con Especímenes de Aceros Inoxidables inmersos en

Cloruro de Sodio.

Anexo N°14.- Visita a Sandvik AB

Anexo N°15.- Visita a Avesta AB

Anexo N°16.- Visita al Instituto Noruego de Investigación Atmosférica (NILU)

Anexo N°17.- Visita a la Chalmers Tekniska Hogskola

FIGURAS,

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

Los Seminarios Internacionales de Física y Química son organizados a nualmente por la Universidad de Uppsala-Suecia; y tienen como objetii vo principal el reforzar la capacidad investigadora en universidades e institutos de investigación de países en vías de desarrollo, a trav és de la ejecución de programas de capacitación para el personal científico y técnico de dichos países, en Suecia.

Los organismos internacionales que financian estos seminarios son los siguientes:

- * La Agencia Sueca para la Cooperación en Investigación con los Países en vías de Desarrollo (SAREC)
- * La Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA)
- * La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura (UNESCO).

Los Programas de Capacitación de los Seminarios Internacionales se e laboran de acuerdo a las necesidades del participante y las posibilii dades de los laboratorios suecos donde se desarrollarán los mismos; y en general abarcan todas las áreas de la física y la química, tan-

to a nivel científico como tecnológico. En todos los casos la duración de los programas de capacitación es de 10 meses, pudiéndose extender los mismos hasta por 3 meses.

El suscrito fue participante del Seminario Internacional de Física - Sesión 1980-81 desde el 01 de Setiembre de 1980 hasta el 30 de Junio de 1981, habiéndose capacitado en el campo de la Corrosión y su control en el Instituto Sueco de Corrosión-Estocolmo/Suecia.

En el presente Informe-Memoria se detallan las actividades desarrolladas durante la participación en el citado evento.

CAPITULO II

ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA UNIVERSIDAD DE UPPSALA

Del 1° al 15 de Setiembre de 1980 se permaneció en la Universidad de Uppsala donde se iniciaron oficialmente los Seminarios Internacionales de Física y Química. Durante este período se participó en las siguientes actividades:

- 2.1. Asistencia al dictado del Curso de Computación I que comprendió la enseñanza del lenguaje BASIC para Computadoras. Dicho curso tuvo una duración de 10 horas, de las cuales aproximadamente el 80% fueron dedicadas a la práctica del lenguaje mediante la elaboración de programas de cálculo.

- 2.2. Asistencia al dictado del curso de Computación II que comprendió una revisión del lenguaje FORTRAN IV y el uso de subrutinas de cálculo existentes en las bibliotecas de programas para Computadoras. El curso tuvo una duración de 20 horas y la metodología del mismo fue idéntica a la mencionada en 2.1.

- 2.3. Asistencia al dictado del curso de Electrónica Aplicada para no especialistas, donde se adquirió los conocimientos básicos sobre circuitos integrados, amplificadores operacionales, circuitos digitales, etc., así como las aplicaciones de la electrónica moderna en los instrumentos empleados en física, y química. El curso tuvo una duración de 80 horas, divididas en 20 horas de teoría y 60 horas de práctica en el Laboratorio. En el anexo N°1 se da la relación de experimentos realizados en el Laboratorio así como el contenido de los mismos.

- 2.4. Se recibió información sobre sistemas computarizados para la búsqueda retrospectiva de información técnica, y el sistema educacional sueco.

- 2.5. Se efectuó visitas a los Laboratorios e instalaciones de los Institutos de Tecnología y Espectroscopía Electrónica así como a los Departamentos de Química Inorgánica y Analítica de la Universidad de Uppsala.

- 2.6. Se realizó un viaje de estudios a la región central de Suecia, durante el cual se visitó la acería de la compañía SKF en Hofors.

CAPITULO III

ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN EL INSTITUTO SUECO DE CORROSION

Del 15 de Setiembre de 1980 al 30 de Junio de 1981, se permaneció en el Departamento de Investigación y Desarrollo del Instituto Sueco de Corrosión, lugar donde se desarrolló el programa de capacitación propiamente dicho.

El Instituto Sueco de Corrosión fue creado en 1965 por la industria y el gobierno suecos con el fin de disminuir las pérdidas económicas ocasionadas por la corrosión en Suecia. La operación del Instituto es financiada a través de fondos provenientes del Consejo Sueco para el Desarrollo Tecnológico, la Fundación para la Investigación Tecnológica en Corrosión, e ingresos propios.

Las principales funciones del Instituto son: ejecutar proyectos de investigación y desarrollo, prestar servicios de consultoría, y divulgar los conocimientos existentes en el campo de la corrosión.

El personal del Instituto está conformado por 30 personas aproximadamente.

En el Anexo N° 2 se detalla las funciones y organización del Instituto Sueco de Corrosión (ISC).

El programa de capacitación desarrollado por el suscrito comprendió básicamente el estudio de dos áreas.

Corrosión Atmosférica, por un período de cinco meses y;

Técnicas electroquímicas para la medición de la corrosión de metales en líquidos, por un período de tres meses y medio.

En forma complementaria, y durante el último mes de esta día se efectuó visitas de estudio a plantas suecas productoras de acero inoxidable y diversos institutos de Suecia, Noruega y Dinamarca, especializados en el estudio de la corrosión.

La coordinación y supervisión total del programa estuvo a cargo del Jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo, Dr. Ing. Vladimir Kucera.

3.1. CORROSION ATMOSFERICA

El trabajo en este campo se desarrolló en la Sección de Corrosión Atmosférica del Departamento de

Investigación y Desarrollo del ISC conjuntamente con el Fil. Kand. Jan Gullman, responsable de esta Sección.

El Programa desarrollado comprendió los aspectos que a continuación se mencionan.

3.1.1. Formulación y ejecución de estudios experimentales en corrosión atmosférica.

Revisión bibliográfica de los principios y mecanismos de la corrosión atmosférica en metales, así como las normas técnicas y métodos de ensayo empleados (Ver Anexo N° 3)

- Estudio de los diversos factores que influyen en la corrosión atmosférica y clasificación de los tipos de atmósferas desde el punto de vista de la corrosión.

Visitas de estudio a las estaciones experimentales del Instituto Sueco de Corrosión con el fin de conocer los ensayos de corrosión atmosférica que se vienen ejecutando (Ver Anexo N° 4).

3.1.2. Métodos de Tratamiento Químico de los especímenes expuestos a la atmósfera con el fin de eliminar los productos de corrosión. En el Anexo N° 5 se da una breve descripción de

los métodos empleados en el ISC para el tratamiento químico de varias aleaciones.

3.1.3. Evaluación e interpretación de los datos obtenidos durante el tratamiento químico de los especímenes a fin de obtener la velocidad de corrosión promedio en una atmósfera y durante un período dados. Durante dicha evaluación se elaboró un programa de cálculo para el procesamiento de los datos, el cual se encuentra en el Anexo N° 6.

3.1.4. Elaboración de un modelo matemático para la corrosión atmosférica del acero al carbono en función del tiempo de exposición al medio ambiente.

Conjuntamente con el Fil Kand Jan Gullman se ha redactado un artículo técnico sobre dicho modelo así como el programa de cálculo para la obtención de los parámetros de dicha ecuación (Ver Anexo N° 7).

3.1.5. Evaluación e interpretación de la influencia de diversos parámetros sobre la velocidad de corrosión de un metal en la atmósfera, así como la interrelación entre los parámetros antes mencionados. Para esta evaluación se empleó un conjunto de datos obtenidos por el

ISC, correspondientes a 24 meses de registro con un total de 16 parámetros para especímenes de zinc y hierro (Ver Anexo N° 8)

3.1.6. Revisión de las técnicas electroquímicas empleadas en la determinación de la velocidad de corrosión instantánea de un metal en la atmósfera, así como visitas a las estaciones del ISC donde se viene experimentando estas técnicas.

3.1.7. Revisión de varios estudios sobre las pérdidas económicas ocasionadas por la corrosión.

3.2. TECNICAS ELECTROQUIMICAS PARA LA MEDICION DE LA CORROSION DE METALES

El Trabajo en este campo se desarrolló en la Sección de Corrosión de Metales en líquidos del Departamento de Investigación y Desarrollo del ISC, conjuntamente con el Civ.Ing. Anders Thoren, responsable de esta sección.

El programa desarrollado comprendió los aspectos que a continuación se mencionan.

3.2.1. Revisión Bibliográfica sobre las técnicas electroquímicas existentes para la determinación de la velocidad instantánea de corro

sión en líquidos. Se revisó los métodos potencioestáticos de polarización lineal y no lineal, así como los métodos potenciodinámicos de polarización (Ver Anexo N° 9).

3.2.2. Ejecución de ensayos de polarización anódica y catódica con especímenes de acero al carbono inmersos en agua potable aerada y deaerada. La descripción detallada de dichos ensayos se dá en el Anexo N° 10, y los resultados obtenidos, en las figs. N° 2 y 3.

3.2.3. Ejecución de ensayos de polarización anódica y catódica con especímenes de acero al carbono inmersos en agua potable y soluciones de cloruro sódico. Durante dichos ensayos se pudo comprobar el efecto inhibitor del nitrato de sodio en los sistemas antes mencionados. La descripción detallada de dichos ensayos se dá en el Anexo N° 11, y los resultados obtenidos, en las figs. N°s 4, 5 y 6.

3.2.4. Ejecución de ensayos de polarización anódica y catódica con tres tipos de acero inoxidable inmersos en una solución de ácido sulfúrico 1N. La descripción detallada de dichos ensayos se dá en el Anexo N°12, y los resultados obtenidos, en la fig. N° 7.

3.2.5. Ejecución de Ensayos de Polarización anódica con tres tipos de acero inoxidable inmersos en una solución de cloruro de sodio 0.1N. La descripción detallada de dichos ensayos se dá en el Anexo N° 13, y los resultados obtenidos, en la Fig. N° 8.

3.3. VISITAS EFECTUADAS

En forma complementaria a la capacitación recibida en el Instituto Sueco de Corrosión y durante los dos últimos meses de estadía en dicho instituto, se efectuaron visitas de estudio a tres plantas suecas productoras de acero inoxidable y a cuatro institutos y universidades de Suecia, Noruega y Dinamarca, especializados en el estudio de la Corrosión. A continuación se describe los programas desarrollados durante las visitas efectuadas.

3.3.1. SANDVIK A.B.

La visita efectuada a la sede principal de Sandvik AB, ubicada en Sandviken-Suecia, se realizó entre el 5 y el 7 de Mayo de 1981 y comprendió una visita a las diferentes unidades de producción y laboratorios de in -

investigación pertenecientes a la División de Aceros Inoxidables. El Programa de visitas estuvo a cargo del Fil Kand Sven-Olof Bernhardsson, Jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo en Aceros Inoxidables. En el Anexo N°14 se describe en detalle las actividades desarrolladas durante la visita.

3.3.2. AVESTA A.B.

La visita efectuada a la sede principal de Avesta A.B., ubicada en Avesta-Suecia, se realizó entre el 14 y 15 de Mayo de 1981 y comprendió una visita a las unidades de producción y laboratorio de investigación de dicha empresa. El programa de visitas estuvo a cargo del Tekn. Lic. Bengt Wallén, Jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo de Avesta. En el Anexo N° 15 se describe las actividades desarrolladas durante la visita.

3.3.3. FAGERSTA A.B.

La visita efectuada a la Empresa Fa-

gersta A.B. ubicada en Fagersta-Suecia, se realizó entre el 19 y 21 de Mayo de 1981 y comprendió una visita a las siguientes instalaciones de la empresa:

- * Planta de producción de acero inoxidable por colada continua.
- * Planta de laminado en caliente
- * Planta de producción de tubos y control de calidad de los mismos
- * Departamento de Desarrollo de materiales
- * Laboratorios metalúrgicos y de análisis químico (microscopio electrónico, equipo de difracción de Rayos X y espectrógrafo de Emisión).
- * Laboratorio de corrosión, en el cual se pudo apreciar algunos de los equipos y métodos empleados por Sandvik y Avesta (ver Anexos N°s 14 y 15), si bien en menor escala.

El programa de visitas estuvo a cargo del Ing. Jorgen Degerbeck, Jefe del Laboratorio de Corrosión.

3.3.4. NILU (Instituto Noruego de Investigación Atmosférica)

La visita a este Instituto, ubicado en Lillestrom-Noruega, se llevó a cabo el 01 de Junio de 1981 y comprendió una visita a sus laboratorios en especial el de corrosión, con el fin de conocer los proyectos de investigación que se vienen desarrollando en corrosión atmosférica así como los métodos y equipos empleados para tal fin. El programa de visitas estuvo a cargo del Dr. Ing. Svein Haagenrud, Jefe del Laboratorio de Corrosión. En el Anexo N° 16 se describen las visitas efectuadas.

3.3.5 CHALMERS TEKNISKA HOGSKOLA

La visita al Departamento de Química Inorgánica de la Universidad Técnica de Gotenburgo (Chalmers Tekniska Hogskola) se llevó a cabo el 03 de Junio de 1981 y comprendió una visita a los Laboratorios de dicho departamento, con el fin de conocer los proyectos de investigación que se vienen desarrollando en corrosión at

mosférica así como los métodos y equipos empleados para tal fin. El programa de visitas estuvo a cargo del Profesor Nils-Gosta Vannerberg, director del Departamento antes mencionado. En el Anexo N°17 se describe la visita efectuada.

3.3.6. KORROSIONEN CENTRALEN (Centro Danés de Corrosión)

Korrosionscentralen es el Instituto Central de Investigaciones sobre Corrosión en Dinamarca y la visita efectuada tuvo como fin el conocimiento de los proyectos de investigación en ejecución así como las técnicas y métodos empleados para la medición de la corrosión en soluciones acuosas.

La visita se efectuó el 04 de Junio de 1981 y permitió conocer los detalles sobre tres proyectos de investigación:

- * Estudio comparativo de ensayos para determinar la susceptibilidad a la dezinquificación en latones.
- * Acción Galvánica del acero embebido

do en concreto.

* Estudio de polarización en estructuras de concreto pretensado

El programa de visitas estuvo a cargo de la Dra. Kate Nielsen y el Civ. Ing. Finn Yding , investigadores de Korrosionscentralen.

3.3.7. STUDSVIK ENERGITEKNIK A.B.

Studsvik Energiteknik A.B. es una empresa sueca dedicada a la ejecución de proyectos de investigación y ensayos en el campo de la energía nuclear, energía no convencional y ciencia de los materiales.

En el Laboratorio de Corrosión de dicha empresa se tuvo la oportunidad de apreciar los métodos de ensayo empleados para el estudio de la corrosión por esfuerzos en aceros inoxidables.

La visita se efectuó el 12 de Junio de 1981, y estuvo a cargo del Civ. Ing. Anders Molander Investigador de esta Empresa.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

- 4.1. La participación en el Seminario Internacional de Física de la Universidad de Uppsala/Sesión 1980-81 resultó satisfactoria y permitió al suscrito ampliar sus conocimientos, teóricos y prácticos, sobre las técnicas empleadas para el estudio de la corrosión y su control. Dicha experiencia viene siendo aplicada en la implementación y puesta en funcionamiento de un laboratorio básico de corrosión en el ITINTEC.
- 4.2. La pasantía en el Instituto Sueco de Corrosión fue muy provechosa, y permitió al suscrito participar activamente en labores de investigación aplicada en las áreas de corrosión atmosférica y técnicas electroquímicas para la medición de la corrosión en metales. Durante dicha participación se tuvo la oportunidad de trabajar con equipos específicos para el estudio de la corrosión.

En forma paralela a estas actividades se pudo observar directamente la organización y funciona

miento de este Instituto, especializado en el estudio de la corrosión y su control.

- 4.3. Durante las visitas a las plantas productoras de aceros inoxidable se apreció en forma global los procesos de producción de dichas aleaciones. Asimismo, se pudo conocer las técnicas y métodos empleados por los departamentos de investigación y desarrollo de dichas empresas para el estudio y control de la corrosión en aceros inoxidable.
- 4.4. Durante las visitas a diversos institutos especializados en el estudio de la corrosión y su control, se tuvo la oportunidad de conocer los programas de investigación y actividades que se desarrollan en dichos Institutos.
- 4.5. El curso de Electrónica Aplicada, dictado en la Universidad de Uppsala, fue sumamente interesante pues permitió adquirir los conocimientos básicos sobre componentes de los circuitos electrónicos modernos y sus aplicaciones en algunos instrumentos empleados en química.



University of Uppsala

Sweden

We hereby certify that

Mr. Gonzalo A. Rocha Rivero

participated in the 19 80 — 81 session
of the

INTERNATIONAL SEMINAR
IN PHYSICS

and completed the programme in a satisfactory way, as
described in detail below.

Uppsala, June 18, 19 81


President of the University


Head of the International Seminar in Physics

The International Seminar in Physics is held yearly at the University of Uppsala, Sweden, and is sponsored by

The Swedish Agency for Research Co-operation with Developing Countries (SAREC)
The International Atomic Energy Agency (IAEA), and
The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
(UNESCO)

The aim of the International Seminar in Physics is to promote research and higher education. Normally this is done through individual participation in advanced scientific research work, but other programmes are offered upon request.

A description of the work carried out by . . . Mr. . Gonzalo Rocha Rivero and of other activities included in his/her programme is given below:

1. Research work

During the Seminar, which lasts from September 1, 1980 to June 30, 1981 Mr. Gonzalo Rocha has been active within the R & D Department of the Swedish Corrosion Institute. His research work was devoted to two main areas - atmospheric corrosion and electrochemical techniques for investigation and testing of corrosion in liquids.

In the field of atmospheric corrosion the work was concentrated to planning and evaluation of measurements at atmospheric corrosion test sites. The scientific work in which G Rocha participated in a very active way included the development of a new computer based program of evaluation of corrosion rates of specimens and development of a mathematical model for prediction of atmospheric corrosion of carbon steel.

In the field of electrochemical measurements the work comprised measurements with basic instruments and techniques for electrochemical corrosion measurements including measurements of polarization curves, of polarization resistance and of corrosion potentials. The systems studied included carbon steel in tap and sea water both with and without inhibitors, stainless steels in neutral and acid chloride solutions and recording of corrosion potentials in chlorinated sea water.

2. Publications

Gullman, J& Rocha, G: "Mathematical modelling of atmospheric corrosion of carbon steel as a function of the time of exposure!" The paper will be submitted for publication in an international journal or conference after the final completion of the work.

3. Courses and conferences

During the Seminar period Gonzalo Rocha visited a number of corrosion laboratories being specialized in the field of atmospheric corrosion and corrosion of stainless steel. The most important visits are listed below:

- Sandvik AB, Sandviken. Corrosion laboratory and visit to the plant
1981-05-05--05-07.

- Avesta Jernverks AB. Corrosion laboratory and visit to the plant.
1981-05-14--05-15.

Fagersta AB. Steel and corrosion research laboratory and visit to the plant. 1981-05-19--05-21.

- Norwegian Institute for Air Research, Kjeller. Basic and applied research on atmospheric corrosion. 1981-06-01--06-02.

Chalmers Technical University, Dept. of Inorganic Chemistry. Basic research on atmospheric corrosion, electrochemical measurements and corrosion inhibitors. 1981-06-02-- 06-03.

Danish Corrosion Centre. Central institute for corrosion research in Denmark, visit of the laboratories. 1981-06-04.

. G. Rocha participated in a BASIC programming course (10 hrs) and also in an introductory FORTRAN programming course (20 hrs).

G. Rocha participated in an applied electronics course (20 hrs theory and approx. 60 hrs laboratory work) focussing on electronic instrumentation and digital circuits.

4. General program of the Seminar

In addition to the above mentioned items the Seminar program has included study tours to universities, research laboratories and industries in Sweden and a series of social gatherings, lectures and excursions centred around matters of general interest to the group (social welfare, culture, education, research policy, industry and trade, etc.).

A N E X O S

ANEXO N° 1

EXPERIMENTOS DESARROLLADOS EN EL CURSO ELECTRONICA

APLICADA

- | | |
|-----------|--|
| Exp. N°1 | El amplificador vertical del osciloscopio |
| Exp. N°2 | El amplificador horizontal del osciloscopio |
| Exp. N°3 | Medición de la forma de una Onda |
| Exp. N°4 | El Osciloscopio en General |
| Exp. N°5 | El Transformador Alterno |
| Exp. N°6 | Tensión e Intensidad de Corriente características en un resistor |
| Exp. N°7 | Tensión e intensidad de corriente características en un diodo |
| Exp. N°8 | Rectificación con un diodo |
| Exp. N°9 | Rectificación con dos diodos |
| Exp. N°10 | Rectificación con un puente de diodos |
| Exp. N°11 | Estabilizador de Zener |
| Exp. N°12 | Estabilizador de fuentes de poder |
| Exp. N°13 | El Transistor como interruptor de corriente |
| Exp. N°14 | El amplificador de transistores (con el emisor común) |
| Exp. N°15 | Respuesta de frecuencia de un amplificador |

- Exp. N°16 Respuesta de fase de un amplificador
- Exp. N°17 Estabilidad de resistores y transistores respecto a la temperatura
- Exp. N°18 El amplificador de transistores (con el colector común)
- Exp. N°19 El amplificador operacional (inversor del Circuito)
- Exp. N°20 El amplificador operacional (no inversor del Circuito)
- Exp. N°21 El amplificador diferencial
- Exp. N°22 Filtros activos y pasivos
- Exp. N°23 El "TRIAC"
- Exp. N°24 El Registrador
- Exp. N°25 Circuitos Integrados de la familia TTL
- Exp. N°26 El indicador lógico de niveles (LED-driver)
- Exp. N°27 Tablas de verdad
- Exp. N°28 El "Decoder/Driver"
- Exp. N°29 El "Flip-Flop"
- Exp. N°30 El "Flip-Flop" (tipo Master-Slave) con generador de pulsos
- Exp. N°31 El contador asíncrono
- Exp. N°32 El contador decimal
- Exp. N°33 Los "Shift Registers"
- Exp. N°34 Conversion Digital a Analógica.

RESUMEN DE LOS EXPERIMENTOS DESARROLLADOS

EXPERIMENTO N° 1

Tuvo por objeto el comprobar la deflexión vertical que sufre el haz electrónico al variarse el voltaje aplicado a las placas deflectoras del amplificador vertical del osciloscopio. Adicionalmente se pudo comprobar que el valor obtenido en la pantalla del osciloscopio, no cambia al variar la sensibilidad del amplificador vertical.

EXPERIMENTO N° 2

El objetivo fue comprobar la deflexión horizontal que sufre el haz electrónico al variarse el voltaje aplicado a las placas deflectoras del amplificador horizontal del osciloscopio. Dicha deflexión varía desde 0 (al lado izquierdo de la pantalla) hasta un valor máximo (en el extremo derecho de la pantalla).

EXPERIMENTO N° 3

Con la ayuda del osciloscopio se determinó la amplitud y período de ondas emitidas por un generador de ondas sinusoidales. Se trabajó con 2 ondas de las siguientes características:

	<u>1ra. Onda</u>	<u>2da. Onda</u>
Amplitud	2.45 v.	44 m.v.
Período	2.45 m.s.	21 m.s.
Frecuencia	4 Hz	47,719 Hz

La amplitud de las ondas fue determinada dividiendo entre 2 el voltaje de las ondas medidas pico a pico.

EXPERIMENTO N° 4

Tuvo como objetivo el identificar y comprender la función de los diversos controles existentes en el osciloscopio.

EXPERIMENTO N° 5

Mediante este experimento se determinó las características de la onda de salida de un transformador alterno, siendo las características de la misma:

Voltaje (pico a pico)	20.5 v.
Período	20 m.s.
Frecuencia	50 Hz
(Frecuencia empleada en Europa)	

El transformador fue conectado a la red de energía eléctrica del Laboratorio (220 v.)

EXPERIMENTO N° 6

Se determinó el valor de un resistor, con la ayuda del osciloscopio y un generador de ondas, haciendo uso de la Ley de Ohm. El eje vertical del osciloscopio fue recalibrado para obtener intensidad de corriente en lugar de voltaje intercalando un resistor de valor conocido y midiendo la caída de tensión en este circuito.

EXPERIMENTO N° 7

Se obtuvo el diagrama intensidad de corriente vs. voltaje para diodos de silicio y germanio, haciendo uso de un circuito similar al empleado en el experimento N° 5.

EXPERIMENTO N° 8

Se observó la onda obtenida al rectificar la onda sinusoidal, procedente de un transformador, haciendo uso de un diodo.

Dicha onda fue similar a la de entrada, excepto que la parte negativa fue eliminada. Con la ayuda de un condensador en el circuito, se mejoró la forma de la onda, obteniéndose un voltaje continuo con mucho "ruido".

EXPERIMENTO N° 9

Se observó la onda obtenida al rectificar la onda sinusoidal procedente de un transformador haciendo uso de dos diodos.

La onda obtenida presentaba la inversión de la zona negativa de la onda primitiva.

Con la ayuda de un condensador se obtuvo el voltaje continuo (rectificación completa) y muy poco "ruido".

EXPERIMENTO N° 10

Se observó la onda obtenida al rectificar la onda sinusoidal procedente de un transformador haciendo uso de un puente de Diodos.

Se obtuvo una onda casi idéntica a la del experimento N° 8 en ambos casos (con y sin condensador).

La ventaja económica del puente de diodos, sobre la rectificación con dos diodos radica en que en el primer caso, el secundario del transformador requiere 2 salidas, mientras que en el segundo requiere de 3.

EXPERIMENTO N° 11

Se trabajó con una fuente de poder que incluía un Regulador Zener cuyas características permitieron la obtención de un voltaje continuo - constante, independiente de la corriente que consuma la carga.

EXPERIMENTO N° 12

En este experimento se empleó fuentes de poder con el fin de determinar los voltajes de salida mínimo y máximo, obteniéndose para este caso un voltaje mínimo de 5.6 voltios y un voltaje máximo de 11.2 voltios, siendo el voltaje del diodo ZENER igual a 3 voltios.

EXPERIMENTO N° 13

El experimento tuvo como objetivo la verificación del funcionamiento

de un transistor como interruptor de corriente eléctrica, para tal fin se varió la intensidad de corriente en la base del transistor, observándose que a partir de un voltaje de 0.6 voltios el emisor del transistor permitía el flujo de corriente en el circuito.

EXPERIMENTO N° 14

El experimento tuvo como objetivo el empleo de un transistor como componente fundamental para la construcción de un amplificador de corriente alterna. En este caso se empleó una onda sinusoidal, con una amplitud de 15 m.v. y un voltaje de salida de 2.5 v., con lo cual se obtuvo una amplificación de 167 el voltaje de entrada.

EXPERIMENTO N° 15

En este experimento se comprobó la respuesta de frecuencia del amplificador empleado en el experimento anterior, para lo cual se varió la frecuencia de la onda de entrada desde 10Hz hasta 300 Hz., manteniéndose la señal de entrada constante e igual 4.20 m.v. (pico a pico). En base a estos datos se construyó el diagrama amplificación vs. frecuencia, obteniéndose las siguientes características del amplificador:

El amplificador sin carga es lineal entre 200 y 10,000 Hz.

El límite de frecuencia inferior (3 decibeles) fue de 12 Hz, mientras que el límite de frecuencia superior fue de 190,000 Hz, con lo cual el ancho de banda del amplificador fue de 189,988 Hz.

EXPERIMENTO N° 16

Mediante este experimento se completó la información sobre las características del amplificador estudiado en el experimento anterior. Se empleó la misma metodología, obteniéndose los siguientes resultados.

- * Para una frecuencia de 1 Hz. el defase entre la onda de salida y la onda de entrada fue de 180°
- * Para una frecuencia de 10K Hz dicho defase fue de 270°
- * Para una frecuencia de 100 K Hz, el defase fue de 300 K Hz.

EXPERIMENTO N° 17

Mediante este experimento se comprobó la estabilidad de los resistores y transistores respecto de la temperatura. Para tal fin se empleó el amplificador estudiado en los experimentos anteriores, variándose la temperatura del circuito y observándose dicho efecto, en el voltaje del colector del transistor.

EXPERIMENTO N° 18

Se trabajó con el mismo transistor de los experimentos pasados, pero el circuito fue diseñado de modo tal que se tenía el colector común a la entrada y salida del circuito. Esta configuración puede dar mucha más potencia a una carga determinada, si bien la amplificación de voltaje fue igual a la unidad.

La corriente del circuito fue amplificada como consecuencia de esta configuración.

EXPERIMENTO N° 19

Para este experimento se empleó el amplificador operacional, que es uno de los componentes más ampliamente usados en electrónica, debido a su alta impedancia de salida, buena estabilidad con la temperatura y voltaje de amplificación extremadamente altos. Se midió los voltajes de amplificación para diferentes valores de la resistencia en la retroalimentación, y se comprobó que el sistema invertía la señal de entrada (la señal de salida estaba defasada 180° respecto a la entrada).

EXPERIMENTO N° 20

Se empleó el mismo amplificador del experimento anterior pero el circuito fue diseñado de modo tal que no invertía la señal de entrada, - se midió la amplificación de voltajes para diferentes valores de la - resistencia en la retroalimentación. Este circuito no puede trabajar como atenuador (como en el caso del experimento anterior) debido a que la amplificación sólo puede ser mayor o igual que la unidad.

EXPERIMENTO N° 21

En este caso se trabajó con el amplificador conectado en forma diferencial, de modo tal que el circuito amplificaba la diferencia de las señales en los terminales de entrada. Se midió la amplificación del circuito para diferentes valores del voltaje de entrada.

EXPERIMENTO N° 22

Se verificó el comportamiento de filtros activos y pasivos. El filtro pasivo fue de baja frecuencia constituido por una resistencia y un condensador, mientras que en el caso del filtro activo estuvo constituido por un amplificador operacional.

EXPERIMENTO N° 23

Tuvo por objeto comprobar el funcionamiento del "TRIAC" que es un tipo de tiristor que puede conducir la corriente en ambas direcciones. Se conectó un diodo emisor de luz al circuito con el fin de comprobar la variación continua de voltaje producida por el "TRIAC".

EXPERIMENTO N° 24

En este experimento se empleó un registrador con el fin de graficar - las señales emitidas por un generador de ondas.

EXPERIMENTO N° 25

Este experimento permitió iniciarse en el uso de los circuitos integrados del tipo transistores lógicos.

Para tal fin se empleó un circuito intergrado del tipo NAND-gate, comprobándose el voltaje en todas las entradas y salidas del circuito.

EXPERIMENTO N° 26

Se empleó un diodo emisor de luz con el fin de conocer el nivel en cada una de las salidas de un circuito integrado. Con este tipo de diodo se puede conocer las dos únicas posibilidades de voltaje en las entradas o salidas de los circuitos integrados (alto o bajo).

EXPERIMENTO N° 27

Mediante el uso de circuitos integrados del tipo NAND se construyeron las tablas de verdad con las posibilidades AND, DR, NOR, XOR y NOT-XOR.

EXPERIMENTO N° 28

En este experimento se comprobó el funcionamiento del decodificador - conjuntamente con la pantalla de diodos indicadores de nivel.

EXPERIMENTO N° 29

Con este experimento se comprobó el funcionamiento del circuito integrado acumulador de memoria en electrónica digital.

EXPERIMENTO N° 30

Mediante este experimento se comprobó el funcionamiento de un circuito integrado tipo "FLIP-FLOP" con la variante de que las salidas cambian en forma sincronizada con una señal procedente de un generador de pulsos.

EXPERIMENTO N° 31

En este experimento se trabajó con un circuito integrado compuesto por 2 "FLIP-FLOP" unidos entre sí, que actuaban como un bloque contador en el sistema binario.

EXPERIMENTO N° 32

Para este experimento se empleó un circuito integrado compuesto por 10 "FLIP-FLOP", con lo cual se obtuvo un bloque contador en el sistema decimal.

EXPERIMENTO N° 33

Este experimento tuvo como fin conocer el comportamiento de un circuito integrado, constituido por un conjunto de "FLIP-FLOP" unidos en series, de modo tal que la información almacenada en un "FLIP-FLOP", era transmitida al siguiente por medio de un generador de pulsos, y así sucesivamente.

EXPERIMENTO N° 34

Mediante este experimento se verificó la conversión de un sistema decimal a un sistema analógico haciendo uso de un amplificador operacional simple.

ANEXO N° 2

FUNCIONES Y ORGANIZACION DEL INSTITUTO SUECO DE
CORROSION

El Instituto Sueco de Corrosión fue creado por la Industria y el gobierno con el fin de combatir la corrosión en Suecia. Sus miembros son el gobierno a través del Consejo Sueco para el desarrollo Tecnológico, y la fundación para la investigación tecnológica en corrosión (un grupo de empresas industriales y asociaciones de comercio). El ingreso a esta fundación está abierto a través de una suscripción que conlleva un aporte económico anual.

En 1965 una decisión gubernamental creó el Instituto, el cual tomó el trabajo que había sido desarrollado desde 1933 por el Comité de Corrosión perteneciente a la Real Academia Sueca de Ingeniería.

El objetivo del Instituto es disminuir las pérdidas económicas ocasionadas por la corrosión en Suecia, contribuir a la conservación de los recursos naturales y mejoras del medio ambiente, y mejorar la seguridad en plantas industriales y construcciones.

Las funciones del Instituto son:

Ejecutar proyectos de investigación y desarrollo e iniciar estas actividades en otros institutos de investigación.

Realizar trabajos de consultoría y prestar servicios de asesoramiento

Divulgar los conocimientos existentes en este campo a través de actividades de información y educación

El Instituto está dividido en cuatro departamentos: Investigación y desarrollo; consultoría, incluyendo el alquiler de las facilidades existentes en las estaciones experimentales; información y educación; y administración. Muchos de los especialistas suecos en corrosión están en contacto con el Instituto a través de un Consejo Técnico, siete comités y cierto número de grupos de trabajo en los proyectos de investigación y desarrollo e información y educación. Algunos suscriptores han formado comités de coordinación para la investigación conjunta con el Instituto.

El Departamento de Investigación y Desarrollo ejecuta Proyectos de Investigación en el campo de la corrosión y su control, para lo cual cuenta con cinco secciones: Corrosión Atmosférica, Corrosión en Líquidos, Protección Electroquímica y Corrosión en Suelos, Recubrimientos Orgánicos y Recubrimientos Inorgánicos. Generalmente los re

sultados de estos proyectos se hacen públicos. Los especialistas de este departamento frecuentemente prestan asistencia en los trabajos de consultoría.

El Departamento de Consultoría lleva a cabo investigaciones y estudios para empresas (estrictamente confidenciales si se solicita), dá asistencia gratuita por teléfono, y es responsable de las estaciones experimentales del Instituto en diferentes tipos de atmósferas, aguas y suelos, las cuales son alquiladas para pruebas experimentales

El Departamento de información y Educación publica informes técnicos, manuales, y divulga los conocimientos existentes en este campo, organiza cursos y conferencias, y brinda un servicio de documentación y literatura técnica en el campo de la corrosión.

El Instituto participa en los trabajos de normalización tanto a nivel nacional como internacional, y lleva a cabo ó coordina programas de cooperación en el campo de la corrosión tanto en Escandinavia como a nivel internacional

La financiación del instituto es a través de un fondo colectivo proveniente del Consejo Sueco para el desarrollo tecnológico y la Fundación para la investigación tecnológica en corrosión, subvención de proyectos, ingresos por

trabajos de consultoría, alquiler de estaciones experimentales, venta de literatura, cursos, etc.

El personal del Instituto está conformado por 30 personas aproximadamente, de las cuales 24 son investigadores y técnicos.

ANEXO N° 3

BIBLIOGRAFIA SOBRE CORROSION ATMOSFERICA

LIBROS

1. "The Corrosion & Oxidation of Metals", Vol. 1, 2 y 3.
by Ulick R. Evans, Edward Arnold Publishers
1960, 1967 y 1976.
2. "Corrosion", Vol. 1 y 2
by L.L. Schreir, Newnes-Butterworths 1976
3. "Handbook on Corrosion Testing & Evaluation"
by William H. Ailor, John Wiley & Sons Inc.
1971
4. "Atmospheric Factors Affecting the Corrosion of Engi
neering Metals"
ASTM Special Technical Publication 646
S.K. Coburn, Ed., American Society for
Testing and Materials, 1978
5. "Corrosion in Natural Enviroments"
ASTM Special Technical Publication 558
American Society for Testing & Materials, 1974
6. "Electrochemical Corrosion Testing"
ASTM Special Technical Publication 727
Florian Mansfeld and Ugo Bertocci, Eds.,
American Society for Testing And Materials,
1981
7. "Metal Corrosion in the Atmosphere"
ASTM Special Technical Publication 435

American Society for Testing & Materials,
1967

8. "Statistics, a New Approach"

by W. Allen Wallis & Harry Roberts
Methuen & Co. Ltd. London, 1962

NORMAS TECNICAS

1. Normas Norteamericanas, ASTM, Parte 10

Norma G1-72. Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion test Specimens, Standard Recomendmen-
ded Practice for.

Norma G16-71. Applying Statistics to Analysis of
Corrosion data, Standard Recommended Practice
for.

Norma G33-72. Recording data from Atmospheric Corrosion test of Metallicoated Steel Specimens,
Recommended Practice for.

Norma G50-76. Atmospheric Corrosion Test on Metals,
Recommended Practice for.

2. Normas Alemanas, DIN

Norma 50917, Parte 1, 1979. Korrosion der Metalle;
Naturversuche; Freiwitterung

3. Normas Japonesas

Norma H0521-1968. Testing Method for Atmospheric
Corrosion of Aluminium and Aluminium Alloys

4. Normas Inglesas. BSI

Norma 1747. Parte 3 y 4, 1969. Methods for the
Measurement of air Polution
Parte 3.-Determination of Sulphur Dioxide
Parte 4.-The Lead Dioxide Method.

Norma PD6484,1979. Commentary on Corrosion at
Bimetallic Contacts and its Alleviation

5. Normas Internacionales ISO

Proyecto de Norma 4542, 1981. Metallic and other non
-Organic Coatings-General Rules for Stationa-
ry Outdoor Exposure Corrosion Tests
Propuesta Alemana ISO/TC 156/WG 3/N/9
Propuesta Polaca ISO/TC 156/WG 3/ Poland-2/10

ARTICULOS TECNICOS

1. "Use of Environmental Data in Atmospheric Corrosion Studies"
by J.F. Stanners, Br. Corros. J., 1970,
Vol. 5, May.
2. "Análisis de la Corrosividad Atmosférica en España mediante Probetas *alambre sobre tornillo*"
por M. Morcillo y S. Felio
Rev. Metal. CENIM Vol. 13 (1977) Número 4
3. "The influence of Sodium Chloride on the Atmospheric Corrosion of Steel"
Einfluß von Natriumchlorid Auf die
Atmosphärische-Korrosion von Stahl"
By R. Ericsson, Werkstoffe und Korrosion 29,
400-403 (1978)
4. "Mechanism of Rusting"
by U.R. Evans, Corrosion Science, 1969, Vol.
9, pp. 813 to 821
5. "Mechanism of Atmospheric Rusting"
by U.R. Evans & C.A.j. Taylor, Corrosion
Science 1972, Vol. 12, pp.227 to 246
6. "Analyses of Some Suggested Mechanisms for Atmospheric Corrosion of Iron in presence of SO₂"
by J.R. Duncan, Werkstoffe und Korrosion 25.
Jahrg, Heft 6/1974

7. "Cleaning of Corroded Test Specimens"
by A.D. Mercer, G. Butler and Gillian M. Warren, Br. Corros. J., 1977, Vol. 12, N°2
8. "Teknisch- ökonomische Auswertung der Korrosionsverluste an Stahlkonstruktionen im Gebiet Nordbohemien"
Von M. Kulis, Werkstoffe und Korrosion 30, 197-205 (1979)
9. "Agresividad Atmosférica y Predicciones de Corrosión"
por Sebastian Feliu, Corrosion y Protección, Enero 1977
10. "Corrosion Investigations at Panama Canal Zone"
by M.A. Pelensky, J.J. Jaworski, and A. Gallaccio ASTM Special Technical Publications (STP646)
11. "Sampling and Analysis of Atmospheric Sulphur Dioxide with the Lead Dioxide Plate (Huey Plate)
by Levadie Benjamin, Journal of Testing & Evaluation, JTEVA, Vol 7, N°2, March 1979, pp. 61-67
12. "Prediction of the Severity of Atmospheric Corrosion by Discriminant Analysis of Local Meteorological Factors"
By R.K. Tripathi, U.S. Agnihotri and J.N. Nanda, Br. Corros. J., 1972, Vol. 7, September
13. "Behaviour of Aluminium during 10 years ' exposure at a Coastal Test Site at Alicante"
by E. Otero, R. Lizarbe and S. Feliu, Br. Corros. J. 1978, Vol. 13, N°2

14. "The Corrosion Rates of Structural Metals in Sea -
Water, Fresh Water and Tropical Atmospheres"
by Charles R. Southwell, Corrosion Science
1969, Vol. 9, pp. 179 to 183
- 15 "Atmospheric Corrosion of Anodised Aluminium Exposed
over a Twelve Year Period in New Zealand"
by F.W. Fahy, Br. Corros.J.,1980,Vol.15,N°4
16. "Atmospheric Corrosion of Stainless Steel of Type
18 Cr-2 Mo-Ti"
by J. Degerbeck, A.Karlsson and G. Berlund,
Br. Corros. J., 1979, Vol. 14, N°4
17. "Passivation Treatment of Al-Brass Tubes for the
Prevention of Atmospheric Corrosion during Storage
and Transport"
by R. Cigna & G. Gusmano, Br. Corros. J.,
1979, Vol. 14, N°4
18. "Tarnishing Behaviour of Copper in Humid Atmospheres"
by S.K. Roy & S.C. Sircar,
Br. Corros. J. 1978, Vol. 13, N°4
19. "Determination of the Instantaneous Rate of
Atmospheric Corrosion"
by J.A. González, Werkstoffe und Korrosion
29,556-560 (1978)
20. "Corrosion Agressivity of Model Regions of
Czechoslovakia"

by Knotkova, Cermakova, Bosek & Vleková, ASTM
Special Technical Publication 558, 1974

21. "The influence of the Relative Humidity and Corrosion products
on the Adsorption of Sulphur Dioxide on Metal Surfaces"
by T. Sydberger and N.G. Vannerberg, Corrosion Science
1972, Vol. 12, pp. 775 to 784
22. "The Control of Humidity by Saturated Salt Solutions"
by F.E.M. O'Brien, J. Scientific Instr.25 (1948)
23. "Practical Experience with an Electrochemical Technique for
Atmospheric Corrosion Testing"
by Kucera Vladimir & Gullman Jan ASTM Special
Technical Publications 727, 1981
24. "Electrochemical Monitoring of Atmospheric Corrosion Phenomena
by F. Mansfeld and J.V. Kenkel, Corrosion Science,1976
Vol. 16, pp. 112 to 122
25. "Electrochemical Technique for Determination of the Instanta-
neous Rate of Atmospheric Corrosion"
by Kucera, V. and Mattsson, E., ASTM Special Tech.
Publication 558, 1974.
26. "Effect of Environmental Factors on the Corrosion of Steels"
by F.j. Egan
Australasian Corrosion Engineering - July 1971
27. "The Durability of Protective Painting of Structural Steel-The
Influence of Surface Preparation According to SIS 055900.
Final Report of Test Series F"
by G. Ekwall & S. Alfort
Swedish Corrosion Institute, KI, Rapport 1977:6

28. "Electrochemical Methods for the Selection of Weathering Steels"
by R. Bruno
15th Seminary Session of CEFA, CEBELCOR
December 14, 1973
29. "The SOx Report Part III" A model for Estimating Costs due to
Atmospheric Corrosion Damage"
by V. Kucera, J. Gullman & P. Swartling Swedish Corr.
Inst, K.I. Rapport 51292
30. "Atmospheric Corrosion of Bimetallic Structures"
by V. Kucera & E. Mattsson
Swedish Corrosion Institute
31. "Weathering Steels in Building Contexts Survey of Typical
Cases of Corrosion Damage and Their Prevention"
Swedish Corrosion Institute
32. "Economic Effects of Metallic Corrosion in the United States"
by L.H. Bennett, J. Kruger, R. L. Parker, E.
Passaglia, C. Reimann, A.W. Ruff, H. Yakowitz , and
E.B. Berman Paper Nr. 209 Corrosion/79, March 12-16
1979
33. "Conductor Systems for Overhead Lines: Some Considerations
in Their Selection. Discussion
D.O. Ash, P. Dey, O. Gaylord and R.R. Gibbon
Bicc Ltd. IEE Proc. C., Gener. Transm. Distrib. May
1980, 127 (3), 206-209
34. "Conductor Systems for Overhead Lines: Some Considerations
in Their Selection"
D.O. Ash, P. Dey, O. Gaybord and R.R. Gibbon
Bicc Ltd. Proc. Inst. Electr.Eng. April 1979
126, (4), 333-341

35. "Corrosion and Dry-Core Conductors"
D.W. Paddon, and J. Barnes-Alcan New Zealand
Elect. Times, 13 June 1980 (4568), 3
36. "South Western Electricity Board Fights Overhead Line
Corrosion"
E.J. North, Electr.Rev., 4 Jan 1980,206(1) 24-26
37. "The Influence of Manufacturing Process on the Corrosion of
Aluminium Alloy Overhead Lines "
W.B. R. Moore, Paper from EUROCOR 77,'6th European
Congress on Metallic Corrosion'', Society of
Chemical Industry, London 1977,647-654
38. "Overhead-Line Practice"
E.H. Cox. Proc. Inst. Electr.Eng., Oct.1975, 122
(10R),1009-1017; Dec. 1976, 123 (12), 1343-1348
39. "Distribution Engineering and The Forces of Nature"
W.G. Hawley, Elect. Rev., 10 Sept. 1971, 189 (11)
370-372
40. "The Influence of Salt-Spray Corrosion on the Mechanical
Strength of Aluminum and Aluminum Alloy Overhead Line
Conductors"
W.B.R. Moore, R.D. Naybour and J.F. Waddkington
Electricity Council Research Centre Rep. R 60
(Job N°606), Capenhurst, Cheshire, Feb. 1969--34 p.

ANEXO N°4

VISITA A LAS ESTACIONES EXPERIMENTALES DEL
INSTITUTO SUECO DE CORROSION

El Instituto Sueco de Corrosión tiene estaciones experimentales en diversas localidades de Suecia, en donde se estudia el comportamiento de los metales en la atmósfera.

El suscrito tuvo la oportunidad de visitar las estaciones experimentales de Bohus-Malmon y Stockholm Vana - dis, la primera de las cuales está localizada en la isla de Bohus-Malmon y es representativa de una atmósfera marina, con paneles de exposición distribuidos a diferentes distancias de la costa; mientras que la segunda se encuentra ubicada en la zona urbana de Estocolmo.

En ambas estaciones se pudo apreciar los paneles empleados para la exposición de especímenes en la atmósfera, siendo los materiales ensayados:

Acero al carbono

Aceros Cortén A y B

Aceros Atmofix A y B

Zinc

Aluminio

Cobre

Acero al carbono recubierto con pintura para automóviles.

Asimismo, con la técnica "Wire-on-bolt" se trabaja con pares galvánicos aluminio/acero al carbono.

En lo referente a los instrumentos empleados para el registro de los parámetros que influyen en la corrosión atmosférica de los metales, se pudo observar los siguientes equipos:

Higrómetros (para el registro de la temperatura y humedad relativa en la estación)

Equipo para la determinación cuantitativa de dióxido de azufre en la atmósfera

Dispositivos para la recolección de cloruros en la atmósfera (tipo "wet candle")

Dispositivos para la recolección de agua de lluvia

Finalmente, se pudo apreciar en funcionamiento las celdas electrolíticas empleadas para la determinación de la velocidad instantánea de corrosión en la atmósfera.

Se viene trabajando con celdas de acero al carbono, acero tipo cortén y aleaciones de aluminio.

Esta técnica se encuentra aún en etapa de experimentación, si bien el Instituto Sueco de Corrosión ha logrado significativos avances en este campo

ANEXO N° 5

METODOS DE EVALUACION DE ESPECIMENES METALICOS

CORROIDOS

1. FOTOGRAFIADO

La plancha metálica corroída deberá ser fotografiada, tan pronto como sea posible, una vez que ha sido desmontada del panel.

2. PROCEDIMIENTOS DE DECAPADO (Tratamiento Químico)

2.1. HIERROS, FUNDICIONES Y ACEROS COMUNES

Inmersión en la solución de Clarke (HCl 20%, 0.5% Sn Cl_2) por 10 minutos. Durante este período es necesario cepillar la plancha (por ambos lados) con un cepillo de plástico, la Solución deberá estar a temperatura ambiente.

Enjuague, secado y pesada de acuerdo a 3.1.

El procedimiento antes descrito se repite tres veces.

2.2. COBRE

Inmersión en una solución de ácido sulfúrico al 10% (en volumen) por 10 min. Durante este período es necesario cepillar la plancha (por ambos lados) con un cepillo de plástico, la solución deberá estar a temperatura ambiente.

Enjuague, secado y pesada de acuerdo a 3.1.

El procedimiento antes descrito se repite tres veces.

2.3. ALUMINIO

Inmersión en una solución de ácido nítrico concentrado saturada con óxido crómico (CrO_3) durante una hora, la solución deberá estar a temperatura ambiente.

Enjuague, secado y pesada de acuerdo a 3.1.

El procedimiento antes descrito se repite tres veces.

2.4. ZINC

Se emplea dos planchas para cada método.

2.4.1. Primer Método

Inmersión en una solución de ácido

acético al 5% por 10 minutos. Durante este período es necesario cepillar la plancha (por ambos lados) con un cepillo de plástico, la solución deberá estar a temperatura ambiente.

* Enjuague, secado y pesada de acuerdo a 3.1.

El procedimiento antes descrito se repite tres veces.

2.4.2. Segundo Método

Inmersión en una solución de 200 grs de CrO_3 y 1 gr BaCrO_4 por 1 lt de agua destilada, durante 5 minutos, la temperatura de la solución es 80°C .

Enjuague, secado y pesada de acuerdo a 3.1.

El procedimiento antes descrito se repite tres veces.

3. NOTAS ADICIONALES

3.1. El enjuague de los especímenes inmersos en las soluciones de decapado comprende una inmersión rápida en agua potable y el enjuague

de los mismos bajo un chorro de agua potable. Luego se sumerge las planchas en alcohol desnaturalizado por 10 segundos aproximadamente. Inmediatamente después se seca las planchas con un secador portátil y finalmente se pesan, durante el secado y pesada se deberá usar gantes de tela a fin de no engrasar los especímenes.

- 3.2. El análisis de regresión lineal de los datos obtenidos (pérdida de peso del espécimen v.s. tiempo total de limpieza química) permitirá obtener la velocidad de corrosión promedio del espécimen evaluado (Ver Apéndice A2 de la Norma Técnica ASTM Parte 10/G1-72)

- 3.3. El sistema de identificación de las planchas, mostrado en la fig. N° 1 es muy práctico y es posible implementarlo sin mayores problemas. Las dimensiones más adecuadas para las planchas son 15 cms de largo por 10 cms de ancho. Cada orificio es de 2 mm de diámetro aproximadamente, y la distancia entre los centros de dos orificios consecutivos es de cm aproximadamente, tanto horizontal como verticalmente.

ANEXO N°6

PROGRAMA DE CALCULO PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE
CORROSION PROMEDIO EN LA ATMOSFERA

RESUMEN

El presente programa, denominado "PICKLE", ha sido elaborado con el fin de tratar estadísticamente los datos registrados durante la limpieza química (decapado) de especímenes metálicos corroídos (según Norma ASTM G1 - Apéndice A.2), y obtener de esta manera la velocidad de corrosión promedio para un período de exposición determinado.

El programa ha sido escrito en lenguaje BASIC modificado, para ser procesado en la micro Computadora Hewlett-Packard 85. La capacidad máxima del programa es de 15 pares de datos por espécimen evaluado.

Una vez finalizado el programa se obtendrán los siguientes parámetros:

Ecuación de la línea de regresión de los datos
ingresados al programa

Error estandar de estimación

Coeficiente de correlación

Pérdida de peso del espécimen (debido a la corrosión)

Velocidad de corrosión promedio del espécimen

Intervalo de confianza para una nueva observación.

COMENTARIOS SOBRE EL PROGRAMA

Al inicio del programa se introducen los siguientes datos (desde el tablero), tipo de material del espécimen evaluado, su código, peso inicial, área total, densidad y tiempo de exposición. Seguidamente ingresan los datos registrados durante la limpieza química (tiempo de decapado, como variable independiente v.s. pérdida de peso del espécimen, como variable dependiente). Una vez ingresados todos los datos, la variable independiente es ordenada en forma ascendente a fin de poder graficar en la pantalla el diagrama Pérdida de peso v.s. tiempo de decapado con todos los datos almacenados.

Con el gráfico en la pantalla se puede decidir la eliminación de uno ó más puntos del conjunto de datos, de modo tal que sólo los puntos remanentes serán tomados en cuenta para el cálculo de la línea de regresión.

Hecha la elección, se calcula la pendiente y el intercepto de la línea de regresión mediante el método de

mínimos cuadrados, asimismo el error estandar de estimación, intervalo de confianza de la pendiente y el coeficiente de correlación.

Posteriormente se calcula la pérdida de peso del espécimen (debido a la corrosión) así como la velocidad de corrosión promedio del espécimen para el período de exposición considerado.

Finalmente, se calcula el intervalo de confianza para una nueva observación, y se grafica en la pantalla y el impresor los parámetros antes mencionados así como el gráfico Pérdida de peso del espécimen v.s. tiempo de decapado conjuntamente con la línea de regresión. A continuación se presenta el listado del programa.

```

5 REM #PICKLING TESTS PROGRAM#
10 OPTION BASE 1
15 DIM X(15),Y(15),Z(15),M#(45)
20 DISP "MATERIAL";
25 INPUT M$
30 DISP "SPECIMEN NUMBER";
35 INPUT M1
40 DISP "INITIAL WEIGHT,(GRS)";
45 INPUT W
50 DISP "TOTAL AREA,(M2)";
55 INPUT A1
60 DISP "DENSITY,(GR/CM3)";
65 INPUT D1
70 DISP "EXPOSURE TIME,(YRS)";
75 INPUT T

75 INPUT T
80 DISP "NUMBER OF POINTS";
85 INPUT N
100 PRINT USING 105 ; M$,M1
105 IMAGE /,"MATERIAL: ",45A,/, "
SPECIMEN NUMBER:",4D
110 PRINT USING 115 ; W,A1
115 IMAGE "INITIAL WEIGHT:",2X,3
D.5D," GRS",/, "TOTAL AREA:",8X,2
.5D," M2"
120 PRINT USING 125 ; D1,T
125 IMAGE "SPECIMEN DENSITY:",X,
2D.2D," GR/CM3",/, "EXPOSURE TIME
:",5X,2.4D," YEARS",2/
130 PRINT USING 135

135 IMAGE 5X,"I",5X,"X(I)",6X,"Y
(I)",/
140 FOR I=1 TO N
145 DISP "X( ; I ; )"; "Y( ; I ; )";
150 INPUT X(I),Y(I)
155 Y(I)=W-Y(I) @ Z(I)=Y(I)
160 PRINT USING 165 ; I,X(I),Y(I)

165 IMAGE 4X,2D,5X,3D,5X,DZ.5D
170 NEXT I
175 K1=N-1
180 FOR I=1 TO K1
185 K2=I+1
190 FOR J=K2 TO N
195 IF Z(I)<Z(J) THEN 205

200 T1=Z(I) @ Z(I)=Z(J) @ Z(J)=T
1
205 NEXT J
210 NEXT I
215 D2=X(N)/10 @ G1=X(1)-5.5*D2
220 G2=X(N)+D2
225 D4=2*D2 @ N1=0 @ X2=X(1)
230 D3=(Z(N)-Z(1))/10 @ X3=X(N)
235 H1=Y(1)-2*D3 @ H4=Y(N)+D3
240 H2=Y(N)+1.5*D3 @ H3=Y(1)-D3
245 GCLEAR
250 SCALE G1,G2,H1,H2
255 XAXIS H3,DZ,0,X(N)
260 YAXIS 0,D3,H3,H4
265 GOSUB 1000

```

```

270 GOSUB 2000
275 PAUSE
280 ALPHA
285 DISP "ANY POINT TO BE
ATED (Y/N)";
290 INPUT A2$
295 IF A2$="Y" THEN GOSUB
300 IF A2$="Y" THEN 315
305 PRINT USING 310
310 IMAGE /,3X,"NO POINTS
ELIMINATED"
315 N2=N-N1 @ C=0 @ D=0 @
320 F=0 @ G=0
325 FOR I=1 TO N2
330 C=C+X(I) @ D=D+Y(I)

335 E=E+X(I)^2 @ F=F+Y(I)^2
340 G=G+X(I)*Y(I)
345 NEXT I
350 B1=G-C*D/N2 @ B2=E-C^2/N2
355 B3=F-D^2/N2 @ B=B1/B2
360 A=(D-B*C)/N2
365 PRINT USING 370 ; A,B
370 IMAGE /,6X,"EQUATION OF THE
LINE",/,X,"Y=",DZ.10D,SZ.10D,"X
"
375 A2=A/A1 @ A3=A2/T
380 A5=A2/(D1*T)
385 S1=SQR((B3-B*B1)/(N2-2))
390 S2=S1/SQR(B2)
395 R=B1/SQR(B2*B3)

395 R=B1/SQR(B2*B3)
400 PRINT USING 405 ; S1,S2,R
405 IMAGE /,"STANDARD ERROR:",2X
,Z.10D,/, "SLOPE INTERVAL:",2X,2.
10D,/, "CORRELATION COEF:",2.10D
410 PRINT USING 415 ; A
415 IMAGE "WEIGHT LOSS:",4X,DZ.9
D," GRS",/
420 PRINT USING 425 ; A2,A3,A5
425 IMAGE "CORROSION RATE:",/,8X
,3D.8D," GR/M2",/,8X,3D.8D," GR/
M2-YR",/,9X,DZ.9D," MICRON/YR"
430 DISP "X VALUE";
435 INPUT X1
440 IF X1=-1 THEN 465

445 S4=S1*SQR((N2+1)/N2+(X1-C/N2
)^2/B2) @ S5=S4/A1
450 PRINT USING 455 ; X1,S5
455 IMAGE /,X,"INTERV. FOR A NTH
OBSERVATION IN GR/M2,WHEN X=",2D
,/,7X,"Sa=",Z.10D
460 GOTO 430
465 PRINT USING 470
470 IMAGE /
475 Y2=A+B*X2 @ Y3=C+D*X3
480 GRAPH
485 MOVE X2,Y2
490 DRAW X3,Y3
495 COPY
500 STOP

```

```

1000 REM *LABEL X-AXIS*
1005 LDIA 0
1010 FOR J=0 TO X(N) STEP 04
1015 L5=J-2*02/5 @ MOVE L5,H1
1020 LABEL VAL$(J) @ NEXT J
1025 REM *LABEL Y-AXIS*
1030 FOR K=H3 TO H4 STEP 03
1035 L=K-03/5 @ MOVE G1,L
1040 LABEL VAL$(K) @ NEXT K
1045 REM *LABEL THE PLOT*
1050 L6=X(1)-02 @ MOVE L6,Y(N)
1055 LABEL "PLATE NR."&VAL$(M1)
1060 RETURN
2000 REM *PLOT SQUARE*
2005 FOR I=1 TO N

2005 FOR I=1 TO N
2010 MOVE X(I),Y(I)
2015 L1=02/12 @ L2=03/10
2020 L3=2*L2 @ L4=2*L1
2025 IMOVE -L1,L2
2030 IDRAW L4,0 @ IDRAW 0,-L3
2035 IDRAW -L4,0 @ IDRAW 0,L3
2040 NEXT I
2045 RETURN
3000 REM *POINTS ELIMINATED WILL
BE SETTLED EQUAL TO ZERO*
3005 DISP "NR.OF POINTS TO BE EL
IMINATED";
3010 INPUT N1
3015 FOR I=1 TO N

3020 DISP "X(";I;")";"Y(";I;")";
"WILL BE ELIMINATED (Y/N)";
- 3025 INPUT A3$
3030 IF A3$="N" THEN 3050
3035 X(I)=0 @ Y(I)=0
3040 PRINT USING 3045 ; I
3045 IMAGE /,X,"POINT NUMBER ".2
- 0," WAS ELIMINATED"
3050 NEXT I
3055 REM *DESCENT SORT*
3060 K1=N-1
3065 FOR I=1 TO K1
3070 K2=I+1
3075 FOR J=K2 TO N
3080 IF X(I)>X(J) THEN 3100

3050 NEXT I
3055 REM *DESCENT SORT*
3060 K1=N-1
3065 FOR I=1 TO K1
3070 K2=I+1
3075 FOR J=K2 TO N
3080 IF X(I)>X(J) THEN 3100
3085 T1=X(I) @ T2=Y(I)
3090 X(I)=X(J) @ Y(I)=Y(J)
3095 X(J)=T1 @ Y(J)=T2
3100 NEXT J
3105 NEXT I
3110 RETURN
3115 END
26262

```


ANEXO N° 7

PROGRAMA DE CALCULO PARA OBTENER LOS PARAMETROS
DE UNA ECUACION REPRESENTATIVA DE LA VELOCIDAD
DE CORROSION ATMOSFERICA DEL ACERO EN FUNCION
DEL TIEMPO

RESUMEN

El presente programa denominado "CORHYP", ha sido elaborado con el fin de obtener los parámetros de un modelo matemático que ha sido propuesto para representar la velocidad de corrosión atmosférica de aceros en función del tiempo de exposición.

Los parámetros así obtenidos serán válidos sólo para el tipo de acero y atmósfera de donde fueron obtenidos los datos experimentales.

El programa ha sido escrito en lenguaje BASIC modificado, para ser procesado en la microcomputadora Hewlett-Packard 85. La capacidad máxima del programa es de 20 pares de datos por espécimen evaluado.

Una vez finalizado el programa se obtendrá:

Los parámetros de la ecuación del modelo matemático.

El grado de precisión de la ecuación

Los tiempos de exposición en la atmósfera así como las velocidades de corrosión observadas en la práctica y aquéllas calculadas mediante la ecuación del modelo matemático.

COMENTARIOS SOBRE EL PROGRAMA

Al inicio del programa se introduce a la computadora el tipo de material ensayado y la estación de prueba en la cual se efectuó el ensayo.

Seguidamente ingresan los datos registrados durante los ensayos de exposición atmosférica (tiempo de exposición en la atmósfera como variable independiente vs. velocidad de corrosión promedio como variable dependiente)

Una vez ingresados todos los datos, el programa procede a calcular los parámetros de la ecuación del modelo matemático mediante el método de iteración que a continuación se describe.

La ecuación sugerida para representar la velocidad de corrosión atmosférica de aceros en función del tiempo de exposición, tiene la siguiente forma:

$$K = A(1 - \exp(-T/B)) + C.T. \quad (1)$$

donde:

K = velocidad de corrosión, en gr/m^2

T = tiempo de exposición, en años

A, B y C son parámetros de la ecuación.

La ecuación (1) puede transformarse en:

$$K = A + C.T - A (\exp(-T/B)) \dots\dots\dots(2)$$

En base a la experiencia acumulada en el campo de la corrosión atmosférica se sabe que para períodos prolongados de exposición, la velocidad de corrosión atmosférica se aproxima a una línea recta, en estas condiciones:

$$A (\exp(-T/B)) \longrightarrow 0 \dots\dots\dots(3)$$

con lo cual la ecuación (2) se convierte en:

$$K = A' + C' . T \dots\dots\dots(4)$$

Los parámetros A y C están representados por A' y C' respectivamente, debido a que sus valores son sólo una primera aproximación a los valores reales de dichos parámetros.

Asumiendo que se ha haya introducido " n " pares de datos, los valores de A' y C' se calculan fácilmente a partir de los dos últimos pares de datos. Así,

$$C' = \frac{K_n - K_{n-1}}{T_n - T_{n-1}} \dots\dots\dots(5)$$

y

$$A' = K_n - C' \cdot T_n \dots\dots\dots(6)$$

Por otro lado, la ecuación (1) puede ser transformada en:

$$K - C \cdot T = A (1 - \exp(-T/B)) \dots\dots\dots(7)$$

de donde:

$$1 - \left(\frac{K - C \cdot T}{A}\right) = \exp(-T/B) \dots\dots\dots(8)$$

tomando logaritmos:

$$- T/B = \ln \left(\frac{A + C \cdot T - K}{A}\right) \dots\dots\dots(9)$$

ó lo que es lo mismo:

$$B = \frac{T}{\ln \left(\frac{A}{A + C \cdot T - K}\right)} \dots\dots\dots(10)$$

Con los valores de A' y C', se determina un conjunto de valores de B (para cada punto experimental) en base a la ecuación (10), es decir,

$$B_i = \frac{T_i}{\ln \left(\frac{A'}{A' + C' \cdot T_i - K_i}\right)} \dots\dots\dots(11)$$

Estos valores serán computados sólo si A'+C'.Ti-Ki es mayor que cero. Una vez calculados estos valores, es posible calcular el promedio ponderado de B para el pe -

río completo. La ecuación para calcular este valor es

$$B = \frac{\sum (\exp(-T_i/B_i) \cdot B_i)}{\sum (\exp(-T_i/B_i))} \dots\dots\dots (12)$$

Como A' y B ya son valores conocidos, es posible a hora reemplazarlos en el tercer término de la ecuación (2) que anteriormente se asumió igual a cero. De esta manera la ecuación (2) se transforma en:

$$K = A + C \cdot T - A' \cdot \exp(-T/B) \dots\dots\dots (13)$$

Reareglando:

$$K + A' \cdot \exp(-T/B) = A + C \cdot T \dots\dots\dots (14)$$

Sea:

$$K1 = K + A' \cdot \exp(-T/B) \dots\dots\dots (15)$$

Por lo tanto:

$$K1 = A + C \cdot T \dots\dots\dots (16)$$

La ecuación (16) es la de una línea recta que puede ser ajustada mediante el análisis de regresión lineal (método de mínimos cuadrados), obteniéndose los valores de A y C . Dichos valores son comparados con los obtenidos como primera aproximación (ecuaciones (5) y (6), y sí el error relativo es mayor que un valor pre definido (0.01) se vuelve a repetir el ciclo a partir de la ecuación 10 hasta que el error relativo sea menor que 0.01

con la cual concluye el programa, imprimiéndose los parámetros de la ecuación, tiempos de exposición y velocidades de corrosión observadas y calculadas, así como el grado de precisión de la ecuación y el número de iteraciones necesarias para obtener la convergencia.

Finalmente, se imprime la curva de la ecuación obtenida conjuntamente los datos experimentales obtenidos.

A continuación se presenta el listado del programa así como los resultados obtenidos.

```

5 REM *CORROSION RATE PROGRAM*
10 DIM T(20),K(20),B1(20),K1(20)
  ,A2(20),S1(20),S2(20),K2(20),M#C
45]
15 DISP "MATERIAL";
20 INPUT M$
25 DISP "TEST SITE";
30 INPUT M1$
35 DISP "NUMBER OF POINTS";
40 INPUT N
45 PRINT USING 50 ; M$
50 IMAGE "MATERIAL: ",45A
55 PRINT USING 60 ; M1$
60 IMAGE "TEST SITE: ",18A,2/
65 B3=0 @ J=0 @ S3=0 @ S4=0

70 FOR I=1 TO N
75 DISP "T(";I;")"; "K(";I;")";
80 INPUT T(I),K(I)
85 NEXT I
90 C1=(K(N)-K(N-1))/(T(N)-T(N-1)
) @ A1=K(N)-C1*T(N)
95 FOR I=1 TO N
100 A2(I)=A1+C1*T(I)-K(I)
105 IF A2(I)>0 THEN 120
110 B1(I)=0 @ S1(I)=0 @ S2(I)=0
115 GOTO 130
120 B1(I)=T(I)/LOG(A1/A2(I))
125 S1(I)=B1(I)*EXP(-T(I)/B1(I))
  @ S2(I)=EXP(-T(I)/B1(I))
130 NEXT I

135 FOR I=1 TO N
140 S3=S3+S1(I) @ S4=S4+S2(I)
145 NEXT I
145 IF S4=0 THEN 152
150 B2=S3/S4
151 GOTO 155
152 B2=9.999999999999999E499
155 C=0 @ D=0 @ E=0 @ F=0 @ G=0
160 FOR I=1 TO N
165 K1(I)=K(I)+A1*EXP(-T(I)/B2)
170 C=C+T(I) @ D=D+K1(I)
175 E=E+T(I)^2 @ F=F+K1(I)^2
180 G=G+T(I)*K1(I)
185 NEXT I
190 X1=G-C*D/N @ X2=E-C^2/N

195 X3=F-D^2/N @ B=X1/X2
200 A=(D-B*C)/N
205 X4=ABS((A-A1)/A)
210 X5=ABS((B-C1)/B)
215 X6=ABS((B2-B3)/B2)
220 X7=MAX(X4,X5) @ R1=0
225 X8=MAX(X6,X7) @ R2=0
230 IF X8<=.01 THEN 250
235 J=J+1 @ A1=A @ B3=B2 @ C1=B
240 IF J>19 THEN 250
245 GOTO 95
250 PRINT USING 255
255 IMAGE 10X,"THE EQUATION:",/,
2X,"K(I)=A+C*T(I)-A*EXP(-T(I)/B)
",/,5X,"HAS THESE PARAMETERS:"

```

```

260 PRINT USING 265 ; A,B2,B
265 IMAGE 5X,"A= ",S2.9DE,/,
B= ",S2.9DE,/,5X,"C= ",S2.9DE
270 PRINT USING 275
275 IMAGE /,"EXPOSURE",5X,"CORRO
SION RATE",/,X,"(YRS.)",9X,"(G/G
/M2)",/
280 PRINT USING 285
285 IMAGE 9X,"OBSERVED",5X,"CALC
ULATED", "TIME",6X,"VALUES",8X,"V
ALUES",/
290 FOR I=1 TO N
295 K2(I)=A+B*T(I)-A*EXP(-T(I)/B
2) @ R1=R1+ABS(K(I)-K2(I))
296 R2=R2+ABS(K(I))

300 PRINT USING 305 ; T(I),K(I),
K2(I)
305 IMAGE X,DZ.D,7X,4D.D,7X,4D.D

310 NEXT I
311 R=R1/R2
315 PRINT USING 320 ; R
320 IMAGE /,"THE EQUATION'S DEGR
EE OF FIT IS:",8X,Z.9DE
325 PRINT USING 330 ; J
330 IMAGE /,4X,"NUMBER OF ITERAT
IONS: ",3D,2/
345 D3=K(N)/10 @ G3=CEIL(T(N))
350 G2=G3+1. @ H2=K(N)+D3/2
355 GCLEAR.

360 SCALE -2.5,G2,-D3,H2
365 XAXIS 0,1,0,G3
370 YAXIS 0,D3,0,K(N)
375 GOSUB 1000
380 GOSUB 2000
385 MOVE 0,0
390 FOR U=0 TO T(N) STEP .01
395 K3=A+B*U-A*EXP(-U/B2)
400 DRAW U,K3
405 NEXT U
410 COPY
415 STOP
1000 REM *LABEL X-AXIS*
1005 LDIR 0
1010 G4=FP(G3/2)

1015 IF G4=0 THEN 1045
1020 FOR Q=0 TO G3-3 STEP 2
1025 L5=Q-1/5 @ MOVE L5,-D3
1030 LABEL VAL$(Q) @ NEXT Q
1035 MOVE G3-.2,D3
1040 LABEL VAL$(G3) @ GOTO 1060
1045 FOR Q=0 TO G3 STEP 2
1050 L5=Q-1/5 @ MOVE L5,-D3
1055 LABEL VAL$(Q) @ NEXT Q
1060 REM *LABEL Y-AXIS*
1065 FOR P=0 TO K(N) STEP D3
1070 L6=P-D3/5 @ MOVE -2.5,L6
1075 LABEL VAL$(P) @ NEXT P
1080 RETURN
2000 REM *PLOT SQUARE*
2005 FOR I=1 TO N
2010 MOVE T(I),K(I)
2015 L1=1/15 @ L2=D3/12
2020 L3=2*L2 @ L4=2*L1
2025 IMOVE -L1,L2
2030 IDRAW L4,0 @ IDRAW L4,0
2035 IDRAW -L4,0 @ IDRAW L4,0
2040 NEXT I
2045 RETURN
2050 END

```

MATERIAL: Fe

TEST SITE: DOMNARVET

THE EQUATION:

$$K(I) = A + C * T(I) - A * \exp(-T(I)/B)$$

HAS THESE PARAMETERS:

A = +1.102905928E+003

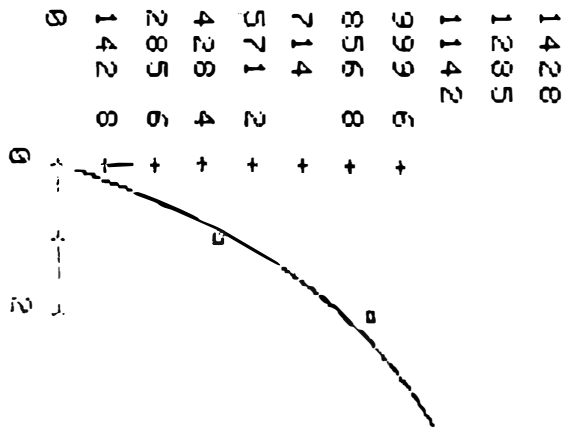
B = +1.751120334E+000

C = +4.192545922E+001

EXPOSURE (YRS.)	CORROSION RATE (GRS/M2)	
	OBSERVED VALUES	CALCULATED VALUES
1	473.0	521.8
2	914.0	834.8
4	1130.0	1158.3
8	1428.0	1426.9

THE EQUATION'S DEGREE OF FIT IS:
3.989985807E-002

NUMBER OF ITERATIONS: 19



MATERIAL: Fe

TEST SITE: STOCKHOLM. VANADIS

THE EQUATION:

$$K(I) = A + C * T(I) - A * \exp(-T(I)/B)$$

HAS THESE PARAMETERS:

A = +8.960144297E+002

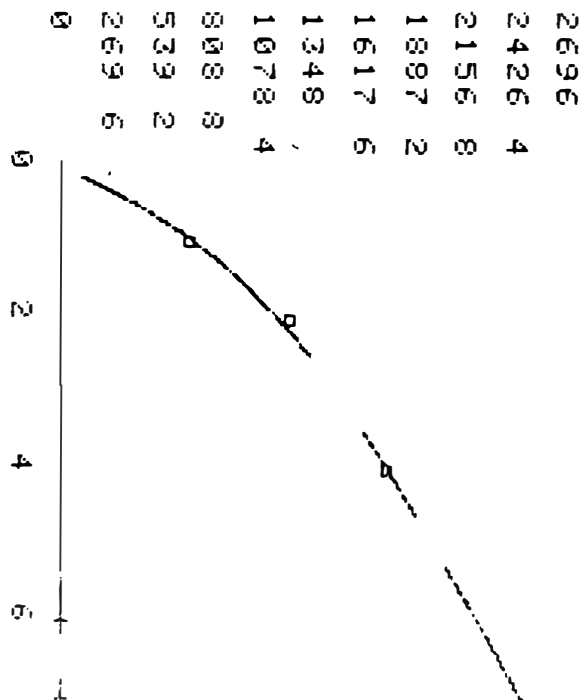
B = +1.216350868E+000

C = +2.251570656E+002

EXPOSURE (YRS.)	CORROSION RATE (GRS/M2)	
	OBSERVED VALUES	CALCULATED VALUES
1	695.0	727.4
2	1227.0	1173.3
4	1746.0	1763.2
8	2696.0	2696.0

THE EQUATION'S DEGREE OF FIT IS:
1.624085299E-002

NUMBER OF ITERATIONS: 5



MATERIAL: Fe

TEST SITE: BOHUS MALMO 1

THE EQUATION:

$$K(I) = A + C * T(I) - A * \exp(-T(I)/B)$$

HAS THESE PARAMETERS:

A = +2.143959657E+003

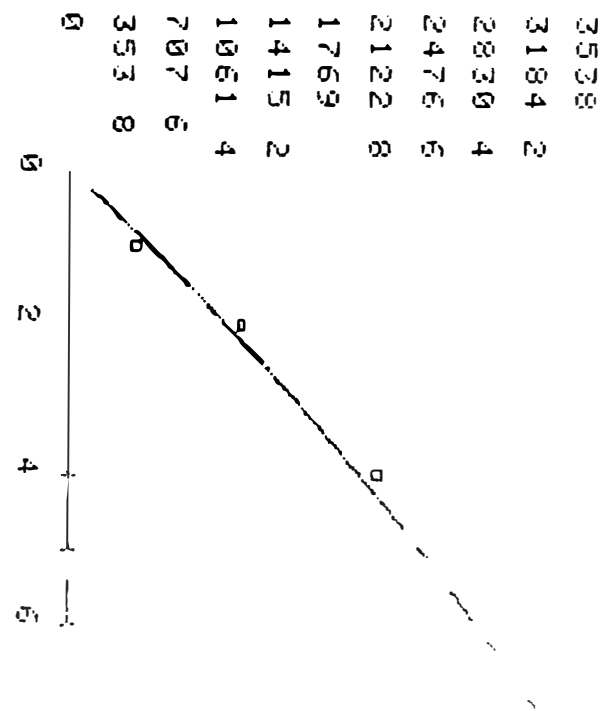
B = +6.296966424E+000

C = +2.552229824E+002

EXPOSURE (YRS.)	CORROSION RATE (GRS/M2)	
	OBSERVED VALUES	CALCULATED VALUES
1	472.0	570.0
2	1200.0	1093.9
4	2151.0	2028.9
8	3538.0	3583.9

THE EQUATION'S DEGREE OF FIT IS:
5.055888528E-002

NUMBER OF ITERATIONS: 20



MATERIAL: COR-TEN A Enbart varmv
als
TEST SITE: DOMNARVET

MATERIAL: COR-TEN A Enbart varmv
vals
TEST SITE: STOCKHOLM. VANADIS

MATERIAL: COR-TEN A Enbart ve
vals
TEST SITE: BOHUS MALMO 1

THE EQUATION:
 $K(I) = A + C * T(I) - A * \exp(-T(I)/B)$
HAS THESE PARAMETERS:
A = +3.489339082E+002
B = +1.100276720E+000
C = +4.996395931E+001

THE EQUATION:
 $K(I) = A + C * T(I) - A * \exp(-T(I)/B)$
HAS THESE PARAMETERS:
A = +4.406979934E+002
B = +1.350395206E+000
C = +6.410873605E+001

THE EQUATION:
 $K(I) = A + C * T(I) - A * \exp(-T(I)/B)$
HAS THESE PARAMETERS:
A = +3.212650823E+002
B = +1.046053712E+000
C = +3.787592728E+001

EXPOSURE (YRS.)	CORROSION RATE (GRS/M2)	
	OBSERVED VALUES	CALCULATED VALUES
1	265.0	258.3
2	380.0	392.2
4	547.0	539.6
8	747.0	748.4

EXPOSURE (YRS.)	CORROSION RATE (GRS/M2)	
	OBSERVED VALUES	CALCULATED VALUES
1	287.0	294.7
2	473.0	468.7
4	686.0	674.3
8	947.0	952.4

EXPOSURE (YRS.)	CORROSION RATE (GRS/M2)	
	OBSERVED VALUES	CALCULATE VALUES
1	228.0	235.6
2	360.0	349.5
4	465.0	465.8
8	623.0	624.1

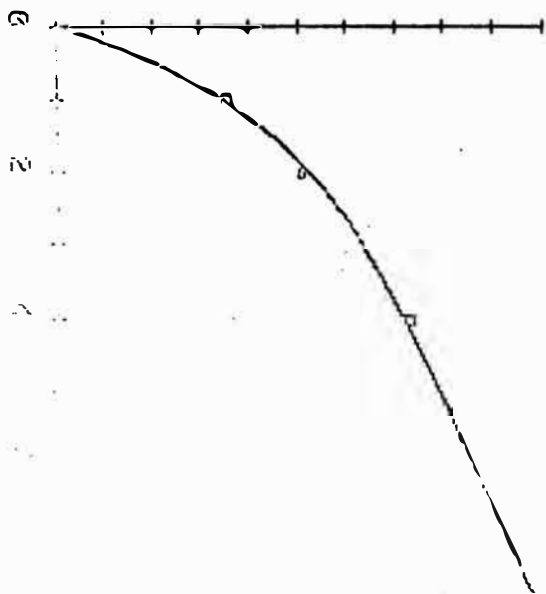
THE EQUATION'S DEGREE OF FIT IS:
1.430036255E-002

THE EQUATION'S DEGREE OF FIT IS:
1.211779086E-002

THE EQUATION'S DEGREE OF FIT IS:
1.191465490E-002

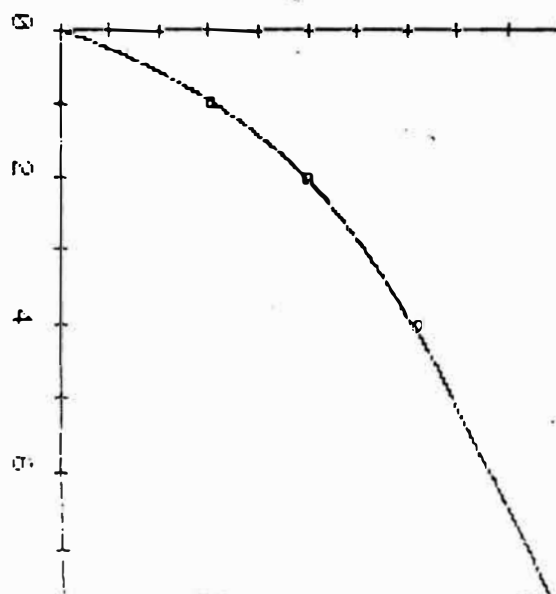
NUMBER OF ITERATIONS: 1

0	74.7	149.4	224.1	298.8	373.5	448.2	522.9	597.6	672.3	747
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----



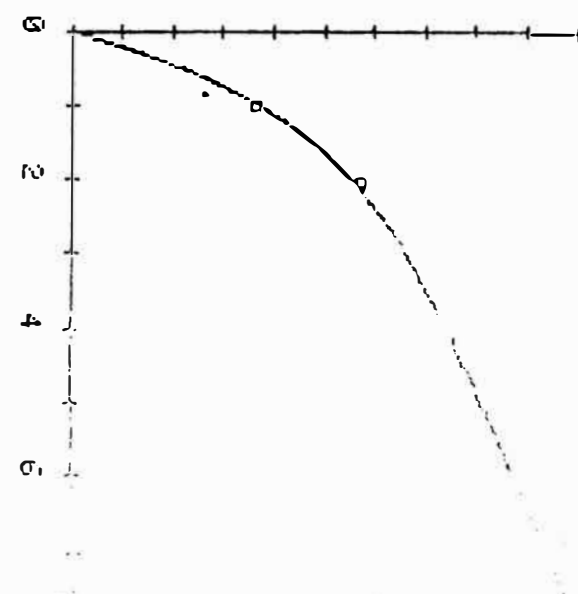
NUMBER OF ITERATIONS: 2

0	94.7	189.4	284.1	378.8	473.5	568.2	662.9	757.6	852.3	947
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----



NUMBER OF ITERATIONS: 3

0	62.3	124.6	186.9	249.2	311.5	373.8	436.1	498.4	560.7	623
---	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-----



MATERIAL: COR-TEN B Enbart varmv
als
TEST SITE: DOMNARVET

MATERIAL: COR-TEN B Enbart varmv
vals
TEST SITE: STOCKHOLM. VANADIS

MATERIAL: COR-TEN B Enbart var
vals
TEST SITE: BOHUS MALMO 1

THE EQUATION:
 $K(I) = A + C * T(I) - A * \exp(-T(I)/B)$
HAS THESE PARAMETERS:
A = +5.267137314E+002
B = +1.552620027E+000
C = +4.381634807E+001

THE EQUATION:
 $K(I) = A + C * T(I) - A * \exp(-T(I)/B)$
HAS THESE PARAMETERS:
A = +3.512193155E+002
B = +1.055844709E+000
C = +1.074720210E+002

THE EQUATION:
 $K(I) = A + C * T(I) - A * \exp(-T(I)/B)$
HAS THESE PARAMETERS:
A = +2.777315958E+002
B = +0.136710808E-001
C = +4.858318752E+001

EXPOSURE (YRS.)	CORROSION RATE (GRS/M2)	
	OBSERVED VALUES	CALCULATED VALUES
1	286.0	293.9
2	468.0	469.1
4	682.0	661.9
8	866.0	874.2

EXPOSURE (YRS.)	CORROSION RATE (GRS/M2)	
	OBSERVED VALUES	CALCULATED VALUES
1	312.0	322.5
2	531.0	513.3
4	767.0	773.2
8	1211.0	1210.8

EXPOSURE (YRS.)	CORROSION RATE (GRS/M2)	
	OBSERVED VALUES	CALCULATED VALUES
1	241.0	245.1
2	361.0	351.1
4	463.0	470.0
8	668.0	666.4

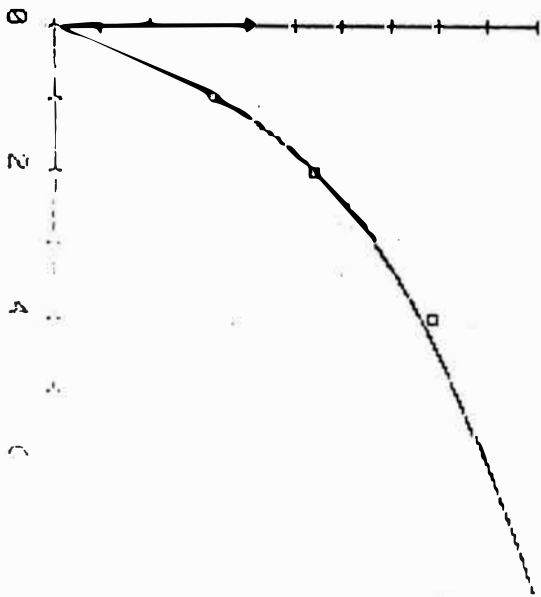
THE EQUATION'S DEGREE OF FIT IS:
1.620036272E-002

THE EQUATION'S DEGREE OF FIT IS:
1.222374053E-002

THE EQUATION'S DEGREE OF FIT IS:
1.302882214E-002

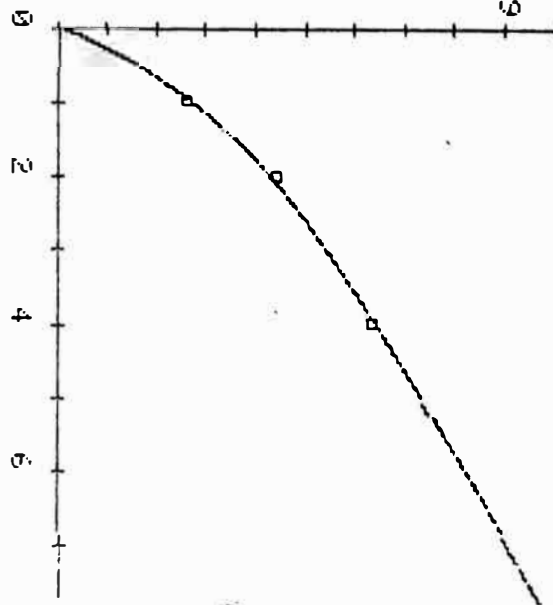
NUMBER OF ITERATIONS: 4

0	86.6	666
1	173.2	779.4
2	259.8	692.8
3	346.4	606.2
4	433	519.6



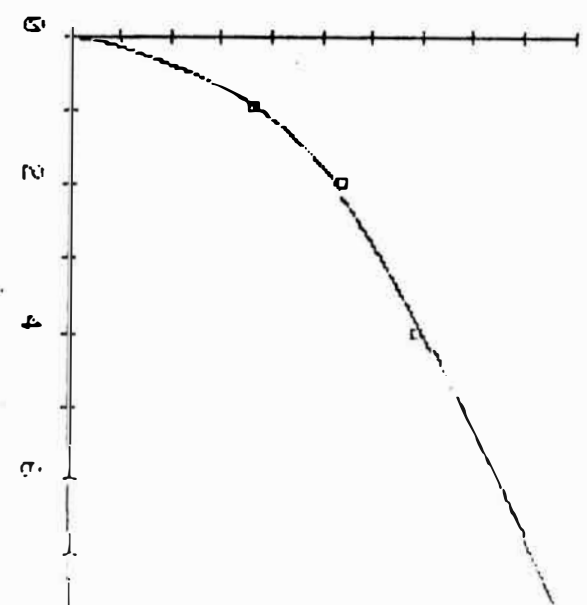
NUMBER OF ITERATIONS: 4

0	121.1	1211
1	242.2	1089.9
2	363.3	968.8
3	484.4	847.7
4	605.5	726.6



NUMBER OF ITERATIONS: 5

0	56.8	668
1	113.6	534.4
2	170.4	467.0
3	227.2	400.0
4	284	334



ANEXO N° 8

PROGRAMA DE CALCULO PARA DETERMINAR LA CORRELACION
EXISTENTE ENTRE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL
ESTUDIO DE LA CORROSION ATMOSFERICA

RESUMEN

El presente programa denominado "FINAL", ha sido elaborado con el fin de determinar la correlación existente en las diversas variables que intervienen en el estudio de la corrosión atmosférica, empleándose el análisis de regresión lineal como herramienta para determinar el grado de correlación existente entre el par de variables involucradas.

Para la obtención de los coeficientes de correlación se empleó un conjunto de datos experimentales recolectados por el Instituto Sueco de Corrosión, durante 24 meses, con un total de 16 parámetros para especímenes de zinc y acero al carbono.

El programa ha sido escrito en lenguaje BASIC modificado para ser procesado en la microcomputadora Hewlett Packard 85, y una vez finalizado el mismo se obtiene la

la matriz con los coeficientes de correlación existentes entre las 16 variables involucradas,

COMENTARIOS SOBRE EL PROGRAMA

Al inicio del programa se introduce a la computadora la matriz de 24 x 16 elementos correspondiente a los valores de las 16 variables registradas durante los 24 meses de exposición. Seguidamente se inicia el cálculo del coeficiente de correlación de cada variable con cada una de las quince restantes, obteniéndose como resultado una matriz de 16 x 16 elementos constituidos por todos los coeficientes antes mencionados. De dicha matriz se extraen aquellos coeficientes que se aproximen más a la unidad, ya que en este caso existe una relación lineal ó casi lineal entre las variables involucradas.

Las variables incluidas en el programa son las siguientes:

WLFe : pérdida de peso de especímenes de acero al carbono, en g./m².

WLZn : pérdida de peso de especímenes de zinc, en g/m²

twFe : tiempo de humectación medido con integrador y celdas electrolíticas de acero, en horas.

- Q_{Fe} : integral de la intensidad de corriente a través de las celdas de acero, en mA
- Q_{Zn} : integral de la intensidad de corriente a través de las celdas de zinc, en mA
- RH : humedad relativa promedio, en porcentaje
- Prec. : Precipitación pluvial, en mm
- T_m : Temperatura promedio, en °C
- $t_{T<0}$: Período con temperaturas por debajo de 0°C, en horas
- t_r : período de lluvia, en horas
- S_c : concentración promedio de SO_2 , en $\mu g/m^3$
- S_p : contaminación promedio de partículas de Sulfato (calculadas como SO_2), en $\mu g/m^3$
- S_f : deposición de SO_2 sobre placas de filtrate, en $mg/m^2.d$
- S_{pb} : deposición de SO_2 sobre placas de PbO_2 , en $mg/m^2.d$.
- t_{tot} : período total de exposición mensual, en horas.

A continuación se presenta el listado del programa así como los resultados obtenidos.

```

5 OPTION BASE 1
10 DIM B(24,16),A(16,16)
15 ASSIGN# 1 TO "SVUOM"
20 READ# 1,1 ; B(,)
25 FOR J=1 TO 16
30 FOR K=1 TO 16
35 C=0 @ D=0 @ E=0 @ F=0 @ M=0 @
   G=0
40 FOR I=1 TO 24
44 IF B(I,K)>89000 THEN 65
45 IF B(I,J)>89000 THEN 65
46 M=M+1
50 C=C+B(I,J) @ D=D+B(I,J)^2
55 E=E+B(I,K) @ F=F+B(I,K)^2
60 G=G+B(I,J)*B(I,K)

65 NEXT I
66 DISP M
70 A(J,K)=(G-C*E/M)/SQR((D-C^2/M)
)*(F-E^2/M))
75 NEXT K
80 NEXT J
85 FOR I=1 TO 16
90 PRINT USING 160 ; A(I,1),A(I,
2),A(I,3),A(I,4),A(I,5)
95 NEXT I
100 PRINT USING 170
105 FOR I=1 TO 16
110 PRINT USING 160 ; A(I,6),A(I
,7),A(I,8),A(I,9),A(I,10)
115 NEXT I

120 PRINT USING 170
125 FOR I=1 TO 16
130 PRINT USING 160 ; A(I,11),A(
I,12),A(I,13),A(I,14),A(I,15)
135 NEXT I
140 PRINT USING 170
145 FOR I=1 TO 16
150 PRINT USING 165 ; A(I,16)
155 NEXT I
160 IMAGE 5(X,MD.20)
165 IMAGE X,MD.20
170 IMAGE 5/
175 STOP
180 END
23946

```

```
5 OPTION BASE 1
10 DIM B(24,16)
15 FOR I=1 TO 24
16 N=0
20 FOR J=1 TO 16
25 READ B(I,J)
30 NEXT J
35 NEXT I
40 CREATE "SVUOM",1,3100
45 ASSIGN# 1 TO "SVUOM"
55 PRINT# 1,1 ; B(,)
65 ASSIGN# 1 TO *
70 DATA 15.5,1.03,90000,90000,34
.92,309,67,48.8,15.6,0,48.7,14.2
,2.52,12,90000,696
```

```
75 DATA 24.4,2.11,64.44,1785,18.
71,244,65.5,58.4,15.7,0,59.8,12.
8,1.84,16.3,90000,744
80 DATA 27.2,2.98,98.39,2255,28.
65,314,74.4,101.3,15.6,0,77.6,12
.1,2.3,22.6,90000,744
85 DATA 32.8,5.68,96.67,2373,112
.5,1600,79,95.3,10,28,93.9,13.4,
1,29.7,22,768
90 DATA 42.2,1.11,64.55,3337,45.
6,459,76.8,21.7,7.1,108,41,34,1.
56,50.6,45,720
95 DATA 33.8,1.68,57.82,3339,87.
02,1261,76,38.9,5.3,214,47.6,8.
16,53.4,54,720
```

```
100 DATA 15.8,2.34,27.89,532,900
00,90000,84,20.3,-5.3,744,14.6,4
9.5,2.64,73.1,66,768
105 DATA 14.8,2.26,5.53,170,9000
0,90000,85.8,67,-6.3,734,0,35.6,
3.14,64,76,744
110 DATA 13.6,1.73,3.24,138,32.5
8,284,78.8,6.3,-5.4,600,.6,69,3.
92,74.6,104,672
115 DATA 42.4,3.45,108.12,7228,1
08,76,1241,79.6,28.8,-3,452,48.
8,32.6,.44,51.8,64,744
120 DATA 36.5,3.79,99.99,3148,89
.81,283,71.2,42.4,3.6,162,85,30.
2,2.56,47.1,53,720
```

```
125 DATA 28.6,1.1,25.04,3175,40.
49,448,67,45.9,11,8,61.9,28,5.22
,25.8,16,720
130 DATA 14.2,1.31,26.28,1217,25
.04,261,61.5,70.1,17.4,0,33.8,10
.9,2.06,18.8,90000,744
135 DATA 19.2,2.07,73.53,1899,55
.13,5036,76.5,121.7,17.8,0,85.5,
2.72,13,90000,744
140 DATA 29.7,1.03,66.44,2136,13
.05,144,70,71.4,16.2,0,41.8,23,5
.8,8.9,90000,768
145 DATA 29.5,2.69,63.02,3115,42
.44,379,77,36.7,11.8,0,62.4,18.5
,1.62,23,8,27,696
```

```
150 DATA 32.1,1.63,134.37,7084,6
1.31,628,81.6,20.9,5.8,42,59.4,3
3.2,3.04,90000,37,816
155 DATA 35.8,2.09,106.13,3750,1
54.36,1305,83.6,96.4,3.3,60,163.
1,33.6,2.84,90000,50,672
160 DATA 25.9,2.17,82.17,3271,90
000,90000,85.4,13.4,-1.1,429,61.
3,52.6,1.88,36.9,63,722
165 DATA 20.9,2.07,55.4,3041,900
00,90000,84,3.2,-3.9,757,28.4,19
.9,3.22,60.3,54,794
170 DATA 23.5,2.26,90000,90000,6
5.26,1486,84.2,1.5,-5.4,568,13.3
,74.2,6,68.8,51,672
```

```
9,3.22,60.3,54,794
170 DATA 23.5,2.26,90000,90000,6
5.26,1486,84.2,1.5,-5.4,568,13.3
,74.2,6,68.8,51,672
175 DATA 29.5,1.96,75.42,2892,29
5.53,1746,77.4,13.1,-2.3,534,33.
7,42.6,7.08,70.1,48,696
180 DATA 28.2,1.18,90000,90000,9
0000,90000,73.4,43.2,5.6,38,69.3
,32.2,4.96,40.9,34,816
185 DATA 19.1,1.35,47.6,1382,29.
14,266,62.5,13.4,9,6,38.7,90000,
3.16,35.9,33,672
190 END
23837
```

Correlation matrix. The correlation coefficients are calculated from data of as many months as possible from the two years monthly exposure.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
WL Fe	WL Zn	tw Fe	Q Fe	tw Zn	Q Zn	RH	Prec	T _m	t<0	tr	S _c	S _p	S _f	S _{Pb}	t _{tot}
1.00	.30	.71	.76	.37	-.03	.13	.02	.04	-.28	.50	-.10	-.17	-.02	-.41	.07
.30	1.00	.42	.12	.27		.32	.26	-.13	.10	.30	-.08	-.38	.09	-.07	.08
.71	.42	1.00	.77	.34	.19	.18	.20	.20	-.38	.68	-.23	-.24	-.30	-.38	.25
.76	.12	.77	1.00	.27	.03	.20	-.17	-.01	-.19	.37	-.08	-.19	-.06	-.33	.27
.37	.27	.34	.27	1.00	.33	.44	-.11	-.52	.47	.22	.21	.27	.53	.02	-.18
.03	.19	.19	.03	.33	1.00	.38	.41	.01	.10	.26	-.17	-.19	.00	-.05	.06
.13	.32	.18	.20	.44	.38	1.00	.19	-.74	.67	-.04	.53	-.03	.65	.49	.11
.02	.26	.20	-.17	-.11	.41	-.19	1.00	.63	-.54	.60	-.66	-.32	-.67	-.30	.15
.04	-.13	.20	-.01	-.52	.01	-.74	.63	1.00	-.90	.41	-.78	-.26	-.94	-.82	.11
-.28	.10	-.38	-.19	.47	.10	.67	-.54	-.90	1.00	-.60	.63	.21	.87	.74	-.03
.50	.30	.68	.37	.22	.26	-.04	.60	.41	-.60	1.00	-.41	-.28	-.64	-.47	-.00
-.10	-.08	-.23	-.08	.21	-.17	.53	-.66	-.78	.63	-.41	1.00	.51	.72	.57	-.34
-.17	-.38	-.24	-.19	.27	-.19	.03	-.32	-.26	.21	-.28	.51	1.00	.25	-.05	-.09
-.02	.09	-.30	-.06	.53	.00	.65	-.67	-.94	.87	-.64	.72	.25	1.00	.77	-.16
-.41	.07	-.38	-.33	.02	-.05	.49	-.30	-.82	.74	-.47	.57	-.05	.77	1.00	-.19
.07	.08	.25	.27	-.18	.06	.11	.15	.11	-.03	-.00	-.34	-.09	-.16	-.19	1.00

Parameters included in correlation analysis of monthly values.

Mån	1 WL Fe	2 WL Zn	3 tw Fe	4 Q Fe	5 tw Zn	6 Q Zn	7 Rh	8 Prec	9 T _m	10 t _{T<0}	11 tr ⁺	12 S _c	13 S _p	14 S _f	15 S _{pb}	τ _{tot}
78-06	15.5	1.03	-	-	34.92	309	67.0	48.8	15.6	0	48.7	14.2	2.52	12.0	<10	696
-07	24.4	2.11	64.44	1785	18.71	244	65.5	58.4	15.7	0	59.8	12.8	1.84	16.3	<10	744
-08	27.2	2.98	98.39	2255	28.65	314	74.4	101.3	15.6	0	77.6	12.1	2.30	22.6	<10	744
-09	32.8	5.68	96.67	2373	112.50	1600	79.0	95.3	10.0	28	93.9	13.4	1.00	29.7	22	768
-10	42.2	1.11	64.55	3337	45.60	459	76.8	21.7	7.1	108	41.0	34.0	1.56	50.6	45	720
-11	33.8	1.68	57.82	3339	87.02	1261	76.0	38.9	5.3	214	47.6	█	█	53.4	54	720
-12	15.8	2.34	27.89	532	(500.33	92606) ^x	84.0	20.3	-5.3	744	14.6	49.5	2.64	73.1	66	768
79-01	14.8	2.26	5.53	170	(142.30	6814) ^x	85.8	67.0	-6.3	734	0	35.6	3.14	64.0	76	744
-02	13.6	1.73	3.24	138	32.58	284	78.8	6.3	-5.4	600	0.6	69.0	3.92	74.6	104	672
-03	42.4	3.45	108.12	7228	108.76	1241	79.6	28.8	-0.3	452	48.8	32.6	0.44	51.8	64	744
-04	36.5	3.79	99.99	3148	89.81	283	71.2	42.4	3.6	162	85.0	30.2	2.56	47.1	53	720
-05	28.6	1.10	55.04	3175	40.49	448	67.0	45.9	11.0	8	61.9	28.0	5.22	25.8	16	720
-06	14.2	1.31	26.28	1217	25.04	261	61.5	70.1 ⁺	17.4	0	33.8	10.9	2.06	18.8	<10	744
-07	19.2	2.07	73.53	1899	55.13	5036	76.5	121.7 ⁺	17.8	0	85.5	2.0	0.72	13.0	<10	744
-08	29.7	1.03	66.44	2136	13.05	144	70.0	71.4 ⁺	16.2	0	41.8	23.0	5.80	8.9	<10	768
-09	29.5	2.69	63.02	3115	42.44	379	77.0	36.7 ⁺	11.8	0	62.4	18.5	1.62	23.8	27	696
-10	32.1	1.63	134.37	7084	61.31	628	81.6	20.9 ⁺	5.8	42	59.4	33.2	3.04	-	37	816
-11	35.8	2.09	106.13	375D	154.36	1305	83.6	96.4 ⁺	3.3	60	163.1	33.6	2.84	-	50	672
-12	25.9	2.17	82.17	3271	(375.67	15797) ^x	85.4	13.4 ⁺	-1.1	429	61.3	52.6	1.88	36.9	63	722
80-01	20.9	2.07	55.40	3041	(512.84	12355) ^x	84.0	3.2 ⁺	-3.9	757	28.4	19.9	3.22	60.3	54	794
-02	23.5	2.26	-	-	65.26	1486	84.2	1.5 ⁺	-5.4	568	13.3	74.2	6.00	68.8	51	672
-03	29.5	1.96	75.42	2892	295.53	1746	77.4	13.1 ⁺	-2.3	534	33.7	42.6	7.08	70.1	48	696
-04	28.2	1.18	-	-	-	-	73.4	43.2 ⁺	5.6	38	69.3	32.2	4.96	40.9	34	816
-05	19.1	1.35	47.60	1382	29.14	266	62.5	13.4 ⁺	9.0	6	38.7	-	3.16	35.9	33	672

x) Short circuit effect

†) Stockholm Bromma

ANEXO N° 9

BIBLIOGRAFIA SOBRE TECNICAS ELECTROQUIMICAS
PARA LA MEDICION DE LA CORROSION

LIBROS

1. "Corrosion", Vol. 1 y 2
by L.L. Schreir, Newnes.-Butterworths
1976
2. "Potentiostat & its applications"
by J.A.Von Fraunhofer & C.H.Banks
Butterworth & Co(Publishers)Ltd.,1972
3. "Operational Amplifiers in Chemical Instrumentation"
by Robert Kalvoda
Ellis Horwood Limited (Publishers,1975
Halsted Press. A division of John Wiley
& Sons, Inc.
4. "Electrochemical Techniques for Corrosion"
R. Baboian - Editor
NACE Publication, 1977
5. "Application of Electrochemical Polarization

to Corrosion Problems"

by R.L. Martin Petrolite Corporation

6. "Interfacial Electrochemistry"

An Experimental approach

by E. Gileadi, E. Kirowa-Eisner, J.

Penciner

Addison-Wesley Publishing Company, Ltd

1975

7. "Korrosions Tabeller for Rostfria Stal

Jernkontoret 1979-P.O.Box 1721 S-11187

Stockholm ISBN 91-970365-0-1

8. "Atlas of Electrochemical Equilibria in

Aqueous Solutions"

by Marcel Pourbaix, 1974 CEBELCOR

Centre Belge d'Etude de la Corrosion

NORMAS TECNICAS NORTEAMERICANAS

ASTM G3 - 68

Recommended Practice for Conventions Applicable
to Electrochemical Measurements in Corrosion Tes-
ting.

ASTM G5-69

Recommended Practice for Standard Reference Method
for Making Potentiostatic & Potentiodynamic Anodic
Polarization Measurements.

ASTM G59-78

Standard Practice for

Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance

Measurements

ARTICULOS TECNICOS

1. "The Electrochemical Behavior, including hydrogen overvoltage, of Iron in Acid Environments"
by Milton Stern p.609
J. of the Electrochem Soc. Vol.102,N°11
November 1955
2. "Electrochemical Polarization-I.A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves"
by M. Stern & A.L. Geary p. 56
J. of the Electrochem. Soc.Vol.104,N°1,
January 1957
3. "Anodic Behavior of Iron in Acid Solutions
by Milton Stern & Richard M. Roth p.390
J. of the Electrochem. Soc. Vol.104, N°6,
June 1957
4. "Electrochem. Polarization -II.Ferrous-Ferric Electrode Kinetics of Stainless Steels"
by Milton Stern p.559
J. of the Electroch.Soc.Vol.104,N°9, Sept.57
5. "The Relation Between Pitting Corrosion & the Ferrous-Ferric Oxidation-Reduction Kinetics on Passive Surfaces"

by M. Stern, Ibid, Vol.104,N°10, p.600
Oct. 1957

6. "Electrochemical Polarization - III. Further Aspects of the Shape of Polarization Curves"
by M. Stern Ibid, Vol.104, N°11, p. 645
Nov. 1957
7. "Surface Area Relationships in Polarization and Corrosion"
by M. Stern
Corrosion Vol.14, 329 t, July 1958
8. "A Method for Determining Corrosion Rates from Linear Polarization.Data"
by M. Stern Ibid Vol. 14, 440t, Sept. 1958
9. "Linear Corrosion Kinetics"
by Sydney Barnartt
Corrosion Science, 1969, Vol. 9. pp. 145 to 156
10. "Two-Point and Three-Point Methods for the Investigation of Electrode Reaction Mechanisms"
by S. Barnartt
Electrochimica Acta, 1970, Vol.15, p.p. 1313 to 1324
11. "Tafel Slopes for Iron Corrosion in Acidic Solut."

by S. Barnartt

Corrosion Vol.27, N°11, Nov. 1971, p.467

12. "Corrosion Kinetics of Iron in Acid Sulfate Solutions"

by S. Barnartt

J. Electrochem. Soc. : Electrochemical

Science & Technology Vol. 119, N°7. p.812

July 1972

13. "Linear Corrosion Kinetics at Dual Electrodes"

by S. Barnartt Corrosion Vol.31, N°5, p.164

May 1975

14. "A modification of Stern-Geary Linear Polarization Equation"

by Florian Mansfeld & Keith Oldham

Corrosion Science, 1971, Vol. 11, pp.787-796

15. "On the So-Called Linear Polarization Method for Measurement of Corrosion Rates"

by Keith Oldham & Florian Mansfeld

Corrosion, Vol. 27, N°10, Oct.1971, p.434

16. "Simultaneous Determination of Instantaneous Corrosion Rates and Tafel Slopes from Polarization Resistance Measurements"

by F. Mansfeld

J. of the Electroch. Soc.:Electrochemical
Science and Technology, Vol.120, N°4, April
1973, p. 515

17. "Corrosion Rates from Polarization Curves: A
New Method"
by Keith Oldham & Florian Mansfeld
Corrosion Science, 1973, Vol. 13. pp.813 to
819
18. "Tafel Slopes and Corrosion Rates from Polariza
tion Resistance Measurements"
by F. Mansfeld
Corrosion Vol 29, N°10, Oct.1973, p.397
19. "Some Errors in Linear Polarization Measurements
and their Correction"
by F. Mansfeld
Corrosion Vol.30, N°3, March 1974, p. 92
20. "The effect of Uncompensated IR-drop on Polari
zation Resistance Measurements"
by F. Mansfeld Corrosion, Vol.32, N°4,
April 1976, p.143
21. "An Evaluation of Polarization Resistance Mea-
surements"
by F. Mansfeld Werkstoffe und Korrosion

28, 6-11 (1977) p.6.

22. "Effect of Oxygen on the Active Passive Behavior of Stainless Steels"
by Norbert Green
J. of the Electrochem. Soc., Vol. 107, N°5
May 1960 , pp.457

23. "Predicting Behavior of Corrosion Resistant Alloys by Potentiostatic Polarization Methods"
by N. Greene
Corrosion, Vol. 18, 136 t, April 1962

24. "Comparision of Potentiostatic Anodic Polarization Methods"
by N. Greene & R. Leonard
Electrochemica Acta, 1964, Vol. 9. pp.45 to 54

25. "Electrode Mounting for Potentiostatic Anodic Polarization Studies" by N. Greene, W. France & B. Wilde
Corrosion Vol. 21, N°9, Sept. 1965, p.275

26. "Theoretical Basis for the Determination of Corrosion Rates from Polarization Resistance"
by E. Heitz and W. Schwenk
British Corrosion Journal, 1976, Vol. 11, N°2. p. 74.

27. "Technique and Instrumentation for Polarization Resistance Measurements"
by J. Moreland & J. Rowland Br. Corr.J.,
1977, Vol. 12, N°2, p. 72

28. "Corrosion Monitoring Using Polarization Resistance Measurements"
I. Techniques & Correlations Br. Corros. J.
1976, Vol 11, N°3, p. 123

29. "Corrosion Monitoring Using Polarization Resistance Measurements" II. Sources of Error"
Br. Corros. J., 1976, Vol. 11, N°3, p. 133

30. "Evaluation of Corrosion-Resistant Steels Using Potentiostatic Polarization Curves"
by Milan Prazak
Corrosion, Vol. 19, N°3, March 1963, p.75t

31. "The Polarization Resistance Method for Corrosion Testing"
by M. Prazak Werkstoffe und Korrosion 25
Jahrg Heft 2/1974, p. 104.

32. "The Estimation of Corrosion Velocity by Measuring Polarization Resistance"
by M. Prazak & K. Barton
Corrosion Science, 1967 Vol. 7, pp.159

33. "The Range of Validity of the Linear Polarization Method for Measurement of Corrosion Rates"
by Rodney LeRoy Corrosion Vol 29, N°7
July 1973, p. 272

34. "Evaluation of Corrosion Rates from Polarization Measurements"
by Rodney LeRoy
Corrosion Vol.31,N°5, May 1975, p.173

35. "Evaluation of Corrosion Rates from Nonlinear Polarization Data"
by Rodney LeRoy
J. of the Electrochem.Soc.: Electrochemical Science and Technology Vol. 124, N° 7, July 1977 p. 1006

36. "Analysis of Errors in Measuring Corrosion Rates by Linear Polarization"
by R. Bandy & D. Jones Corrosion, Vol. 32, N°4, April 1976, p. 127

37. "Improved Method for Measuring Corrosion Rate with dual Electrodes"
by R. Bandy & D. Jones Br.
Corrosion.J.,1979,Vol.14,N°4, p.202

38. "The Simultaneous Determination of Tafel

Constants and Corrosion Rate-A new Method"

by R. Bandy, Corros. Science, Vol.20,1980
p. 1017

39. "A four-point Method for Corrosion Rate Determination"

by J. Jankowski & R. Juchniewicz Corrosion
Science, Vol.20, 1980, p. 841.

40. "Practical Experiences with linear Polarization Measurements"

by R.H. Hansler, Corrosion, Vol. 33, N°4
April 1977, p. 117

41. "Simultaneous Correction of the IR Potential Drop during Potentiostatic Polarization Measurements"

by P. Doig & P. Flemitt
Br. Corros. J., 1976, Vol. 11, N°2, p. 78

42. "Determination of Tafel Slopes and Corrosion Rates from Cathodic Polarization Curves: A Graphical Method" by S. Roy & S. Surcar
Br. Corros. J., 1978, Vol. 13, N°4, p. 193

43. "Application of Polarization Resistance Measurements to the Determination of Corrosion

Mechanisms''

by J. DeFrancy

Br. Corros. J., 1977, Vol.12, N°4, p.228

44. "Specific Problems in the Practical Measurement of Corrosion Rate with the Polarization Resistance Method in Water Systems in presence and Absence of Inhibitions''

by J. Mieluch, A. Szyprowski and A. Tulinski

Institute of Industrial Chemistry, 01-793

Warsaw, Poland)

45. "Determination de la Vitesse Instantanee de Corrosion par la Mesure de la Resistance de Polarization, ou de Corrodance''

by Antoine Pourbaix

Rapport Technique Cebelcor. Rt.219, March 1974

46. "A review of Electrochemical Corrosion Fundamentals''

by Thaddeus M. Muzyczko

Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., Vol.17, N°2, 1978

p. 169

47. "The Stern-Geary Method. Basic Difficulties and Limitations and a Simple Extension Providing Improved Reliability''

by J. Reeve & G. Bech-Nielsen

Corrosion Science, 1973, Vol.13, pp.351 to 359

48. "Applications of Electrochemistry in Corrosion Science and in Practice"
by Marcel Pourbaix Rapport Technique
CEBELCOR RT. 205

49. "A Versatile Polarization Cell System"
by R. Geisert, N. Greene & V. Agarwala
Corrosion, Vol. 32, N°10, Oct. 1976, p.407

50. "Predicting Corrosion Rates with the Potentiostat"
by P. Morris & R. Scabury.

ANEXO N° 10

Los ensayos de polarización anódica y catódica se efectuaron en especímenes de acero al carbono inmersos en agua potable aereada y deareada.

Las muestras cilíndricas de acero al carbono (electrodo de trabajo), fueron encapsuladas en resina acrílica, quedando en contacto con el electrolito solo el área circular transversal igual a 1cm^2 , que constituyó el área del electrodo de trabajo.

Posteriormente dichos especímenes recibieron un pulido mecánico en húmedo (hasta malla 400 con papel de carbono de silicio) y un desengrasado con tetracloruro de carbono, como tratamiento previo a las pruebas de polarización.

Como contraelectrodo se empleó alambre de platino enrollado a lo largo de un anillo de vidrio Pyrex, mientras que como electrodo de referencia se empleó electrodos de calomel saturado.

En lo referente a los equipos, se trabajó con un Potenciostato/Galvanostato marca Princeton Applied Research modelo 173 conjuntamente con el módulo convertidor del Lo

garitmo de intensidad de corriente modelo 376. El generador de barrido fue marca Wenking modelo VSG 72 y el registrador X -Y marca Houston modelo RE0074. En la Tabla N°1 se detallan características adicionales de los ensayos, mientras que en las figuras N°2 y 3 se muestran los resultados obtenidos.

T A B L A N°1

DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
	Electrolito	Temperat. (°C)	Gas de Purga	Velocidad de Rastreo (mV/S)	Potencial de Corros. (mV.)	Compensación por caída ohmica
Figura N°2 Curvas A y B	Agua potable aereada	21+ <u>1</u>	Ninguno	0.5	-540(ECS)	NO
Figura N°2 Curva C	Agua potable aereada	21+ <u>1</u>	Ninguno	0.5	-520(ECS)	SI
Figura N°3 Curvas A y B	Agua potable aereada	21+ <u>1</u>	Nitrógeno	0.5	-584(ECS)	SI
Figura N°3 Curva C	"	21+ <u>1</u>	Argón	0.5	-590(ECS)	SI
Figura N°3 Curva D	"	21+ <u>1</u>	Argón	0.5	-560(ECS)	SI
Figura N°3 Curvas E y F	"	21+ <u>1</u>	Argón	0.5	-590(ECS)	SI

ANEXO N° 11

Los ensayos de polarización anódica y catódica se efectuaron en especímenes de acero al carbono inmersos en agua potable deaerada y soluciones de cloruro sódico a diversas concentraciones. En ambos sistemas se observó el efecto de la adición de nitrito de sodio como inhibidor de la corrosión.

Las muestras cilíndricas de acero al carbono (electrodo de trabajo), fueron encapsuladas en resina acrílica, quedando en contacto con el electrolito sólo el área circular transversal igual a 1cm^2 , que constituyó el área del electrodo de trabajo.

Posteriormente dichos especímenes recibieron un pulido mecánico en húmedo (hasta malla 400 con papel de carburo de silicio) y un desengrasado con tetracloruro de carbono, como tratamiento previo a las pruebas de polarización.

Como contraelectrodo se empleó alambre de platino enrollado a lo largo de un anillo de vidrio pyrex, mientras que como electrodo de referencia se empleó electrodos de calomel saturado.

En lo referente a los equipos, se trabajó con un Potenciostato/Galvanostato marca Princeton Applied Research modelo 173 conjuntamente con el módulo convertidor del logaritmo de intensidad de corriente modelo 376. El generador de barrido fue marca Wenking modelo VSG-72 y el registrador X-Y marca Houston modelo RE0074. En la tabla N°2 se detallan características adicionales de los ensayos, mientras que en las figuras N°s 4, 5 y 6 se muestran los resultados.

T A B L A N° 2

DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
	ELECTROLITO	Temperatura (°C)	Gas de Purga	Velocidad de Rastreo (mV./S.)	Potencial de Corrosión (mV.)	Compensación por caída Ohmica
Figura N°4, Curvas A y B	Agua potable, deaerada	21+ 1	Argón	0.5	-580 (ECS)	SI
Figura N°4, Curva C	Agua pot.d.+500p.p.m.NO ₂ ⁻	21+ 1	Argón	0.5	-476 (ECS)	SI
Figura N°4, Curva D	Agua pot.d.+500p.p.m.NO ₂ ⁻	21+ 1	Argón	0.5	-428 (ECS)	SI
Figura N°5, Curva A	300 p.p.m. NaCl	22+ 1	Argón	0.5	-648 (ECS)	SI
Figura N°5, Curva B	300 p.p.m. NaCl	22+ 1	Argón	0.5	-640 (ECS)	SI
Figura N°5, Curva C	3000 p.p.m. NaCl	22+ 1	Argón	0.5	-656 (ECS)	SI
Figura N°5, Curva D	3000 p.p.m. NaCl	22+ 1	Argón	0.5	-633 (ECS)	SI
Figura N°5, " E	300 ppmNaCl+50 ppm NO ₂ ⁻	22+ 1	Argón	0.5	-586 (ECS)	SI
Figura N°5, " F	300 ppmNaCl+500 ppm NO ₂ ⁻	22+ 1	Argón	0.5	-480 (ECS)	SI
Figura N°5 " G	3000ppmNaCl+500ppmNO ₂ ⁻	22+ 1	Argón	0.5	-476 (ECS)	SI
Figura N°5 " H	3000ppmNaCl+1000ppmNO ₂ ⁻	22+ 1	Argón	0.5	-463 (ECS)	SI
Figura N°5 " I	3000ppmNaCl+2000ppmNO ₂ ⁻	22+ 1	Argón	0.5	-443 (ECS)	SI
Figura N°5 " J	3000ppmNaCl +4000ppmNO ₂ ⁻	22+ 1	Argón	0.5	-346 (ECS)	si
Figura N°6 Curvas A y B	30000ppmNaCl	22+ 1	Argón	0.5	-555 (ECS)	INNECESARIA
Figura N°6, Curva C	30000ppmNaCl + 5000ppmNO ₂ ⁻	22+ 1	Argón	0.5	-439 (ECS)	INNECESARIA
Figura N°6, Curva D	30000ppmNaCl + 10000ppmNO ₂ ⁻	22+ 1	Argón	0.5	-458 (ECS)	INNECESARIA
Figura N°6, Curva E	30000ppmNaCl+30000ppm NO ₂ ⁻	22+ 1	Argón	0.5	-420 (ECS)	INNECESARIA

ANEXO N° 12

Los ensayos de polarización anódica y catódica se efectuaron en tres especímenes de acero inoxidable inmersos en una solución deaerada de ácido sulfúrico 1 N.

Los tipos de acero inoxidable ensayados fueron los siguientes: SS2333, SS2343 y SS2562, cuyas composiciones se dan en la Tabla N° 3.

Las muestras fueron pequeñas chapas rectangulares, las cuales se aislaron eléctricamente por medio de una cinta aislante especial, dejando al descubierto solamente un círculo de 1 cm^2 , que constituyó el área del electrodo de trabajo.

Posteriormente dichos especímenes recibieron un pulido mecánico en húmedo (hasta malla 320 con papel de carburo de silicio) y un desengrasado con tetracloruro de carbono, como tratamiento previo a las pruebas de polarización.

Como contraelectrodo se empleó alambre de platino enrollado a lo largo de un anillo de vidrio Pyrex, mientras que como electrodo de referencia se empleó electrodos de calomel saturado.

En lo referente a los equipos, se trabajó con un Potenciostato/Galvanostato marca Princeton Applied Research modelo 173 conjuntamente con el módulo convertidor del Logaritmo de intensidad de corriente modelo 376. El generador de barrido fue marca Wenking modelo VSG 72 y el registrador X-Y marca Houston modelo RE0074. En la tabla N°4 se detallan características adicionales de los ensayos, mientras que en la figura N°7 se muestra los resultados obtenidos.

T A B L A N° 4

DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
	ELECTROLITO	Temperatura (°C)	Gas de Purga	Velocidad De Rastreo (mV./S.)	Potencial de Corrosión (mV)	Compensación por caída Ohmica
Figura N°7, Curvas A y B	Acero Inoxidable SS2333	24 ₊₁	Argón	0.333	-307	NO
Figura N°7, Curvas C y D	Acero Inoxidable SS2343	24 ₊₁	Argón	0.333	-285	NO
Figura N°7, Curvas E y F	Acero Inoxidable SS2562	24 ₊₁	Argón	0.333	-120	NO

ANEXO N° 13

Los ensayos de polarización anódica se efectuaron en tres especímenes de acero inoxidable inmersos en una solución deaerada de cloruro de sodio 0.1 N.

Los tipos de acero inoxidable ensayados fueron los siguientes: SS2333, SS2343 y SS2562, cuyas composiciones se dan en la tabla N°3.

Las muestras fueron pequeñas chapas rectangulares, las cuales se aislaron eléctricamente por medio de una cinta aislante especial, dejando al descubierto solamente un círculo de 1 cm^2 , que constituyó el área del electrodo de trabajo.

Posteriormente dichos especímenes recibieron un pulido mecánico en húmedo (hasta malla 400 con papel de carburo de silicio) y un desengrasado con tetracloruro de carbono, como tratamiento previo a las pruebas de polarización.

Como contraelectrodo se empleó alambre de platino enrollado a lo largo de un anillo de vidrio Pyrex, mientras que como electrodo de referencia se empleó electrodos de calomel saturado.

En lo referente a los equipos, se trabajó con un Potenciostato/Galvanostato marca Princeton Applied Research modelo 173 conjuntamente con el módulo convertidor del logaritmo de intensidad de corriente modelo 376 El generador de barrido fue marca Wenking modelo VSG72 y el registrador X-Y marca Houston modelo RE0074. En la tabla N°5 se detallan características adicionales de los ensayos, mientras que en la figura N°8 se muestra los resultados obtenidos.

T A B L A N° 5

DESCRIPCION	CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
	MATERIAL	Temperatura (°C)	Gas de Purga	Velocidad de Rastreo (mV/S.)	Potencial De corrosión (mV)	Compensacion por caída Ohmica
Figura N°8, Curva A	Acero Inoxidable SS2333	25+ 1	Argón	0.333	-192	NO
Figura N°8, Curva B	Acero Inoxidable SS2343	25+ 1	Argón	0.333	-259	NO
Figura N°8, Curva C	Acero Inoxidable SS2562	25+ 1	Argón	0.333	-339	NO

T A B L A N° 3

COMPOSICION QUIMICA DE LOS ACEROS INOXIDABLES ENSAYADOS

DESIGNACION SUECA	COMPOSICION QUIMICA (en porcentaje)								DESIGNACION AISI EQUIVA LENTE
	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	C(máx)	P(Máx)	S(máx)	
SS2333	18.5	9.0	1.5	0.50	---	0.05	0.040	0.020	304
SS2343	17.0	11.0	1.5	0.50	2.7	0.05	0.040	0.020	316
SS2562	20.0	25.0	1.5	0.50	4.5	0.02	0.030	0.020	

ANEXO N° 14

VISITA A SANDVIK AB

La visita a esta empresa comprendió las actividades de producción e investigación. En lo referente a las plantas de producción se visitó las siguientes unidades:

Hornos de arco eléctrico para la fusión de aceros inoxidables

- * Convertidores para la decarburización del acero inoxidable, mediante la inyección de argón y oxígeno
- * Colada de lingotes rectangulares
- * Colada continua para los procesos de laminado en frío y en caliente
- * Extrusión y forja de lingotes
- * Planta de fabricación de tubos de acero inoxidable con y sin costura
- * Planta de fabricación de tubos para intercambiadores de calor en centrales de energía atómica

La mayor parte de la visita se concentró en el Laboratorio de Corrosión de SANDVIK AB, siendo las áreas de trabajo las siguientes:

- * Corrosión uniforme
- * Corrosión intergranular
- * Corrosión por picaduras
- * Corrosión en ranuras
- * Corrosión bajo tensiones
- * Corrosión por alta temperatura

A continuación se describen los ensayos que se efectúan en cada área.

1. CORROSION UNIFORME

- a) Mediciones de pérdida de peso en líquidos, con rangos de temperatura de 15 a 120°C
- b) Prueba en autoclaves revestidas con níquel, titanio ó teflón (PTFE), con temperaturas de ensayo hasta de 200°C.
- c) Mediciones de pérdida de peso en medios gaseosos (ácido clorhídrico, dióxido de azufre, cloro, sulfuro de hidrógeno, etc.)
- d) Mediciones de la variación del potencial a circuito abierto en función del tiempo de

exposición, en aleaciones metálicas.

- e) Ensayos de polarización y pruebas potenciodinámicas
- f) Mediciones de polarización ohmica
- g) Ensayos de corrosión selectiva de especímenes soldados, en ácido clorhídrico.

En lo referente a la preparación del electrodo de trabajo para la ejecución de ensayos de polarización y pruebas potenciodinámicas, se tuvo la oportunidad de observar diversos tipos de electrodos de trabajo (en forma de chapa y en forma cilíndrica), siendo los electrodos de forma cilíndrica los más empleados de pruebas de precisión (ver figuras N°s 9, 10, 11, 12 y 13)

2. CORROSION INTERGRANULAR

- a) Ensayo con ácido nítrico según norma ASTM A-262, práctica C
- b) Ensayo con ácido sulfúrico-Sulfato de cobre, según norma ASTM A-262, Práctica E
- c) Ensayo con ácido sulfúrico-sulfato férrico, según norma ASTM A-262, Práctica B

- d) Ensayo con ácido Fluorhídrico y ácido nítrico, según norma ASTM A-262, Práctica D

3. CORROSION POR PICADURA

- a) Ensayos con cloruro férrico, según norma ASTM G48-78, método A.
- b) Determinación del potencial de picadura, según norma ASTM G61-78
- c) Estudios de corrosión por picadura con soluciones enviadas por los clientes ó preparadas en el laboratorio
- d) Ensayos de polarización para determinar el potencial crítico de picadura y la temperatura crítica de picadura.

4. CORROSION EN RANURAS

- a) Ensayo con cloruro férrico, según norma ASTM G 48-76, Método B
- b) Ensayo con diversos formadores de grietas, empleando diferentes soluciones
- c) Ensayos de corrosión en ranuras, manteniendo el potencial constante

- d) Ensayos para determinar el pH crítico de depasivación.
- e) Ensayos de polarización para determinar el potencial crítico en la formación de ranuras y la temperatura crítica de formación de ranuras.

5. CORROSION BAJO TENSIONES

- a) Ensayos con cloruro de Magnesio a 154°C
- b) Ensayos con cloruro de calcio a 100° C
- c) Ensayos de evaporación con cloruro de sodio
- d) Ensayos de inmersión en ácido sulfhídrico, ácido acético y cloruro de sodio, según especificaciones de la NACE
- e) Ensayos con especímenes doblados en U, inmersos en cloruro de sodio.

6. CORROSION POR ALTA TEMPERATURA

- a) Ensayos de resistencia a la fluencia a diferentes temperaturas y bajo esfuerzos uniaxiales con carga constante.

- b) Ensayos de oxidación isotérmica a diferentes temperaturas
- c) Ensayos de oxidación cíclica a diferentes temperaturas y con enfriamiento a temperatura ambiente.
- d) Ensayos en atmósferas con gases diversos.

ANEXO N° 15

VISITA A AVESTA AB

La visita a esta empresa compendió las actividades de producción e investigación. En lo referente a las plantas de producción se visitó las siguientes unidades:

- * Hornos de arco eléctrico para la fusión de aceros inoxidables
- * Convertidores para la decarburización del acero inoxidable, mediante la inyección de argón y oxígeno
- * Colada de lingotes rectangulares
- * Colada continua para los procesos de laminado en frío y en caliente
- * Extrusión y forja de lingotes
- * Planta de fabricación de tubos de acero inoxidable con y sin costura
- * Fabricación de alambre de acero inoxidable y electrodos para la soldadura de este material

- * Fabricación y pulido de planchas de acero inoxidable y titanio.

La mayor parte de la visita se concentró en el Laboratorio de Corrosión de AVESTA, siendo las áreas de trabajo las siguientes:

- * Corrosión uniforme
- * Corrosión intergranular
- * Corrosión por picaduras
- * Corrosión en ranuras
- * Corrosión bajo tensiones.

A continuación se describe los ensayos que se efectúan en cada área.

1. CORROSION UNIFORME

- a) Mediciones de pérdida de peso en líquidos, con rangos de temperatura de 15 a 120°C
- b) Pruebas en autoclaves revestidas con níquel titanio ó teflón (PTFE), con temperaturas de ensayo hasta de 200°C
- c) Mediciones de pérdida de peso en medios gaseosos (ácido clorhídrico, dióxido de azufre, cloro, sulfuro de hidrógeno, etc.)

- d) Mediciones de la variación del potencial a circuito abierto en función del tiempo de exposición, en aleaciones metálicas,
- e) Ensayos de polarización y pruebas potenciodinámicas
- f) Mediciones de polarización ohmica
- g) Ensayos de corrosión selectiva de especímenes soldados, en ácido clorhídrico

2. CORROSION INTERGRANULAR

- a) Ensayo con ácido nítrico según norma ASTM A.262, práctica C
- b) Ensayo con Acido Sulfúrico-Sulfato de Cobre -Cobre, según norma ASTM A-262, Práctica E
- c) Ensayo con Acido Sulfúrico-Sulfato Férrico, según norma ASTM A-262, Práctica B
- d) Ensayo con Acido Fluorhídrico y ácido nítrico, según norma ASTM A-262, Práctica D.

3. CORROSION POR PICADURA

- a) Ensayo con cloruro férrico, según norma ASTM G48-76, método A

- b) Determinación del potencial de picadura, según norma ASTM G61-78
- c) Estudios de Corrosión por Picaduras con soluciones enviadas por los clientes ó preparadas en el laboratorio

4. CORROSION EN RANURAS

- a) Ensayo con cloruro férrico, según norma ASTM G48-76, Método B
- b) Ensayos con diversos formadores de grietas empleando diferentes soluciones
- c) Ensayos de corrosión en ranuras, manteniendo el potencial constante
- d) Ensayos para determinar el pH crítico de depasivación.

5. CORROSION BAJO TENSIONES

- a) Ensayos con cloruro de Magnesio a 154°C
- b) Ensayos con cloruro de calcio a 100°C
- c) Ensayos de evaporación con cloruro de sodio
- d) Ensayos de inmersión en ácido sulfuohídrico ácido acético y cloruro de sodio, según especificaciones de la NACE

e) Ensayos con especímenes doblados en U,
inmersos en Cloruro de Sodio.

ANEXO N° 16

VISITA AL INSTITUTO NORUEGO DE INVESTIGACION
ATMOSFERICA (NILU)

NILU es el Instituto Noruego encargado de ejecutar proyectos de investigación aplicada y consultoría en todos los aspectos relacionados con la polución atmosférica. El instituto está conformado por dos divisiones científicas (Meteorología — Física Atmosférica, y Química Atmosférica) y cuatro divisiones técnicas (Laboratorio Químico, Laboratorio de Instrumentación, Laboratorio de Corrosión y Sección de Procesamiento de Datos).

La visita se concentró en el Laboratorio de Corrosión si bien las otras divisiones técnicas fueron visitadas brevemente. El Laboratorio de Corrosión ejecuta estudios de corrosión atmosférica que comprenden:

- * Medición de velocidades de corrosión en el Laboratorio y en el campo.
- * Prueba de sistemas de protección anticorrosiva en el laboratorio y en el campo.
- * Determinación de la influencia del clima y

la polución atmosférica sobre la corrosión de los metales

En el laboratorio se llevan a cabo pruebas que simulan condiciones reales de exposición así como ensayos acelerados. Para este fin se emplean cámaras climáticas y de niebla salina.

En lo referente a ensayos de campo, además de los métodos clásicos de exposición en la atmósfera se emplean celdas electrolíticas con el fin de medir el tiempo de humectación y la velocidad instantánea de corrosión. Finalmente, en este instituto se ha desarrollado un integrador de corriente que evita la polarización de los electrodos de las celdas electrolíticas.

ANEXO N°17

VISITA A LA CHALMERS TEKNISKA HOGSKOLA

El Departamento de Química Inorgánica de la Universidad Técnica de Gotemburgo, bajo la dirección del Professor Nils-Gosta Vanneberg, viene ejecutando proyectos de investigación básica en el campo de la corrosión.

Uno de los campos de estudio es el mecanismo de la adsorción del dióxido de azufre en los metales, habiéndose estudiado el hierro, cobre, aluminio y zinc entre otros. Para estas investigaciones se ha diseñado una cámara especial, en la cual es posible controlar la temperatura, humedad relativa, flujo de aire y concentración de dióxido de azufre.

La temperatura constante se logra sumergiendo el sistema completo (recipientes, distribuidor y serpentín) en un baño de agua de temperatura controlada, mientras que la humedad relativa se establece por la diferencia entre la temperatura del baño y la temperatura del aire a la entrada del matraz caliente donde se burbujea el aire en el agua.

El flujo de aire es controlado por un rotámetro y la concentración de dióxido de azufre por medio de un medidor de flujo instalado a la salida del cilindro con dicho gas.

Durante un experimento dado se emplean varios recipientes, ya que es necesario conocer exactamente la cantidad de dióxido de azufre que circula a través de cada recipiente.

Para este fin se emplea un mecanismo de distribución compuesto de una válvula de control para cada recipiente, de modo tal que el dióxido de azufre pasa sólo a través de un recipiente a la vez (el flujo de SO_2 cambia de un recipiente a otro cada 15 minutos).

Al extremo de cada válvula de control existe una botella lavadora con agua oxigenada, la cual absorbe el dióxido de azufre remanente con el fin de posibilitar su análisis cuantitativo, y determinar indirectamente la cantidad de dióxido de azufre absorbida por el espécimen metálico.

Además de los estudios mencionados anteriormente, se viene investigando el efecto del fosfatizado sobre las superficies de acero calmado. En este caso se sumerge el acero desnudo en una solución de fosfato de zinc por un período de una a dos horas, posteriormente esta superficie

se cubre con una pintura inerte, se deja secar y se efectúa una rayadura sobre la superficie pintada, estudiándose la resistencia de la capa de fosfatizado en las cámaras mencionadas anteriormente.

Por otro lado, últimamente se ha iniciado un estudio sobre la resistencia a la corrosión de los terminales dorados que se emplean en los contactos eléctricos y electrónicos.

En este caso, los agentes corrosivos son el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno.

Otro de los campos estudiados en este departamento, es la cinética de la superficie del electrodo de hierro empleándose la técnica de voltametría cíclica (con electrodos rotantes (3000 r.p.m)), y como electrolito el perclorato de sodio. La técnica de impedancia con corriente alterna ha sido empleada en muy pocos casos.

FIGURAS

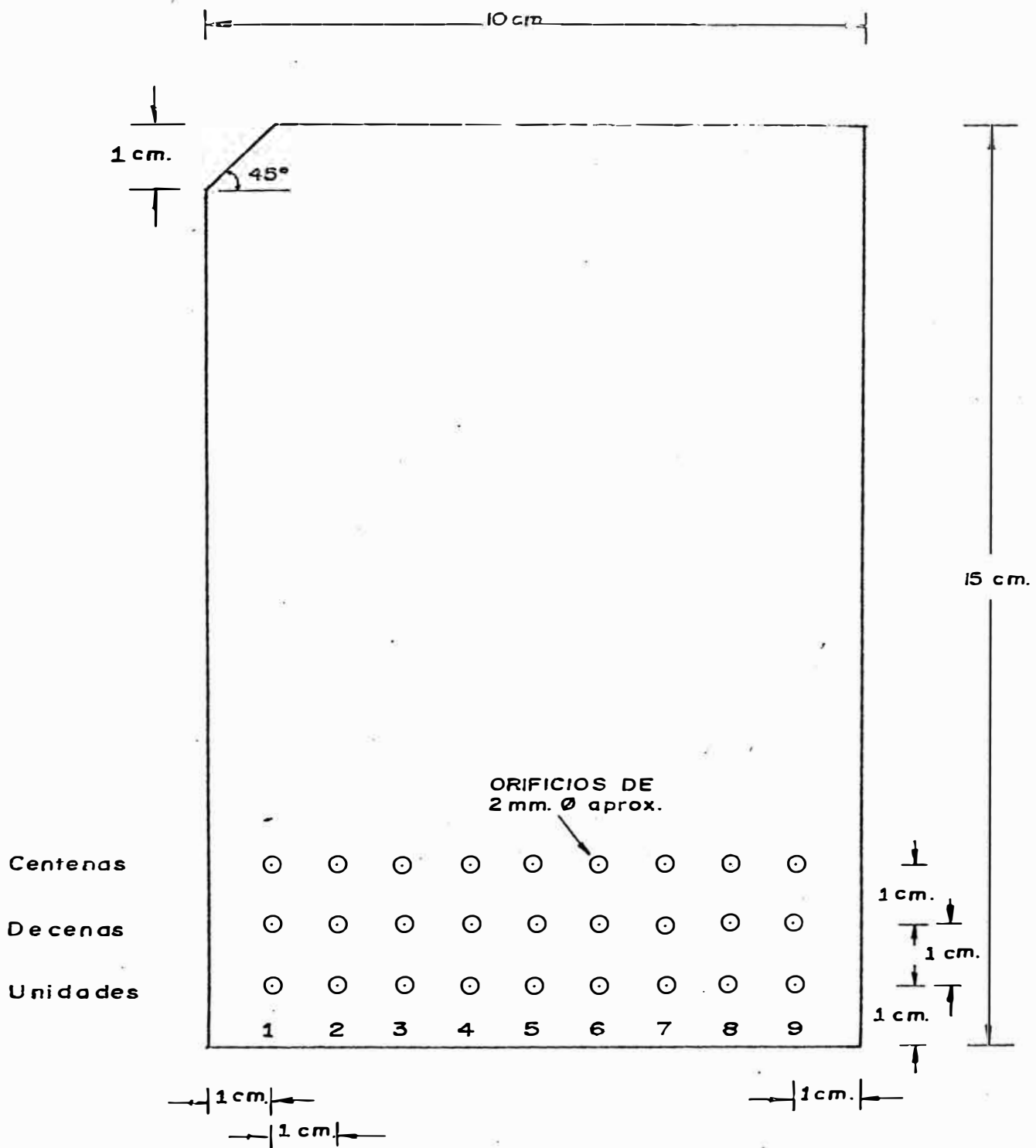


FIGURA N° 1.. SISTEMA DE CODIFICACION DE ESPECIMENES PARA PRUEBAS DE EXPOSICION ATMOSFERICA

POTENCIAL, EN MV, VERSUS EL ELECTRODO DE CALOMEL SATURADO

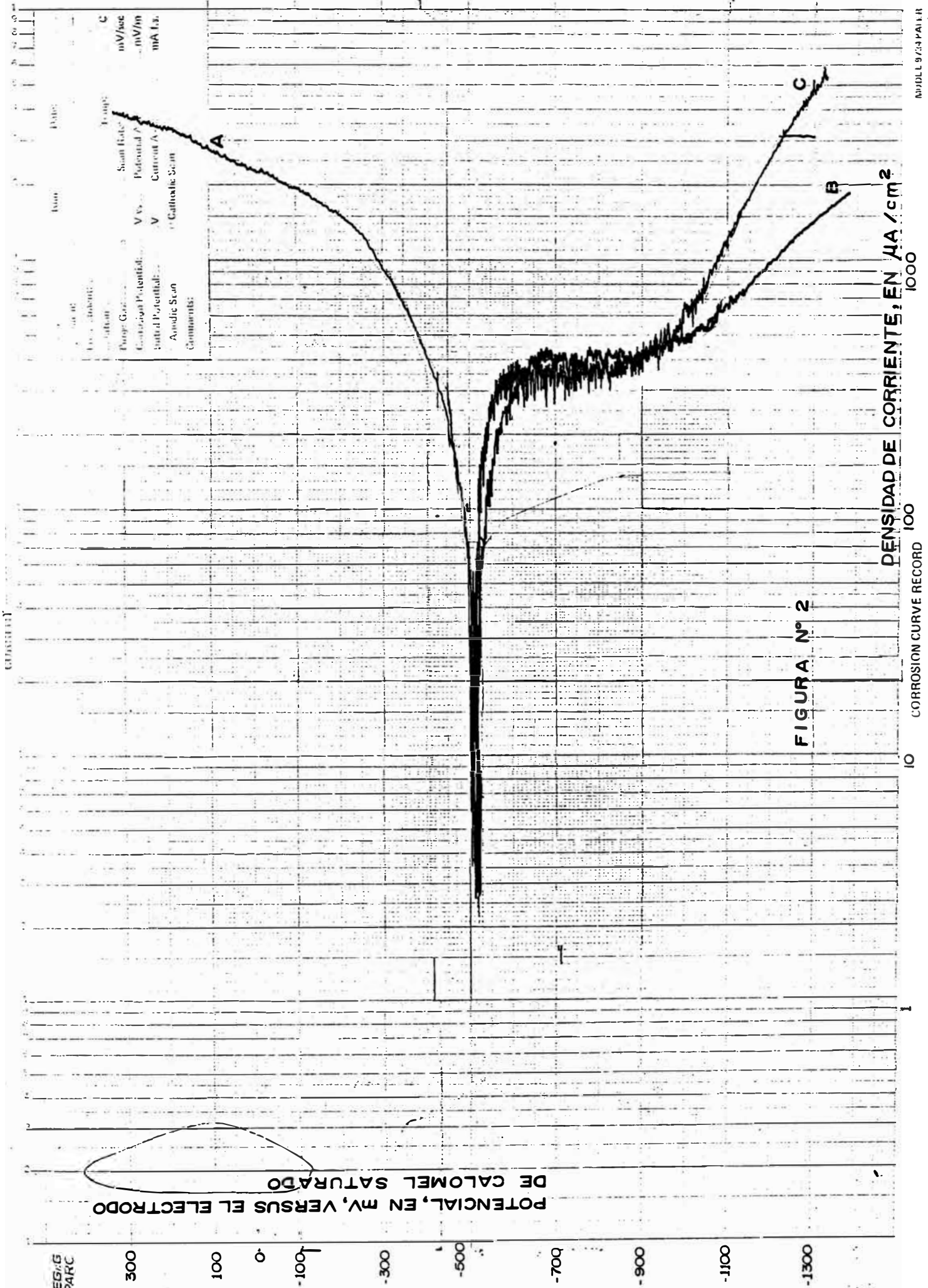


FIGURA Nº 2

DENSIDAD DE CORRIENTE, EN $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

CORROSION CURVE RECORD

1000

100

10

1

APPLIED POTENTIAL

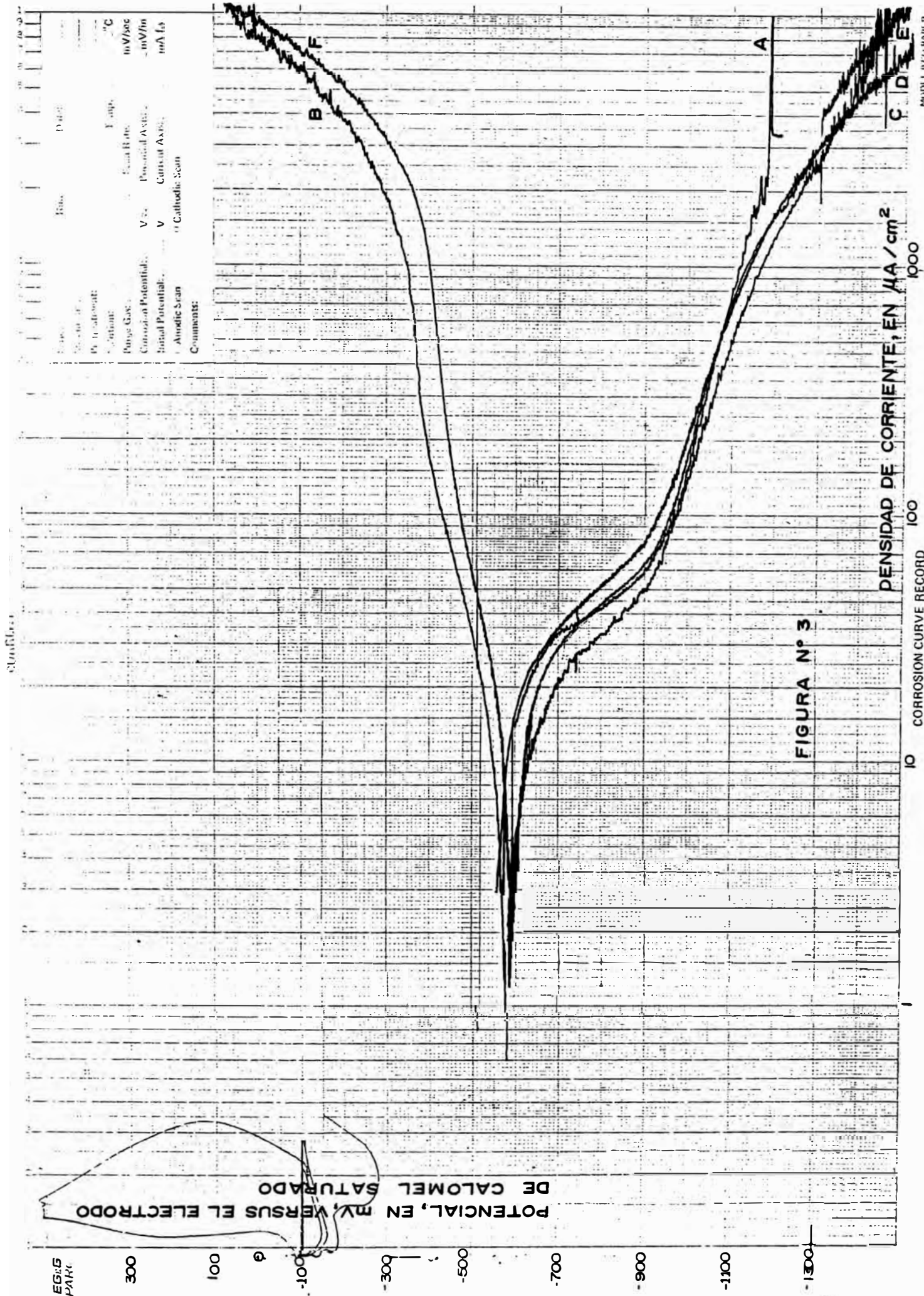


FIGURA N° 3

DENSIDAD DE CORRIENTE, EN $\mu A / cm^2$

CORROSION CURVE RECORD

POTENCIAL, EN MV, VERSUS EL ELECTRODO DE CALOMEL SATURADO

EG:5
PARC



POTENCIAL, EN mV, VERSUS EL ELECTRODO DE CALOMEL SATURADO

600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
-1000

CURRENT

Run Date
 Treatment: _____ Temp: _____ °C
 Substrate: _____ Scan Rate: _____ mV/sec
 Purge Gas: _____ Corrosion Potential: _____ V vs _____ mV/m
 Initial Potential: _____ V Current Axis: _____ mA/cm²
 Anodic Scan Cathodic Scan
 Comments:

FIGURA N° 4

DENSIDAD DE CORRIENTE, EN $\mu A/cm^2$

10 100 1000

CORROSION CURVE RECORD

MODEL 9734 PAPER

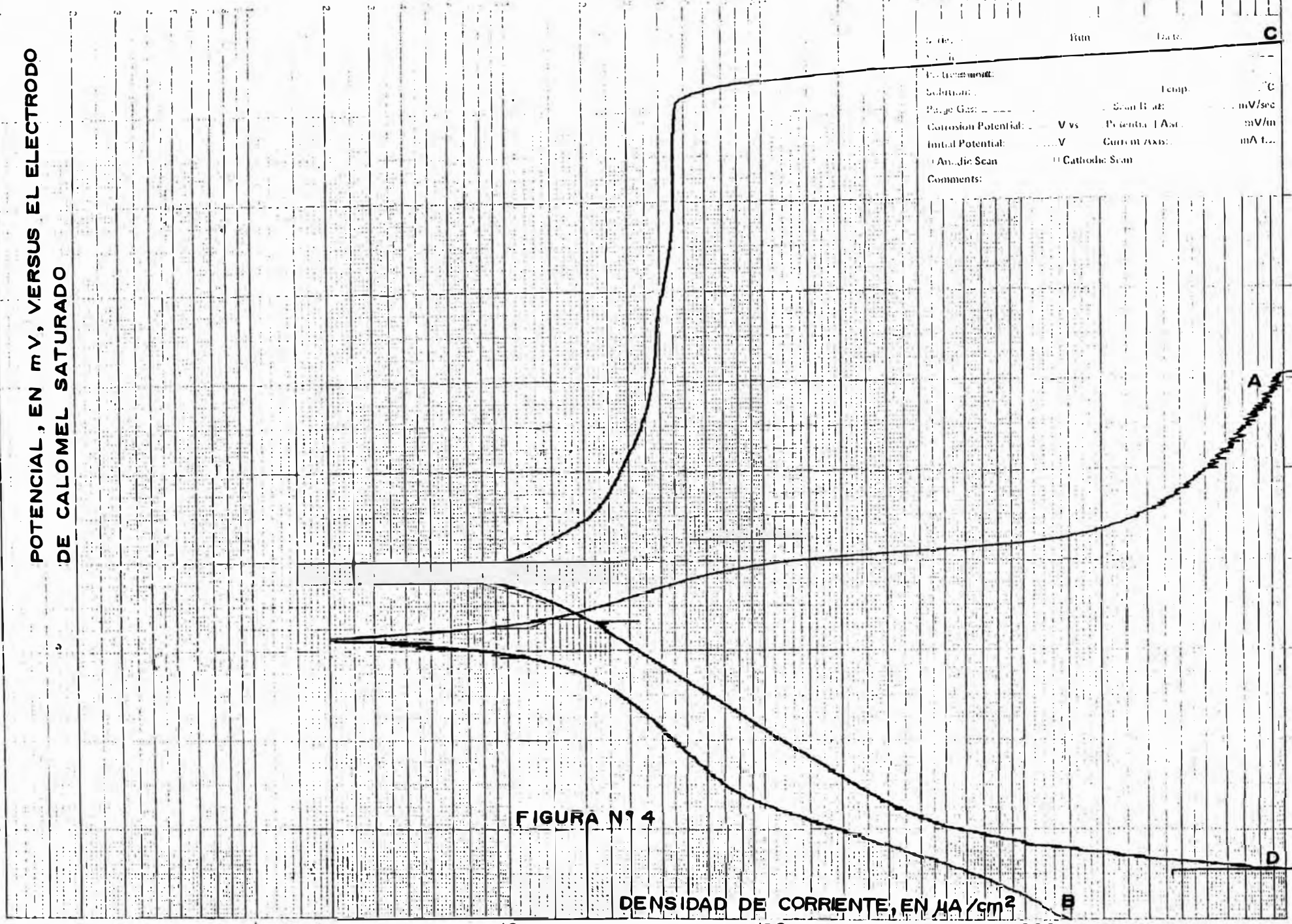
APPLIED POTENTIAL

C

A

D

B





POTENCIAL, EN mV, VERSUS EL ELECTRODO DE CALOMEL SATURADO

CURRENT

Series: _____ Run #: _____ Date: _____
 Specimen: _____
 Pretreatment: _____
 Solution: _____ Temp: _____ C
 Purge Gas: _____ Scan Rate: _____ mV/sec
 Corrosion Potential: _____ V vs _____ Potential Axis: _____ mV/in
 Initial Potential: _____ V Current Axis: _____ mA f.s.
 Anodic Scan Cathodic Scan
 Comments: _____

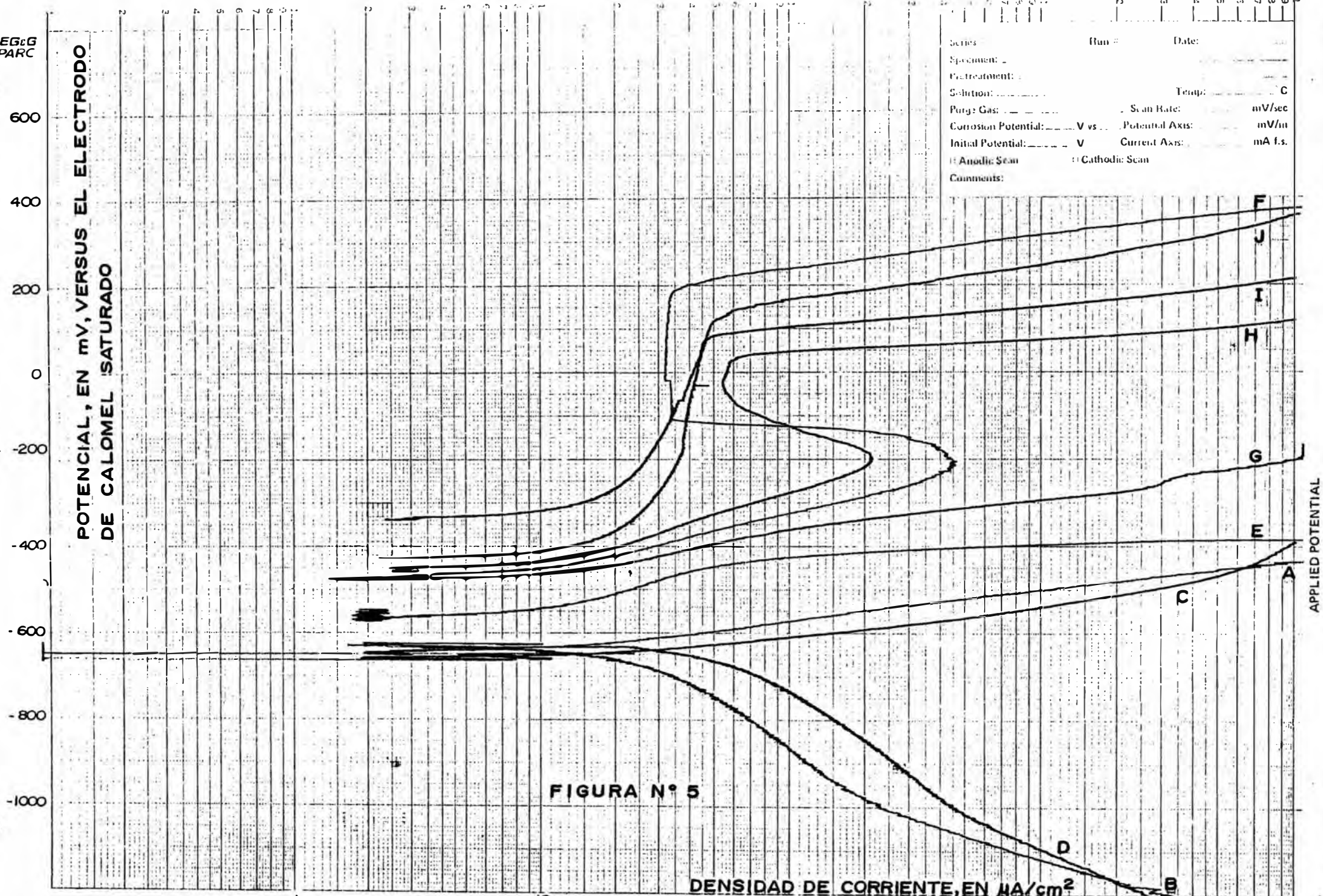


FIGURA N° 5

DENSIDAD DE CORRIENTE, EN $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

CORROSION CURVE RECORD

MODEL 9/34 PAPER

POTENCIAL, EN mV, VERSUS EL ELECTRODO DE CALOMEL SATURADO

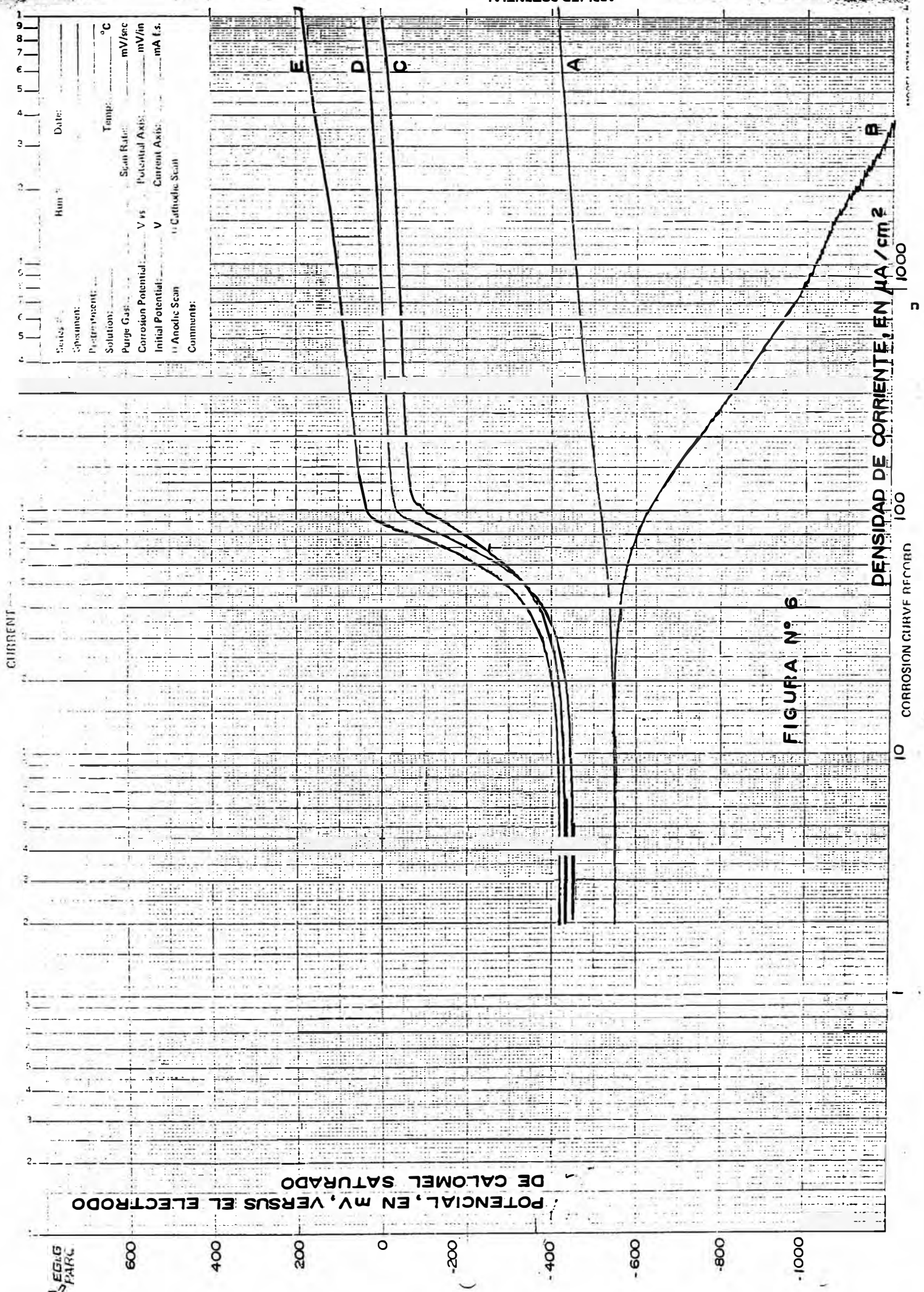


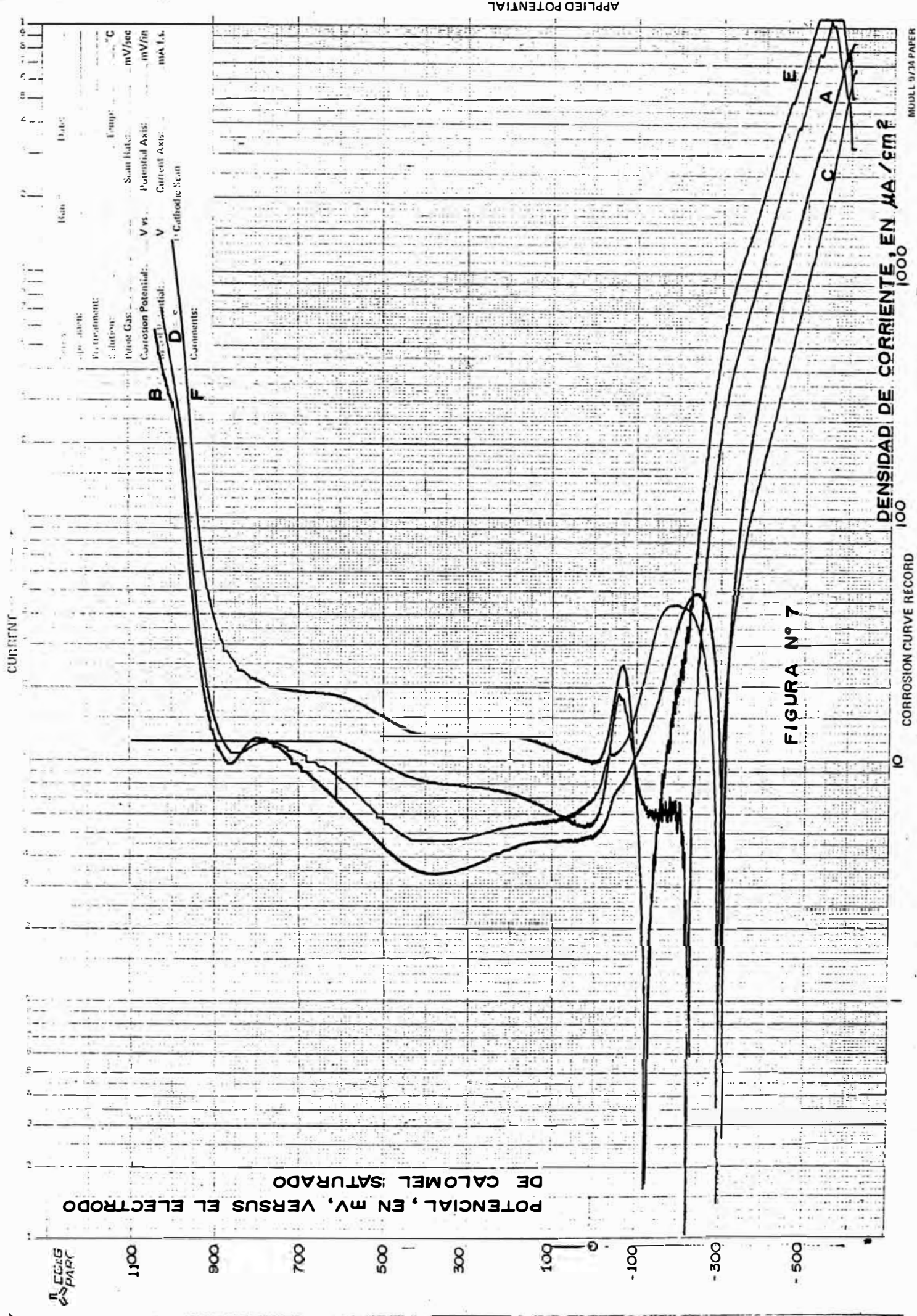
FIGURA N° 6

Series: _____ Run: _____ Date: _____
 Specimen: _____
 Post-treatment: _____
 Solution: _____ Temp: _____ °C
 Purge Gas: _____ Scan Rate: _____ mV/sec
 Corrosion Potential: _____ V vs _____ mV/in
 Initial Potential: _____ V Current Axis: _____ mA f.s.
 () Anodic Scan () Cathodic Scan
 Comments: _____

APPLIED POTENTIAL

DENSIDAD DE CORRIENTE, EN $\mu A / cm^2$

CORROSION CURVE RECORD



EG&G
PARC

1100

900

700

500

300

100

0

-100

-300

-500

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

10

100

1000

10000

100000

1000000

10000000

100000000

1000000000

10000000000

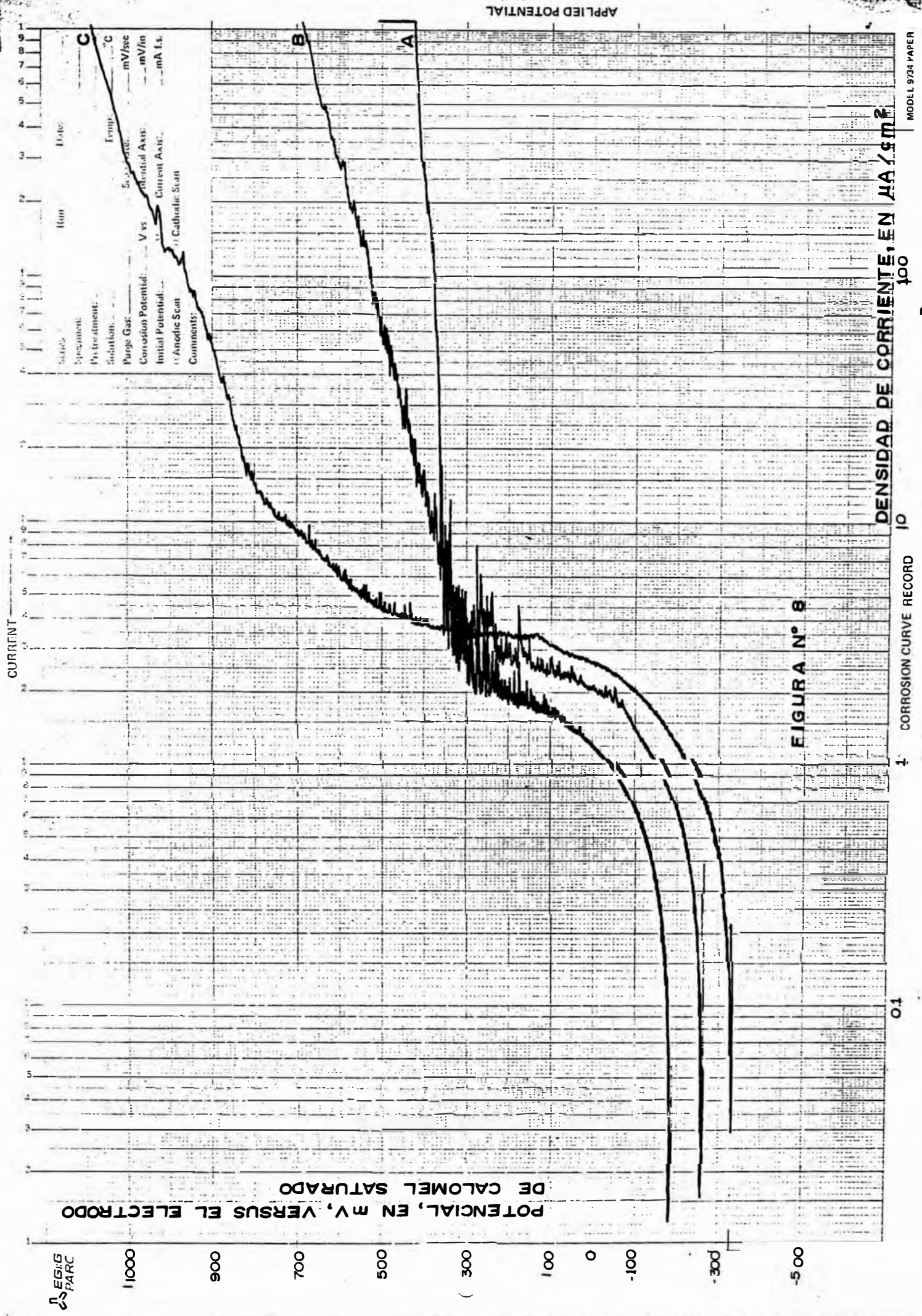


FIGURA N° 8

DENSIDAD DE CORRIENTE, EN mA/cm²

CORROSION CURVE RECORD

0.1

10

100

MODEL 9734 PAPER

EGIG PARC

POTENCIAL, EN mV, VERSUS EL ELECTRODO DE CALOMEL SATURADO

Series: _____ Date: _____
 Specimen: _____
 Pretreatment: _____
 Solution: _____ Temp: _____ °C
 Purge Gas: _____
 Scan Rate: _____ mV/sec
 Composition Potential: _____ V vs
 Potential Axis: _____ mV/in
 Initial Potential: _____ mA I.S.
 Current Axis: _____
 Comments: _____
 () Anodic Scan () Cathodic Scan

APPLIED POTENTIAL

A

B

C

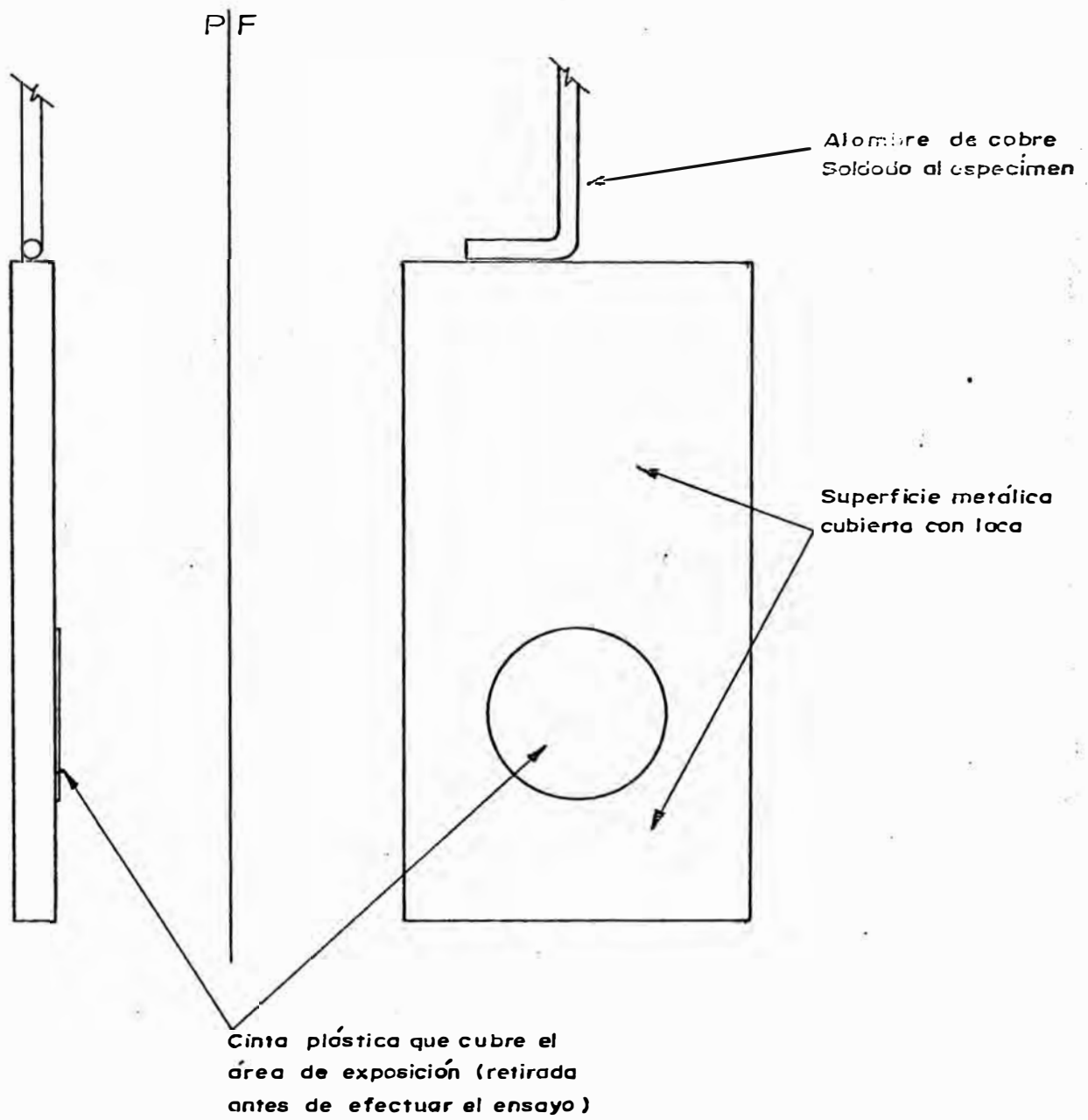


FIGURA 9. _ MODELO DE ELECTRODO DE TRABAJO PARA ESPECÍMENES EN FORMA DE CHAPA

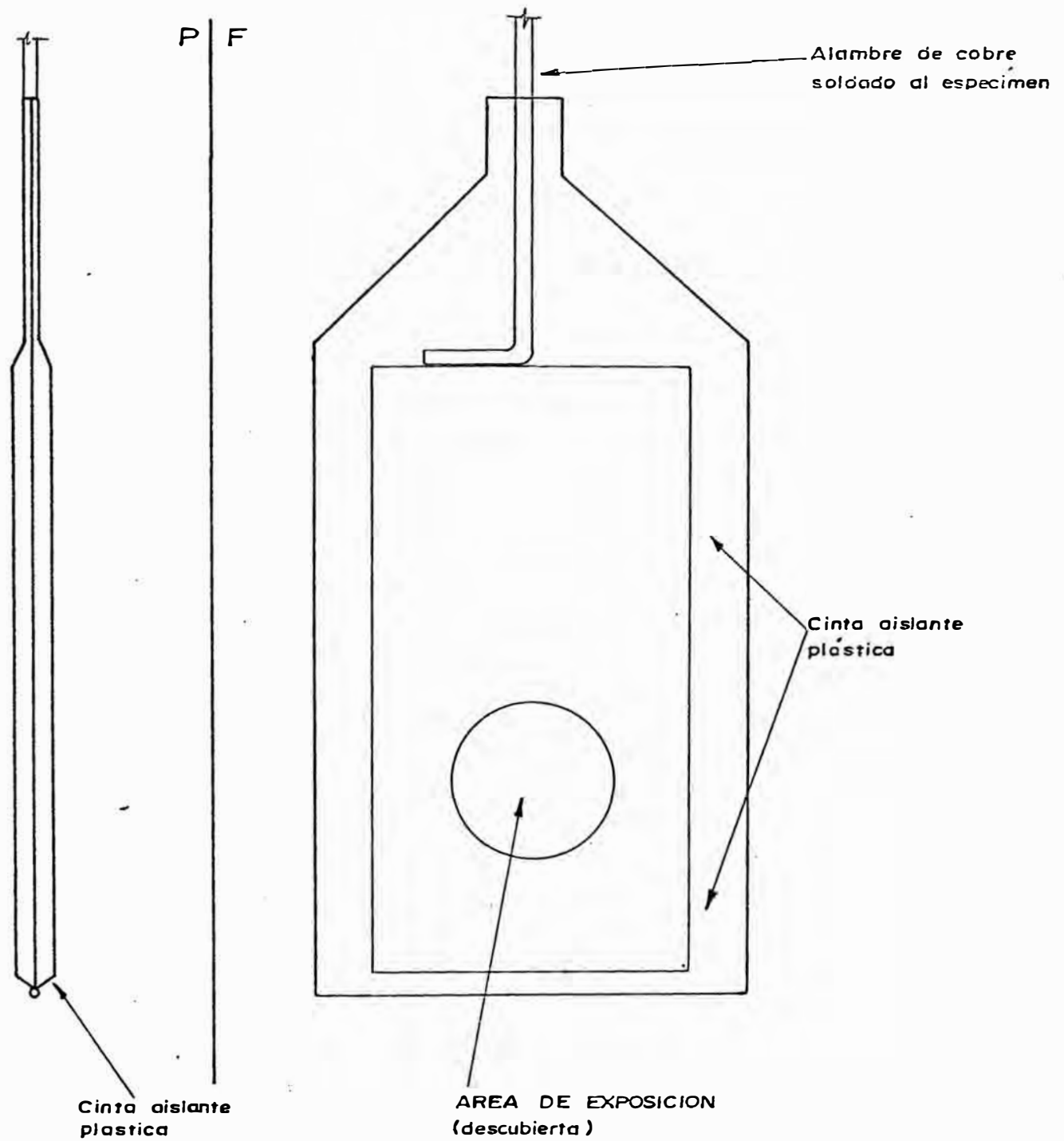
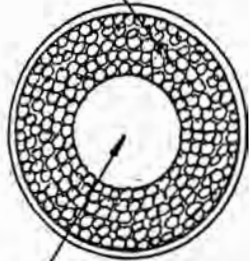


FIGURA 10.- MODELO DE ELECTRODO DE TRABAJO PARA ESPECIMENES EN FORMA DE CHAPA

Burbujas de Argón



Especimen de prueba

P F

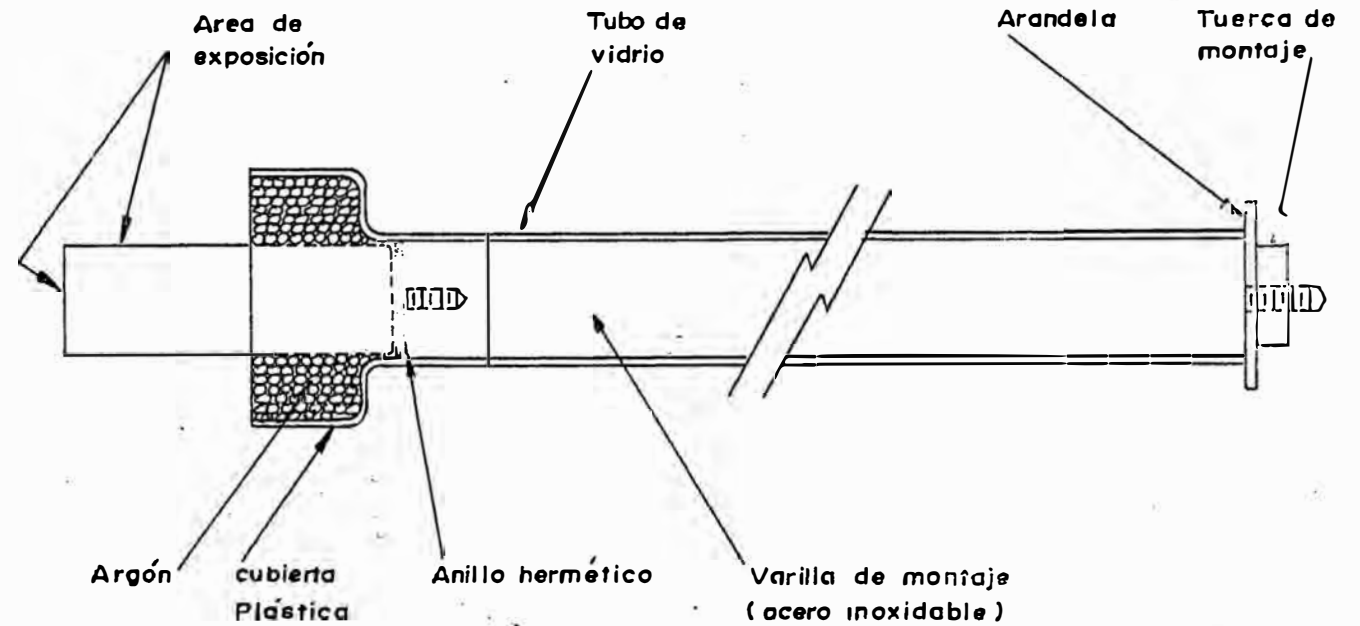


FIGURA N° 11.- MODELO DE ELECTRODO DE TRABAJO PARA ESPECIMENES DE FORMA CILINDRICA

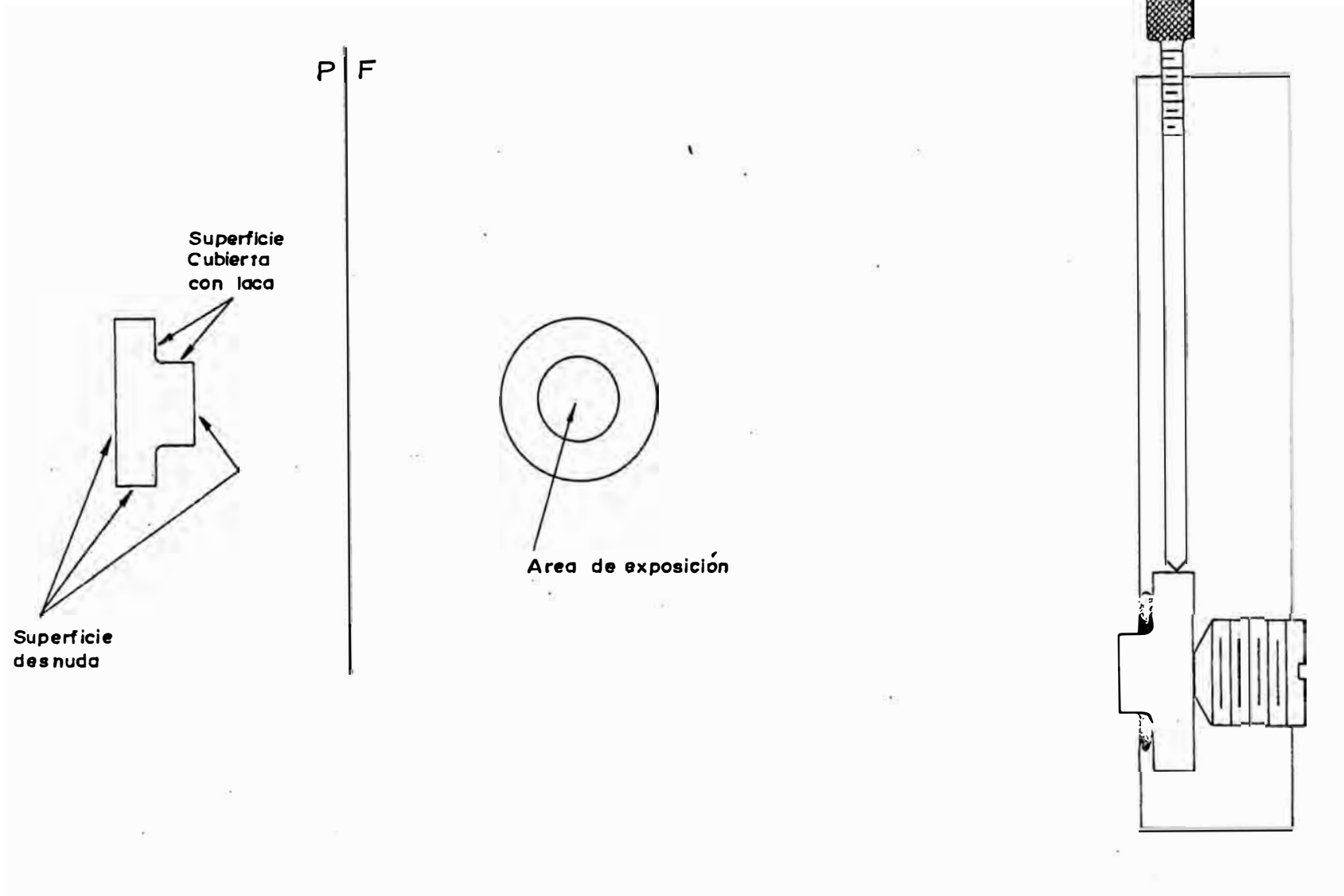


FIGURA N° 12.- MODELO DE ELECTRODO DE TRABAJO PARA PRUEBAS DE POLARIZACION PRECISAS

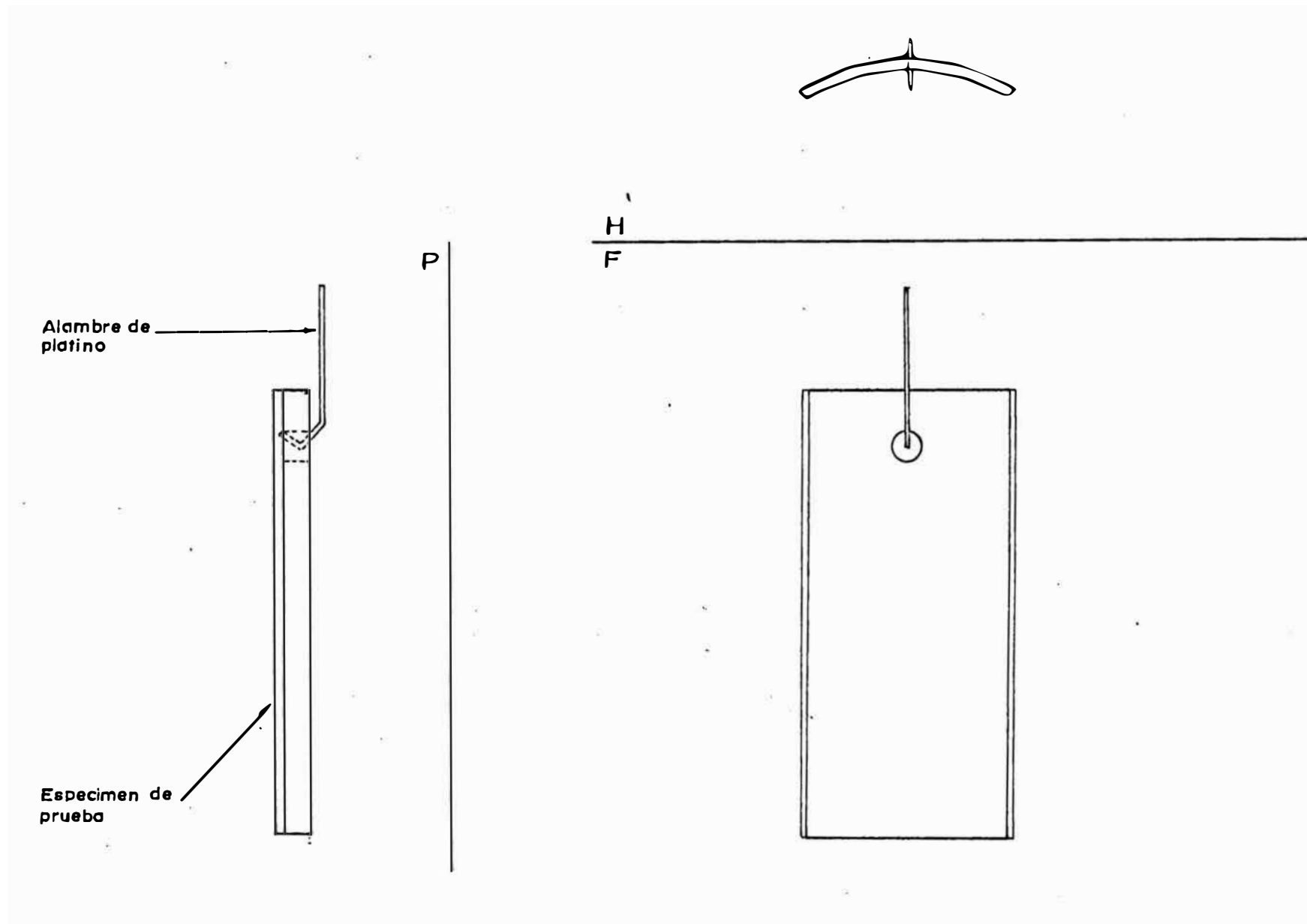


FIGURA N° 13.- MODELO DE ELECTRODO DE TRABAJO PARA ESPECIMENES DE FORMA TUBULAR

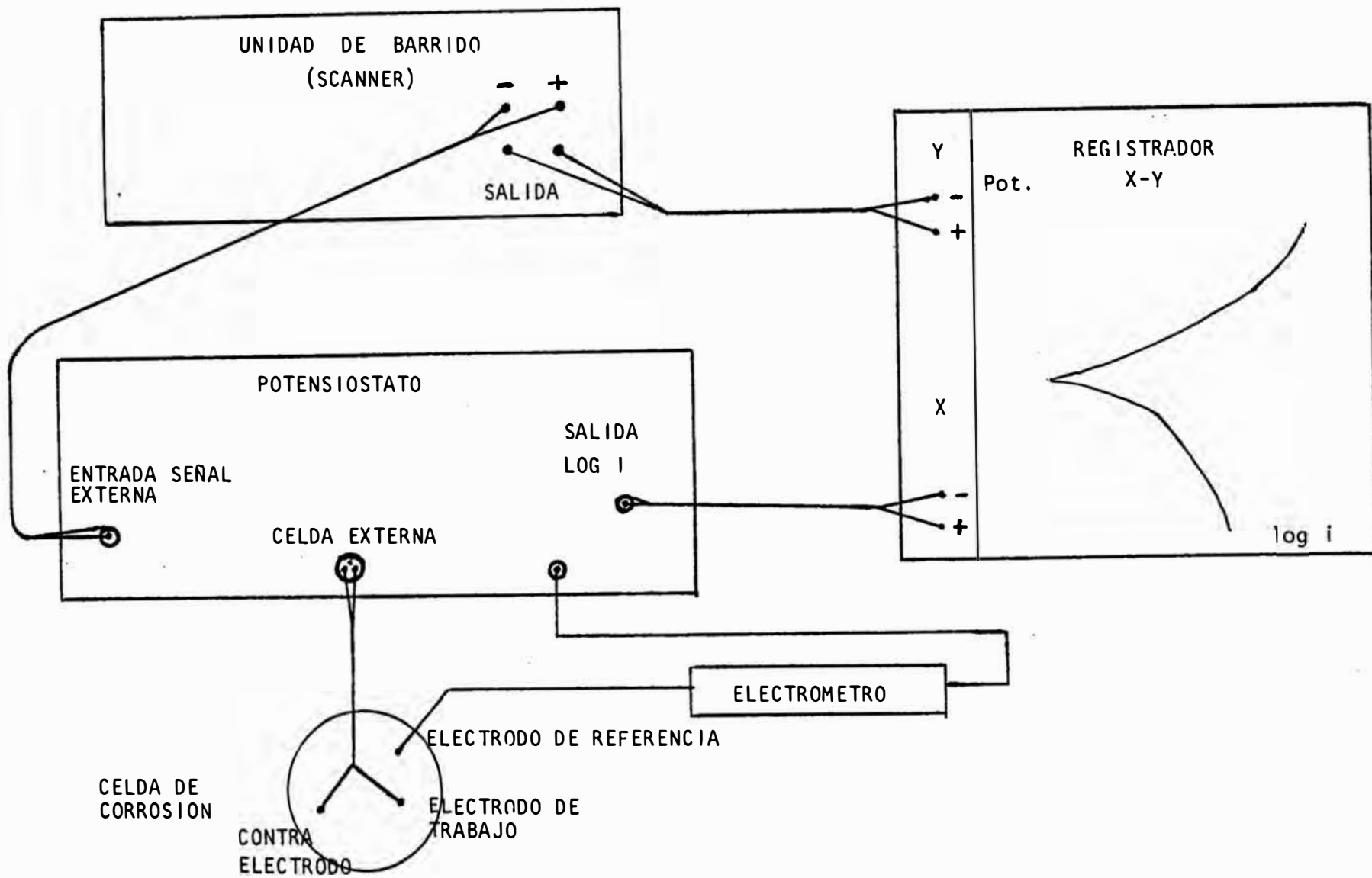


FIG. N° 14

DIAGRAMA DE CONEXION DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS PARA LAS PRUEBAS DE POLARIZACION