

4055

621.46
F 954
2003

INGENIERÍA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO S.A.

GOBIERNO DE CHILE

PROYECTO DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA LÍNEA 1

CORFO-FONTEC N° 201-2944

INFORME FINAL

BIBLIOTECA CORFO

"EQUIPO ELECTRÓNICAMENTE CONTROLADO DE ALTA EFICIENCIA PARA ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE TRACCIÓN"

Santiago, Agosto 2003

Preparado por:

Aprobado por:

621.46
F 954
2003

Antes Fuentealba
Electricista UTFSM

Patricio Lagos Lehuedé
Ing. Civil Electricista (U de Chile)
Gerente General IDT

Santiago, Agosto de 2003

CONTENIDO



1. RESUMEN EJECUTIVO	1
1.1. Antecedentes de la Empresa	1
1.2. Síntesis del proyecto de innovación.....	1
1.3. Principales resultados del proyecto y conclusiones	2
2. EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA	3
2.1. OBJETIVOS TÉCNICOS DEL PROYECTO.....	3
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos	4
3. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	5
3.1. Plan de Trabajo Real observado en el Proyecto	6
3.2. Resultados Obtenidos	7
4. ANEXO N° 1: RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS	9
5. ANEXO N° 2 : RESUMEN DE GASTOS REALES.....	14
6. ANEXO N° 3: RESUMEN DE GASTOS PROGRAMADOS	18
7. ANEXO N° 3: FACTURAS DEL PROYECTO.....	23

PRESENTACIÓN

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

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

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

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

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

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

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

FONTEC - CORFO

INFORME FINAL

EQUIPO ELECTRÓNICAMENTE CONTROLADO DE ALTA EFICIENCIA PARA ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE TRACCIÓN”.

Proyecto N° 201-2944

1. RESUMEN EJECUTIVO

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

IDT es una sociedad anónima formada en 1995 cuyo objetivo es “La investigación tecnológica, diseño, fabricación, instalación y desarrollo de ingeniería de equipos, componentes y materiales de uso electrónica, particularmente electrónica de potencia. Asimismo, presta servicios de asesoría técnica en el campo de la electrónica, incluyendo la realización de estudios, ejecución de proyectos y trabajos relacionados, la representación de empresas nacionales y extranjeras de rubros conexos y afines, la importación, compra, venta y distribución de equipos, componentes y materiales de los rubros señalados”. Lo anterior obedece al desafío que la empresa se ha propuesta como misión:

“Ser una fuente constante de nuevas soluciones y desarrollos propios a problemas propios, adelantándose a las respuestas importadas.”

En sus comienzos IDT desarrolló una línea de rectificadores para procesos de electroobtención y refinación de cobre, diseñando productos confiables, simples, flexibles y modernos, con el objeto de reemplazar innovativamente la tecnología importada de países líderes de esos productos. Posteriormente IDT diversificó su línea de rectificadores, incorporando el desarrollo y la comercialización de inversores, chopper, hornos de inducción, fuentes de poder y, en general, dispositivos de altas corrientes controlados electrónicamente. Hoy día, su actividad de innovación se encuentra centrada en el diseño y producción de soluciones tecnológicas eficientes para la industria metalúrgica y del transporte eléctrico.

En cuanto a otras actividades se destaca la investigación y desarrollo, mantenciones y asesorías en plantas industriales, ventas y servicios anexos

1.2. SÍNTESIS DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN

El Proyecto CORFO Fontec N° 201-2944 “Equipo Electrónicamente Controlado de alta eficiencia para accionamientos eléctricos de tracción” consistió en el desarrollo de un equipo basado en electrónica de potencia con semiconductores IGBT para mejorar la eficiencia y el control de los coches de tracción del Metro de Santiago.

1.3. PRINCIPALES RESULTADOS DEL PROYECTO Y CONCLUSIONES

El proyecto demostró la factibilidad técnica económica de fabricar en Chile un equipo capaz de mejorar en forma importante la eficiencia eléctrica de los accionamientos de tracción que emplean motores de corriente continua originalmente regulados con resistencias.

Las características y ventajas innovativas más importantes del accionamiento desarrollado en este proyecto CORFO son:

- Emplea los mismos motores, boggies y cajas de transmisión mecánicas ya existentes en los coches de tracción NS-74.
- Elimina las resistencias adicionales de maniobras, con lo que se minimiza las pérdidas en calor y mejora la eficiencia del consumo eléctrico del tren.
- Para detenerse opera un frenado regenerativo hacia la red siempre que esta sea receptiva, es decir, que la energía cinética del tren que se regenera en forma de energía eléctrica sea absorbida por otro tren del sector.
- En el accionamiento desarrollado no se requiere para frenar ningún cambio físico de conexiones con respecto a las conexiones en régimen de motor.
- En caso de que la red de CC no sea receptiva el control pasa a un frenado dinámico con resistencia auxiliar.
- No requiere el uso de contactores adicionales en caso de inversión de marcha.
- No requiere de camones, comandos y controles de resistencias adicionales con lo que bajan los costos de mantención del tren.
- El control electrónico de corriente permite un ajuste muy flexible de la aceleración.
- El arranque y la inversión de marcha se realizan con control electrónico de corriente sin operación de contactores electromecánicos ni resistencias adicionales.

2. EXPOSICIÓN DEL PROBLEMA

Una de las principales características que hacen atractivo el uso de accionamientos con tracción eléctrica en el transporte consiste en la propiedad de éstos de ser un medio no contaminante hacia la atmósfera por no utilizar combustibles fósiles.

Como desventaja económica se presenta por otra parte su bajo rendimiento, debido a que todo el control y regulación de la corriente y velocidad se hace con resistencias adicionales. Tal es el caso de muchos ferrocarriles, trolebuses y tranvías que emplean máquinas de corriente continua, construidos en la década del 60 y que todavía tienen algunas décadas de vida útil.

En la actualidad la invasión de la Electrónica de Potencia en el ambiente tecnológico permite encontrar nuevas soluciones muy eficientes para los nuevos accionamientos. Léase soluciones con máquinas de corriente alterna. Para las máquinas de corriente continua se puede buscar soluciones, pero aquellas desarrolladas en los países desarrollados son prohibitivas en el nuestro desde el punto económico.

El presente proyecto se motivó en encontrar una solución a la tracción eléctrica de los coches NS-74 del Metro de Santiago, que sea de bajo costo, muy eficiente y amistosa.



2.1. OBJETIVOS TÉCNICOS DEL PROYECTO

De acuerdo a lo planteado en la presentación original, los objetivos del proyecto se resumen en:

Objetivo General

El proyecto de innovación propuesto "**EQUIPO ELECTRÓNICAMENTE CONTROLADO DE ALTA EFICIENCIA PARA ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS DE TRACCIÓN**" tiene por objeto diseñar y desarrollar un equipo procesador de energía de alto rendimiento para alimentar motores de corriente continua. El régimen de operación de la máquina eléctrica considera el arranque, la marcha normal y el frenado, este último regenerando hacia la red la energía cinética que se entrega durante una detención. Este equipo o producto en lo sucesivo se hará referencia como "chopper regenerativo" y su diseño es aplicable a todos los accionamientos con motores de corriente continua que emplean resistencias adicionales variables como forma de controlar o regular la operación del accionamiento.

Objetivos Específicos

1. Construcción de un prototipo a escala reducida (Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso) y evaluación experimental en el Laboratorio de Accionamientos Eléctricos.
2. Construcción de un prototipo a escala real en relación a los motores de los coches motrices del Metro (I.D.T. Santiago) y evaluación de éste en un banco de pruebas que se construirá con este objetivo en los Talleres Neptuno del Metro, Santiago, de modo de cumplir las exigencias como suministro alternativo a productos importados para este medio de transporte (normas ferroviarias).
3. Pruebas y evaluación del "chopper regenerativo" instalando el prototipo en un coche motriz del Metro de Santiago para mejorar el rendimiento y control.
4. Se comparará el consumo eléctrico de la tracción de un coche motriz NS-74 en la condición actual con **el consumo del mismo coche motriz, pero con el "chopper regenerativo" instalado.**
5. "Análisis de la Receptividad de la Red Eléctrica del Metro en Relación al Frenado regenerativo"
6. Diseñar y fabricar en Chile un accionamiento eléctrico de alto rendimiento, controlado electrónicamente, para la operación de máquinas de corriente continua que elimine las resistencias adicionales y frene con regeneración de energía a la red.
7. Se puede afirmar que el objetivo general planteado se cumplió cabalmente. Los objetivos específicos se cumplieron todos, excepto lo referente a evaluar experimentalmente y en escala real la regeneración de energía de los frenados hacia la red (se demostró en el prototipo de laboratorio que este principio funciona satisfactoriamente), pues para ello se requiere fabricar un segundo chopper e instalarlo junto con el chopper original en un coche de tracción NS-74, es decir, uno por cada boggie.
8. Por otra parte, el objetivo específico de comparar consumos de energía eléctrica de un coche NS-74 con la innovación instalada requiere, al igual que el punto anterior, instalar un segundo chopper. Sin embargo, se pudo comparar los rendimientos medidos en un coche NS-74 con los rendimientos calculados a partir de una simulación de la innovación de modo que la característica de aceleración y frenado sea similar a la situación real observada. Los resultados fueron sorprendentemente favorables a la innovación.

3. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

Descripción de la forma como se llevo a cabo la investigación tecnológica aplicada, detallando entre otros aspectos, los métodos involucrados, el diseño experimental, modalidad de análisis de los resultados obtenidos y las fuentes de información consultadas.

La investigación se llevó a cabo mediante un cuidadoso análisis de las topologías factibles para el esquema del chopper consultando la literatura especializada. Una vez seleccionada la alternativa más conveniente de configuración se le introdujo mejoras aplicables al régimen de los coches de tracción del Metro. El comportamiento preliminar se estudió mediante una simulación digital y pruebas en un prototipo de laboratorio en la UTFSM, lo que ratificó en esa escala las hipótesis de control y frenado regenerativo propuestas.

La etapa siguiente consistió en la construcción paralela de un prototipo de chopper regenerativo de 250 kW, 750 V CC en IDT, con un banco de pruebas en los Talleres Neptuno del Metro, área Material Rodante, para lo cual se empleó un boggie con 2 motores de CC provenientes de un coche NS-74.

Las pruebas en este escenario consistieron en partidas directas sin resistencias adicionales con la red de 750 V CC, inversión de marcha y carga empleando frenos de zapata a los que se aplicó presión (2,5 bares equivale a un tren con 4 pasajeros / m).

3.1. PLAN DE TRABAJO REAL OBSERVADO EN EL PROYECTO

- Tiempo Inicial : 22 de Abril de 2002
- Tiempo final : 10 de Julio de 2003
- Feriado vacaciones : Febrero de 2003 (mes 10)

DESARROLLO CRONOLÓGICO REAL DEL PROYECTO Y ETAPAS															
ETAPAS	MES N°														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ETAPA 1: ANTECEDENTES															
Recopilación de antecedentes (coche de tracción)	X	X	X												
Desarrollo y estudio de alternativas de solución		X	X	X											
ETAPA 2: PROTOTIPOS Y PRUEBAS															
Análisis de registro de mediciones en Metro, caso real			X	X	X										
Construcción y pruebas del prototipo laboratorio UTFSM					X	X	X	X	X		X				
Mediciones en vías de prueba de talleres Neptuno y analisis					X	X									
Construcción de un prototipo a escala real en IDT								X	X		X	X			
Construcción del banco de pruebas (Metro)											X	X			
Pruebas y ensayos en banco de pruebas Metro-Santiago												X	X		
Evaluación de los resultados													X	X	
Mejoras al prototipo													X	X	
Documentos e Informes Técnicos														X	X

3.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Presentación de los principales resultados o soluciones obtenidas como consecuencia del proyecto de innovación apoyándose para ello, si corresponde, en tablas, diagramas, gráficos, planos, mapas, diseños de prototipos, material fotográfico, de video, software u otro.

Los ensayos del prototipo a escala de laboratorio demostraron la factibilidad técnica de la idea y sobretodo el comportamiento de los sistemas de control.

Los ensayos del prototipo de chopper se hicieron alimentando los 2 motores del boggie de un coche de tracción. Las pruebas experimentales de este equipo se realizaron a tensión reducida hasta conectarlo directamente a la red de 750 V CC (catenaria de Talleres Neptuno), donde se hizo funcionar a 750 V y 300 A CC en forma directa, es decir, sin usar resistencias adicionales con resultados muy satisfactorios.

El rendimiento de los coches NS-74 calculado a partir de las mediciones en terreno y de una simulación fue de 64 %.

El rendimiento esperado de los coches NS-74 el accionamiento diseñado es mayor que 85%.

▪ **Análisis y conclusiones de los resultados obtenidos.**

Los resultados obtenidos abren enormes e insospechadas posibilidades de aplicación del accionamiento diseñado tanto dentro como fuera del país, ya que se observa un nicho de mercado importante en la modernización de otros trenes similares para el transporte de pasajeros y además en trenes de transporte de minerales.

▪ **Impactos del Proyecto**

Exponer impactos de orden técnico-económicos, derivados de la aplicación de los resultados del proyecto de innovación en la empresa beneficiaria, medidos en términos de mejora de rendimientos, ahorro de costos, mejora de calidad, aumento de producción, aumento de exportaciones, sustitución de importaciones, impacto ambiental u otros beneficios indirectos.

Básicamente el impacto más importante de este proyecto aplicado a los coches motrices NS-74 del Metro apunta a una disminución muy importante del costo \$ / Km en función del ahorro de energía, no sólo en lo que se refiere al consumo en el coche mismo, sino a las menores pérdidas en las líneas eléctricas, menores gastos de mantención (resistencias adicionales,

contactores, camiones) y una disminución de la facturación por demanda máxima.

En la actualidad y a raíz de los resultados obtenidos, surgió una interesante posibilidad de participar con 2 choppers en la modernización de una locomotora del ferrocarril de explotación de mineral en Codelco, División Salvador. Las locomotoras grandes son movidas por 4 motores de CC de 550 V CC y 90 HP , en un montaje de 2 motores por cada boggie. Las locomotoras chicas tienen 2 motores de 90 HP, 550 V CC, un motor por cada boggie.

▪ **Mecanismos de implementación de los resultados del proyecto**

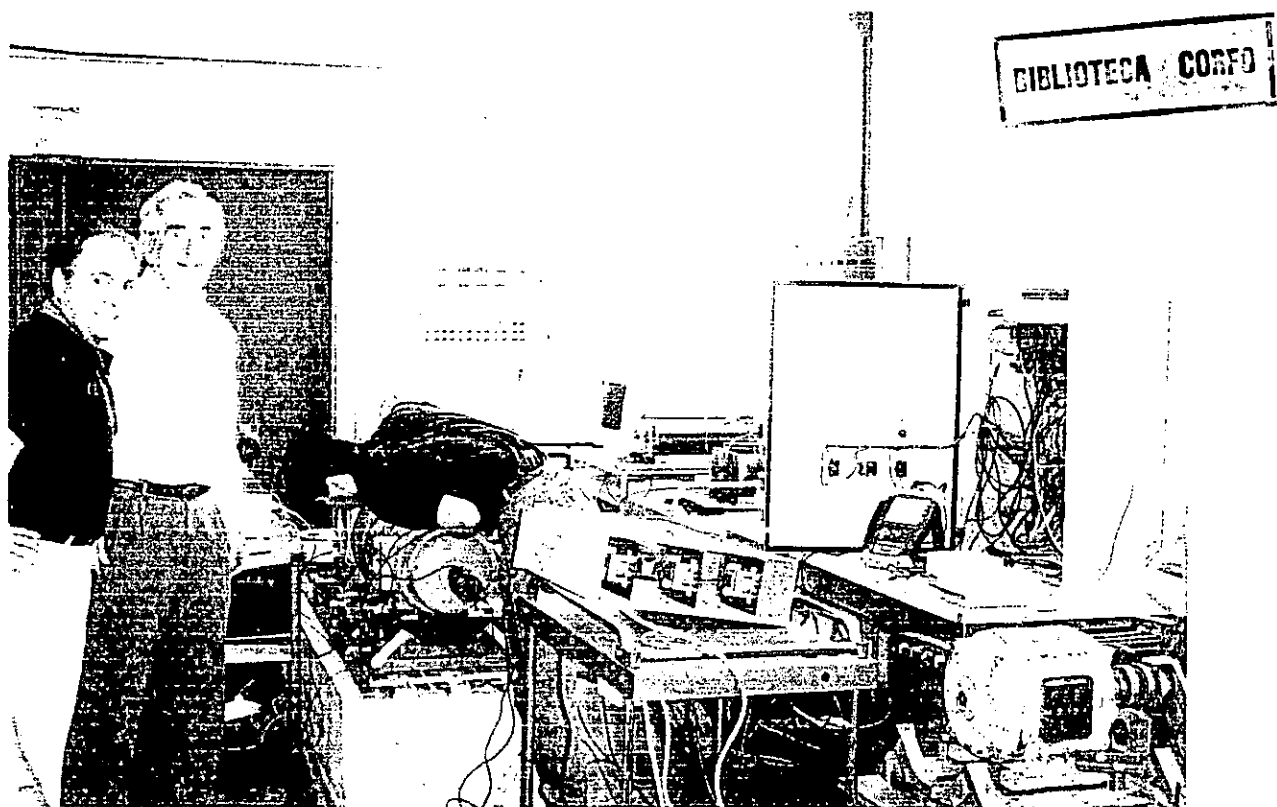
En este momento se está presentando al Metro un proyecto de construir un chopper adicional para instalarlo en un coche motriz NS-74. Esto implica rediseñar la ubicación de componentes del chopper prototipo fabricado por IDT e instalarlo también en el coche motriz (un chopper en cada bogie). Con ello se tendrá un coche motriz impulsado por los 4 motores originales, pero completamente equipado con 2 choppers electrónicamente controlados.

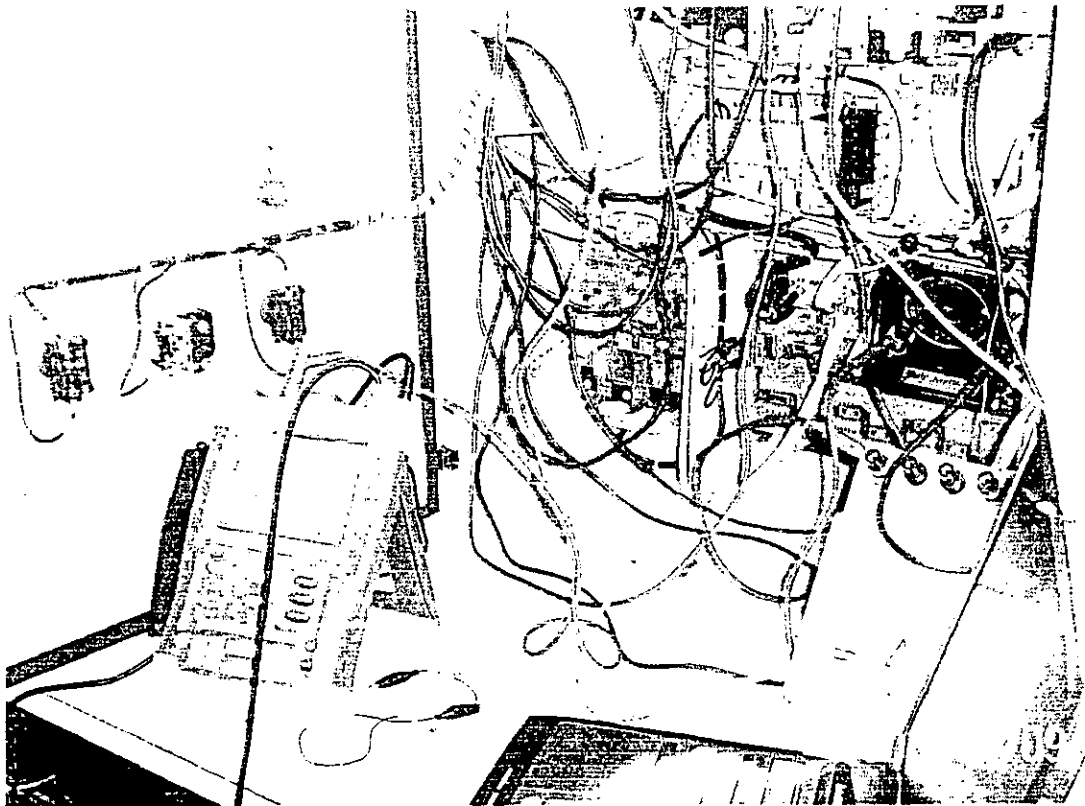
Esta etapa se hará por iniciativa del Metro-IDT y surgió a raíz de la presentación de resultados que se efectuó el miércoles 2 de Julio en el banco de pruebas construido en Talleres Neptuno, área de material rodante, y que contó con la presencia de altos personeros del Metro y de CORFO, del Sr. Pedro de Solminhiac, evaluador del proyecto Fontec, además de representantes de IDT y Transformadores Tusan.

4. ANEXO Nº 2: RESUMEN DE ACTIVIDADES DESARROLLADAS

a) Recopilación de antecedentes y diseño de un prototipo escala de laboratorio

Una vez hecha esta parte inicial se seleccionó una topología de chopper regenerativo, se simuló su operación alimentando una máquina de corriente continua en régimen de motor y de freno regenerativo. Luego se construyó un prototipo de laboratorio para demostrar experimentalmente las hipótesis planteadas y se probó en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la UTFSM con resultados satisfactorios.





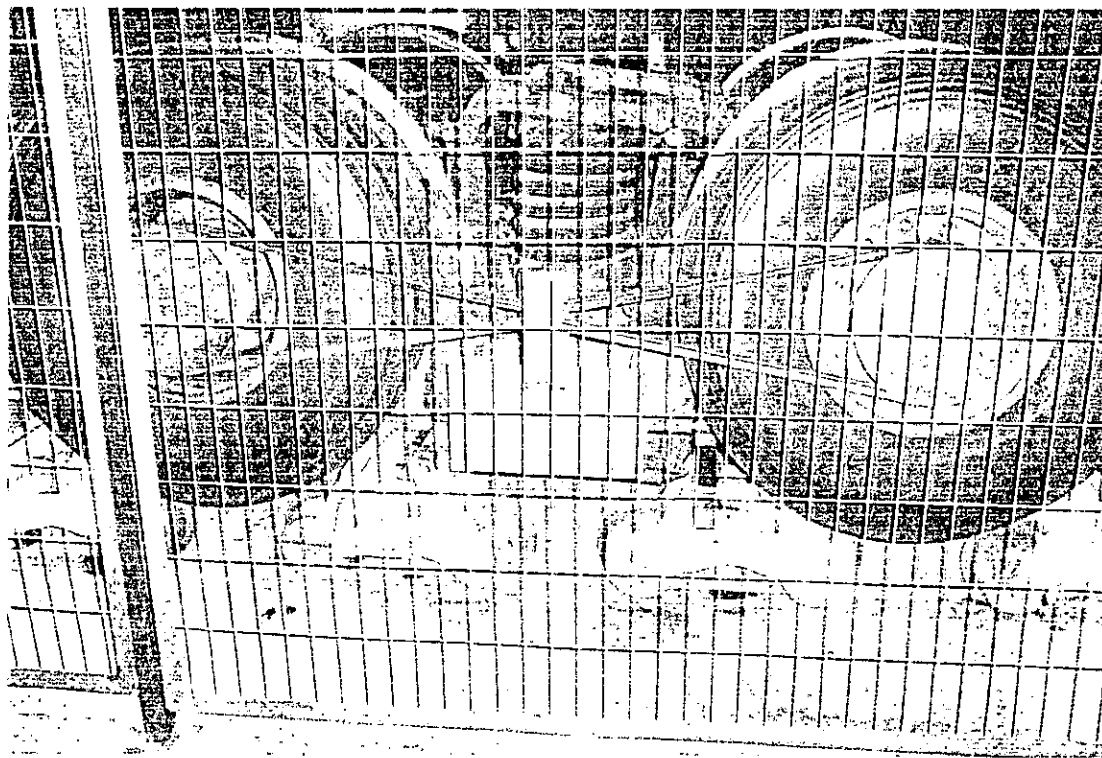
b) Construcción del prototipo es escala 1:1 y banco de pruebas

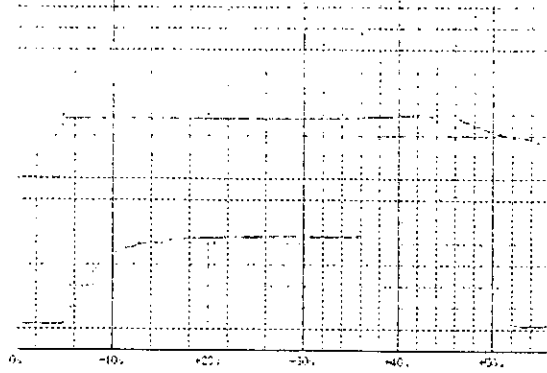
IDT construyó un prototipo en escala real para ensayarlo en un boggy de un coche de tracción NS-74. Simultáneamente personal del Metro construyó un banco de pruebas consistente en un boggy con los 2 motores originales de corriente continua instalado en una de las vías de los Talleres Neptuno, área de material rodante.

Se hizo pruebas de conjunto en el banco, primero alimentando el chopper desde una red auxiliar y luego conectando el equipo directamente desde la catenaria de 750 V CC.

Se probó el accionamiento bajo condición de partida directa con control de corriente y régimen de carga para diferentes presiones en las zapatas de los frenos. Se cargó el sistema hasta 2,5 bares de presión en las zapatas, lo que corresponde a una condición de 3 pasajeros por m²







Registro de una partida con corriente controlada (curva azul). Partida instantánea 0-300A. La curva roja representa la tensión de un motor de tracción (proporcional a la velocidad).

BIBLIOTECA CORFO