

3216

3216  
334  
2003

Informe final  
Código del Proyecto : 202-3082

RECUBRIMIENTO METALICO DE FIGURAS DE ARTE POR METODO  
ELECTROQUIMICO

CIBLIOTECA : CORFO

Empresa Beneficiaria : Casa de las Piedras S.A.

Fecha entrega : Enero 10, 2003

731.45  
C 334  
2003

## PRESENTACIÓN

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

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

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

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

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

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

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

**FONTEC - CORFO**

## INDICE

Descripción	Pag.
A. RESUMEN EJECUTIVO	3
A.1 Antecedente de la empresa	3
A.2 Síntesis del proyecto	3
A.3 Resultados del proyecto y conclusiones	3
B. EXPOSICION DEL PROBLEMA	4
B.1 Justificación de la ejecución del proyecto	4
B.2 Objetivos técnicos del proyecto	4
C. METODOLOGIA	5
C.1 Metodología	5
C.2 Plan de trabajo ejecutado	5
D. RESULTADOS OBTENIDOS	11
E. IMPACTOS DEL PROYECTO	12
E.1 Impactos técnicos-económicos	12
E.2 Implementación de los resultados	12
F. ANEXOS	14

CIBLIOTECA CORFO

## **A) RESUMEN EJECUTIVO**

### **A.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA**

Casas de las piedras S.A. inicia sus actividades en 1981, motivada por su dueña, María Ester Santelices Ortiz, escultora y diseñadora de la Universidad de Chile, cuya experiencia se fundamenta principalmente en el esculpido de piedra. Su objetivo se proyecta a la creación de figuras hechas de piedras reconstituidas para la ornamentación de jardines e interiores como: Fuentes, Pilas de agua, Columnas, Estatuas, Maceteros etc. La técnica aplicada comprende la mezcla de piedras molida con cemento blanco y pigmentos.

En 1988 las operaciones comerciales se iniciaron con ventas de M\$ 40.000 anuales en los talleres arrendados y ubicados en la calle Lo Barnechea 517, en el pueblo Lo Barnechea.

En 1991, la empresa aumenta sus activos y adquiere un terreno de 1200 m. En la misma calle N°1281, edificando posteriormente talleres y oficinas por un valor de M\$ 11.000

### **A.2 SINTESIS DEL PROYECTO DE INNOVACION**

El objetivo del proyecto de Innovación Tecnológica, fue producir figuras de Arte recubiertas por vía electroquímica. Estas figuras fueron hechas en diferentes materiales no conductores como : Yeso, Plástico y Resina

El proceso es único en el país y además significativo una reducción considerable en los costos, comparado con el proceso de "Fundición a la cera perdida", cuyo objetivo es el mismo pero el actual utiliza un alto número de mano de obra y combustible.

Este proceso permitirá incrementar el mercado a sectores medios por lo menores Valores logrados en la producción.

### **A.3 PRINCIPALES RESULTADOS DEL PROYECTO Y CONCLUSIONES**

#### **A.3.1 Resultados:**

Los resultados obtenidos en este estudio fueron:

- La determinación de los parámetros físicos y químicos más óptimos para recubrir figuras con finas capas metálicas ( Cobre, Níquel y Bronce ) a través del método electroquímico.
- La construcción de una planta piloto que permitió obtener dichas figuras basado en los parámetros obtenidos en la primera etapa.

### **A.3.2. CONCLUSIONES:**

En este proyecto se concluye que los objetivos propuestos fueron exitosos, ya que el proceso de Recubrimiento metálico por vía electroquímica desarrollado en la planta piloto, demostró que los productos obtenidos por dicho proceso son de excelente calidad.

Con la tecnología adquirida en este estudio será posible en un futuro cercano la construcción de una planta industrial que permitirá disminuir los costos de producción de este tipo de obras de arte y de esta manera ampliar el campo comercial que hasta ahora esta restringida a un sector minoritario de la sociedad.

Las conclusiones específicas se detallan en el punto C.2 ( Plan de trabajo)

## **B) EXPOSICION DEL PROBLEMA**

### **B.1. Justificación de la ejecución del proyecto.**

Los motivos que justificaron la ejecución del proyecto se basaron en los siguientes Principios

- Disminución de los costos de producción de obras de arte al reemplazar el método actual conocido como Fundición artística a la cera perdida por método de electro deposición.
- Creación de una nueva tecnología no disponible en el país
- Incremento del mercado nacional por la fuerte reducción en los costos.
- Factibilidad de exportación debido a los bajos precios de mercado y a la obtención de productos con terminaciones finas similares a las producidas por fundición.

### **B.2. OBJETIVOS TECNICOS**

Los objetivos técnicos del proyecto fueron los siguientes

- Desarrollar y adaptar un proceso tecnológico a escala piloto para metalizar las copias originadas en el vaciado del proceso de moldeado, a través de una electro deposición, evitando de esta manera, la Fundición a la cera perdida.
- Diseñar y construir una planta piloto, que tenga las características de producir Recubrimiento metálico por vía electroquímica de acuerdo al desarrollo anterior.
- Definir las condiciones necesarias para implementar el proyecto en su etapa productiva.

## **C. METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO**

### **C.1. METODOLOGIA**

El procedimiento seleccionado para realizar el proyecto abarca una investigación bibliográfica orientada a la recopilación de antecedentes sobre métodos, equipos, materias primas y condiciones experimentales usadas en procesos de obtención de figuras de arte recubiertas por vía electroquímica.

A partir de los antecedentes reunidos en la etapa anterior se procedió al diseño adecuado del proceso, el que involucro: Equipos, dimensionamiento de estos, materiales de construcción, materias primas y varios.

Estos pasos permitieron la confección de plano para determinar su correcto montaje.

A continuación se desarrollo la etapa experimental del proyecto con el propósito de evaluar el grado de respuesta de la planta.

Las pruebas consistieron en la observación del comportamiento operacional de las diversas partes que componen el proceso: Concentración de las soluciones, PH, Tiempo de deposición, Voltaje requerido, materiales de recubrimiento e Intensidad de corriente. Una vez obtenida las figuras recubiertas, se sometieron a una evaluación de sus terminaciones.

### **C.2 PLAN DE TRABAJO EJECUTADO**

El plan de trabajo ejecutado en la realización del proyecto se describe de la siguiente manera:

#### **C.2.1. Investigación Bibliográfica**

Se recurrió a libros relacionados al tema de la electro deposición y a los conocimientos y experiencia en electrólisis de la empresa: Industrias Químicas y Mineras del Cobre a través del técnico señor Manuel Iturrieta.

Los antecedentes recopilados permitieron tomar conocimiento de los siguientes temas:

- Proceso industrial de la electro deposición
- Materias primas y aditivos involucrados en el proceso
- Requerimiento de energía eléctrica y sus características en el proceso
- Características de los equipos e instrumentación
- Parámetros operacionales como: \*Material de recubrimiento, Rangos de temperaturas, Agitación, Intensidad de corriente, concentración de soluciones electrolíticas, tiempo de electro deposición, Masa metálica depositada.

La bibliografía consultada y el desarrollo de estos temas se encuentran en el anexo 3.

Esta investigación bibliográfica permitió conocer los parámetros y equipos necesarios para implementar una planta de electro deposición.

### C.2.2. Diseño del proceso, equipos de la planta y Montaje.

Con los antecedentes reunidos en el punto anterior se procedió al diseño de la planta. Determinándose la construcción de tres Celdas electrolíticas de fierro revestidas en fibra de vidrio, con las siguientes dimensiones: 2 m. de largo X 0.7 m de ancho X 1 m de profundidad. Estas fueron montadas en el galpón construido especialmente para la planta piloto.

Los planos de diseño y el diagrama del proceso se encuentran en el anexo 4.

### C.2.3. Etapa experimental.

Esta etapa se inicio con la parte específicamente experimental del proyecto. Esta consistió en realizar una secuencia de pruebas destinadas a evaluar y determinar las condiciones optimas del proceso de electro deposición, para ser llevado a un proceso productivo.

Se debe mencionar que en la etapa experimental se aplicaron los fenómenos de la galvanostegia que tiene por objeto producir revestimientos metálicos sobre objetos de metal y no metálico, siendo este ultima el caso que concierne a esta investigación. Sobre este tema, los parámetros de Densidad de corriente, temperatura, PH, concentración de electrolitos, etc. Son universalmente conocidos. Por lo tanto, en la investigación se utilizaron los valores que normalmente se usan en la galvanización de objetos y siguiendo las normas que utilizan las empresas del ramo, también como las empresas que comercializan las materias primas. Las pruebas para encontrar los valores óptimos operacionales se basaron en los datos encontrados en los manuales de galvanización industrial.

A continuación se explica el proceso químico que sucedió en la galvanostegia aplicada: En general, el metal que se deposito en la figura, se obtuvo de una sal disuelta en el baño de galvanostegia (Sulfato de cobre, Sulfato de níquel y Bronce) y un Anodo del mismo Ion requerido. La fuerza electromotriz aplicada a los terminales de la celda que se utilizo para vencer las diferencias de concentración, caídas de voltaje, resistencia óhmica de la solución, sobrevoltaje, etc.; fue baja, entre 2 y 7 voltios.

En la practica, la preparación de las figuras a revestir fue una operación tan importante como la misma galvanostegia. Si se quiere producir un acabado de alta calidad, no pueden darse reglas generales respecto a los métodos utilizados para preparar las figuras a revestir, ya que hay que considerar el material de que se compone la figura, el estado en que se encuentre este, su forma, su tamaño, composición, la clase de superficie y en el caso de esta investigación la variable mas critica de encontrar fue la película usada para cubrir las figuras. De tal manera, que esta película envolvente atrajese eficientemente los iones metálicos usados ( Cu, Ni, Bronce )

## PREPARACION DE LA FIGURA Y BAÑOS.

Las figuras que mas dieron resultado para metalizarla fueron la compuesta por resina de poliéster ya que su maleabilidad permitió elaborar mejor las figuras, dándoles terminaciones mas finas y perfectas. Además se logro un buen recubrimiento de estas con la pasta generadora de la atracción iónica.

La pasta conductora fue desarrollada especialmente para el proyecto por Pinturas Ceresitas. Esta compuesta por: Solventes, Grafito, Polvo de cobre y resina de poliéster

Una vez preparada las figuras se prepararon los baños respectivos para cobrear y luego broncear y niquelar. Estos baños están formados por los siguientes compuestos, según las normas universalmente conocidas:

Metal	Tipo Baño	Ánodo	Intensidad amp./dm <sup>2</sup>	Temperatura °C
Cobre	Sulfato ácido	Cobre	1.6 - 4.3	25 - 50
Níquel	Sulfato cloruro	Níquel	1.5 - 5.4	50 - 60
Bronce	Cianuro	Aleación Cu/Zn	0.2 - 0.5	32 - 42

Estos baños se consideran formados por diferentes partes: 1) La sal que contiene el ion o radical libre; 2) Una sal adicional cuya función es aumentar la conductividad la conductividad del baño; 3) Un material para efectuar la corrosión del ánodo e impedir la pasividad del mismo; 4) Un agente adicional para lograr conseguir el tipo de deposito que se quiere producir y 5) Un material compensador para mantener en la solución el PH apropiado.

En general, para la producción de los depósitos de grano fino. que es lo que se pretende obtener, para un mejor pulido, se utilizan sales de baja ionización como son las sales dobles (  $\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$  )

Condiciones de operación:

Las condiciones de operación mas optimas que se lograron para el proceso de recubrimiento con cobre fueron:

- Densidad de corriente del catodo = 3-6 Amp/dm<sup>2</sup>
- Voltaje = variable alrededor de 2 voltios
- Temperatura = 21-30
- Anodos = Cobre fosforoso
- Celdas = Fierro revestido con fibra de vidrio

Composición del baño:

- Sulfato de cobre = 200 gr./lt
- Acido sulfúrico = 55gr./lt



- Cloruros = 50 ppm
- Abrillantador = 3 cc/lt
- Filtración = Con carbón activo

Preparación del baño:

- Se llena con agua destilada las  $\frac{3}{4}$  parte del volumen total de la celda.
- Agitando lenta y cuidadosamente se añade el ácido sulfúrico concentrado. Al efectuar esta adición se genera calor, el cual se aprovecha para disolver el sulfato de cobre.
- Una vez que el sulfato está completamente disuelto, se agrega el agua desmineralizada hasta completar el volumen total del baño.
- A continuación se agrega al baño 4gr./lt de carbón activo, agitando constantemente durante 15 minutos. Luego, se deja decantar el baño para facilitar la filtración.
- Finalmente a la solución filtrada se incorporan los aditivos abrillantadores en la proporción indicada y los ánodos de cobre fosforoso, quedando el baño listo para operar.
- Debido a que el sulfato de cobre empleado en el baño no siempre tiene la pureza necesaria, se recomienda someter al baño ya preparado a una purificación electrolítica. Para ello, se usa una plancha precobrizada que se coloca en la barra catódica y se electroliza la solución por 1 a 2 horas a 1 a 3 amp./ dm<sup>2</sup>, bajando después el amperaje a 0.5 – a 1 amp./ dm<sup>2</sup> por otras 1 a 2 horas. La solución está en movimiento durante este proceso.

BIBLIOTECA CORFO

Las funciones que desempeñan cada componente de este baño son similares a la del niquelado. Es decir, el sulfato de cobre es el que suministra los iones de cobre. Durante esta operación, el contenido de cobre es mantenido por disolución química y electrolítica de los ánodos de cobre.

El ácido sulfúrico contribuye a la conductividad de la solución y a la disolución de los ánodos de cobre.

El ion cloruro debe ser mantenido en 50 ppm. Sobre 60 ppm el depósito puede presentar rugosidad, también contribuye a la pasivación anódica.

B) Las condiciones de operación mas optimas que se lograron para el proceso de bronce fueron:

- Densidad de corriente catódica = 0.5- 0.8 amp./dm<sup>2</sup>
- Voltaje = 3- 3.5 volts
- Temperatura = 20 – 25
- \* Ánodos = Latón
- PH = 9.3 – 10

Composicion del baño:

- \* Cianuro de cobre = 28gr./lt.
- \* Cianuro de Cinc = 12gr./lt
  
- \* Cianuro de sodio = 50gr./lt
- \* Carbonato de sodio = 8gr/lt

La preparación del baño es similar a la del cobre:

- Se llena la celda con agua a la mitad del volumen total
- Se agrega la sal de bronce, agitando la solución
- Se completa el volumen con agua

La falta de cianuro libre da lugar a la formación de capas poco conductoras sobre los ánodos, en dicho caso se agrego cianuro de sodio a razón de 1gr/lt hasta que se elimino el inconveniente. Se tuvo cuidado de no agregar en exceso ya que esto hace disminuir la penetración del bronce e impide la deposición. El exceso se compensa con agregado de cianuro de cobre, a razón de 1 gr./lt. El PH se controlo con carbonato de sodio ( sube ) y bisulfito de sodio (baja) .

C) Condiciones de operación mas optimas que se lograron para el proceso de niquelado:

- Densidad de corriente en el cátodo = 2-8 amp./ dm<sup>2</sup>
- Voltaje = variable 4.5-7
- Temperatura = 45-60
- Anodo = Níquel electrolitico
- PH = 3.9-4.6

### Composicion del baño

$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  = 220-250 gr. / lt.

$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  = 60 gr./lt.

Acido bórico = 45 gr./lt.

Abrillantador = 3ml./lt.

### Preparación del baño:

- \* La celda con agua destilada se calienta a 50-60 °C y se llena a 2/3 del volumen total.
- \* Se agrega primero el ácido bórico hasta su total disolución y en seguida el cloruro y sulfato de níquel.
- \* Una vez que estos 3 productos han sido completamente disueltos, se añade el agua destilada hasta completar el volumen total.
- \* A continuación se calienta el baño a 50-60 °C y se filtra con 4gr./lt. de carbón activo agitando constantemente la solución.
- \* Una vez terminado el proceso de filtrado se verifica el PH. Si es alto se corrige con ácido sulfúrico, si es bajo con carbonato de níquel.
- \* Finalmente se incorpora el abrillantador.

### C.2.4. Evaluación de los productos

En la evaluación de las figuras de arte, se procedió de manera interactiva con el proceso de electro deposición de tal manera, que los resultados de la evaluación sirvieron para corregir las variables operacionales, hasta llegar a obtener, el producto con las características comerciales y artísticas buscadas.

### C.2.5. Cronograma del proyecto

Etapas/Mes	1	2	3	4	5	6
Investigación Bibliográfica	■					
Diseño de proceso, equi. y montajes		■	■			
Etapa experimental y evaluación				■	■	
Informe final						■

## D. Resultados obtenidos

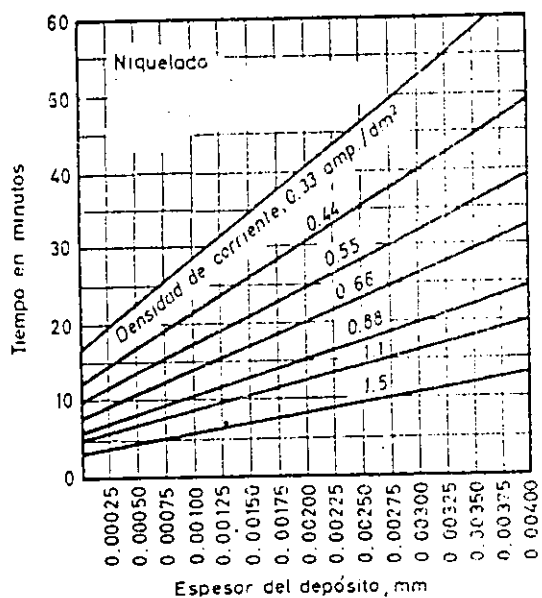
Los resultados obtenidos en esta investigación es una planta piloto cuyos planos de construcción y fotografías de la planta se muestran en el anexo 4. Al comparar los resultados obtenidos en las pruebas, con las características de terminación requeridas de las figuras, se concluye lo siguiente:

### D.1. Temperatura del baño electrolítico:

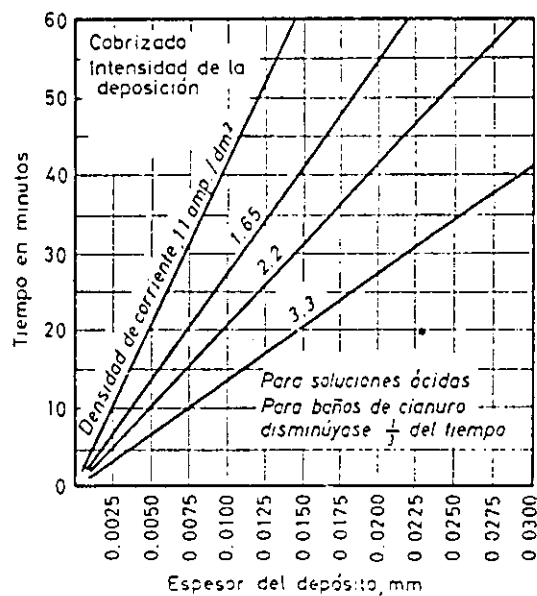
A mayor temperatura la electro deposición es mas rápida, existiendo un limite que depende del tipo de electrolito usado, generalmente esta fluctúa entre 25°C-60°C.

### D.2. Intensidad de corriente, tiempo de deposición y espesor del deposito:

Existe una correlación entre estas 3 variables en los baños comerciales. Estas se observan en las siguientes figuras:



Características de la deposición en el niquelado.



Características de la deposición en el cobrizado.

### D.3. Material de atracción de iones:

Se logro determinar que la mejor materia prima usada como sustrato fue la resina de poliéster ya que el yeso y cemento no presentaron terminaciones finas y bien acabadas. También la resistencia mecánica del recubrimiento fue débil. La película usada para atraer los iones metálicos que presento mayor eficiencia fue una mezcla de grafito y polvo cobre en una masa de solvente y resina. La cantidad de masa optima se determino a través de varias pruebas en que se usaron diferentes proporciones de resina y elemento metálico, cuidando que la resina no cubriera las partes metálicas para evitar de esta manera la aislación y el corte de la electro deposición.

#### D.4. Cantidad de elemento metálico depositado en las figuras:

Para determinar esta variable, se acudió a las tablas que indican los espesores comerciales de los revestimientos electrolíticos. El anexo 5 muestra los espesores mas comunes para el recubrimiento con niquela, cobre y bronce.

#### D.5. Aditivos:

El único aditivo que se uso fue un abrillantador adquirido en el comercio del ramo, que permitió dar mayor brillo a las figuras cuando estas presentaban un oscuro profundo.

### **E. IMPACTO DEL PROYECTO**

#### E.1. Impactos técnico-económicos.

El proyecto de Innovación tecnológica trae consigo un gran impacto positivo técnico – económico para la empresa. Ellos pueden resumirse en los siguientes términos:

- Oportunidad para crear una tecnología no disponible en el país:

Los resultados obtenidos una vez concluida la ejecución del proyecto, permitirán la implantación de una industria de Reproducción de obras de arte en el país. Este tipo de industria actualmente inexistente, utilizara un nuevo proceso, el que no ha sido desarrollado hasta ahora.

- Bajos costos de producción:

El nuevo proceso permite reducir los costos de producción con respecto al método tradicional de “Fundición a la cera perdida” el que utiliza mayor mano de obra, energía, tiempo y un proceso mas complejo.

- Incremento del mercado nacional:

La demanda de obras de arte, posee un mercado exclusivo por los altos valores de estas. Con el nuevo proceso, se espera incrementar el mercado debido a la fuerte reducción de los costos de producción, que incidirá finalmente en menores precios al consumidor.

- Factibilidad de exportación:

Exportar figuras de arte, ejecutadas por el proceso actual, no es posible por los altos precios de ellas y su escasa producción. El nuevo proceso, produce figuras recubiertas en metal de terminaciones finas y con calidad similar a las de Fundición lo que permitirá competir en mercados externos a un valor altamente competitivo.

#### E.2. Implementación de los resultados:

La empresa patrocinadora del proyecto “Casa de las Piedras” desarrollara como canales de distribución del nuevo producto, la venta directa mediante vendedores capacitados

para el cargo, representantes y además, a través del Salón de exposición permanente que posee actualmente en el pueblo Lo Barnechea.

La promoción se hará aplicando los medios usuales que utiliza hoy en día la empresa, esto es: Publicaciones de arte, Exposiciones, Diarios, folletos, etc.

También se aprovechará la ubicación del pueblo Lo Barnechea que por sus características de pueblo rural insertado en una gran ciudad, sea atractivo para turistas nacionales y extranjeros.

