



**PAUTA ELABORACION  
INFORME DE SEGUIMIENTO PARA  
INFORME DE AVANCE EXTRAORDINARIO**

**1. ANTECEDENTES GENERALES**

<b>Evaluador Técnico</b>	Jorge SUAZO MUÑOZ
<b>Código del Proyecto</b>	204-4162
<b>Empresa beneficiaria</b>	B y F Asesorías e Inversiones S. A. RUT: 96.770.800-3
<b>Título del proyecto</b>	Diseño y fabricación de una planta piloto para obtener dióxido de titanio (TiO <sub>2</sub> ) o rutilo sintético de alta pureza, a partir de arenas titaníferas en Valparaíso.
<b>Nº Informes del proyecto</b>	3
<b>Nº actual Informe</b>	2 de 3 (Corresponde al Informe Extraordinario de Seguimiento, según recomendación indicada en en la evaluación de informe Nº1 que se dejó pendiente mientras no se demostrara avance con este informe extraordinario)
<b>Periodo del actual Informe (dd/mm/aa al dd/mm/aa)</b>	Noviembre 2007
<b>Fecha de la visita técnica</b>	No se realizó
<b>Fecha de entrega Informe Seguimiento</b>	31 Enero 2008

**1.1 Observaciones solicitadas al empresario:**

Habiendo examinado el Informe de Avance Nº 2 confeccionado por la empresa con fecha Noviembre 2007, podemos observar lo siguiente:

- El proyecto se está realizando dentro de los términos de referencia programados, habiéndose consolidado un equipo de trabajo definitivo que ha continuado con esta iniciativa. Este mismo equipo ha dimensionado y seleccionado equipos principales y secundarios que componen el layout planta, y ha tenido que superar algunas dificultades técnicas importantes, especialmente el caso del espiral concentrador.
- En relación con el equipo de proyecto definitivo, observamos que parecen excesivos los RRHH del área de gestión de empresas (Srs. J. Fuller; M. Rodríguez; F. Martínez; G. Andonegui; J. Zuleta) en comparación a la cantidad de profesionales con formación tecnológica (Sr. D. Fuller). No obstante, esto no ha sido tomado en cuenta para la presente evaluación, en consideración a que el presente informe contiene las actividades, resultados y proyecciones deseables a la fecha.



- La UTFSM aportó con profesionales, a su costo, para el desarrollo del proyecto: un ingeniero civil metalurgista, un ingeniero ejecución metalurgista, además del ingeniero mecánico individualizado a continuación.
- En el Informe de Avance N° 1 (anterior) se recomendó integrar a algún profesional del área de ingeniería mecánica. En el presente informe se indica la incorporación del Sr. Alberto Horlacher, ingeniero de la especialidad y profesor de la UTFSM, quién ha llevado a cabo el diseño y dimensionamiento de la planta piloto y de los equipos necesarios para el desarrollo del proceso.
- Se ha confeccionado el diagrama unilineal del layout planta, a nivel conceptual, siendo suficiente como para considerar aprobado esta etapa del proyecto.

## **2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

El proyecto consiste en desarrollar una planta piloto que permita instalar y validar los procesos físicos, químicos y metalúrgicos ya estudiados, producidos y probados a nivel de laboratorio por el proponente, permitiendo generar conocimiento, control y optimización de ellos en una situación de escala industrial menor, para la obtención principalmente de Synrutile (Dióxido de Titanio) a partir de arenas ferrotitaníferas de las costas chilenas.

Como resultado se espera validar a escala industrial menor (planta piloto) un nuevo proceso tecnológico creado y probado a nivel de laboratorio y, además, conocer y manejar las condiciones de operación de los procesos de producción, de tal modo de obtener una nueva tecnología que permita separar el Synrutile de las arenas ferrotitaníferas de las costas chilenas.

### **2.1 Objetivo General:**

El objetivo general se describe en términos de:

Instalar una planta piloto para validar los resultados obtenidos en laboratorio de producción de Synrutile a partir de arenas ferrotitaníferas de las costas chilenas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

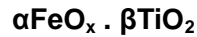
- Diseñar y construir una planta piloto de pequeña escala para producir dióxido de titanio sólido, de pureza entre 95 y 96% de concentración, con estructura de rutilo, con un contenido máximo de 1,5% de Fe total.
- Obtener del proceso de elaboración de dióxido de titanio, dos productos comerciales importantes: Hierro metálico o sales industriales de hierro; y Oxígeno gaseoso de alta pureza.
- Determinar los costos de producción a nivel planta piloto para el desarrollo en su fase productiva.
- Determinar las variables críticas del proceso de elaboración de dióxido de titanio para un escalamiento productivo industrial.

### **2.3 Descripción breve del Proyecto**

La empresa **B y F Asesorías e Inversiones S.A.** realiza investigaciones para obtener Synrutile a nivel de laboratorio, utilizando como materia prima las arenas negras ferrotitaníferas que se encuentran en el litoral central del país, las cuales contienen cantidades interesantes de hierro y titanio.



El titanio se encuentra bajo la forma de dióxido de titanio o rutilo (TiO<sub>2</sub>) y está asociado con óxido ferroso (FeO), este último generalmente más oxidado de lo que indica su relación estequiométrica, por lo cual el compuesto entre ambos se indica como:



donde x puede variar entre 1 y 1,5.

La tecnología de separación del rutilo desde la molécula precedente consiste en romper el enlace covalente Ti = Fe que mantiene unidos a estos dos elementos, teniéndose entonces la posibilidad de recuperar tanto el hierro como el titanio.

Para ello se procede a una reducción directa en estado sólido con hidrógeno gaseoso (como gas reductor) a temperatura de 900°C y a presión levemente sobre la atmosférica para facilitar el flujo de gases reductores y extraer los productos gaseosos de la reducción. Con ello se rompe el enlace Ti=Fe y el FeO<sub>x</sub> liberado se reduce a Fe<sup>0</sup> ó hierro metálico que no se vuelve a unir al radical TiO<sub>2</sub>. A continuación, se lixivia con algún ácido para disolver el hierro metálico, generándose hidrógeno gaseoso. El residuo insoluble estará constituido mayoritariamente por rutilo (TiO<sub>2</sub>).

Para obtener un producto final más puro, es necesario purificar la arena negra a tratar, mediante una limpieza acabada por métodos gravitacionales, centrífugos y magnéticos, tanto en seco como en húmedo, antes de comenzar el tratamiento reductor.

El proponente ha realizado experiencias a nivel de laboratorio que demuestran la validez teórica y práctica de la tecnología descrita, persistiendo las interrogantes técnicas y económicas de un escalamiento del proceso a un nivel semi-industrial, en este caso, a nivel planta piloto, lo cual ha originado el presente Proyecto de Innovación.

Su desarrollo, sin embargo, no ha estado exento de problemas, fundamentalmente referidas al diseño y construcción de equipos principales y equipos de apoyo, además de deserciones importantes del recurso humano (5 personas).

### **3. SEGUIMIENTO TÉCNICO DEL PROYECTO:**

#### **3.1 Actividades de la etapa según Términos de Referencia**

El programa se estructura según las siguientes fases, etapas y actividades:

Fase	Etapas	Actividades
Fase preliminar	Conformación equipo de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Equipo de trabajo.</li> <li>Selección de playas para el proyecto.</li> </ul>
	Ubicación planta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación terreno o local</li> <li>Selección terreno o local</li> <li>Arriendo.</li> </ul>
	Diseño planta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseño de equipos</li> </ul>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de layout planta</li> </ul>
Planta piloto	Construcción planta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción de equipos</li> <li>• Construcción de planta</li> <li>• Instalaciones de redes de insumos</li> <li>• Compra de equipos importados</li> <li>• Compra de equipos nacionales</li> <li>• Instalación de equipos nacionales</li> <li>• Instalación de equipos importados</li> </ul>
Estudios y permisos planta piloto	Estudios y pruebas preliminares	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios preliminares</li> <li>• Permisos</li> </ul>
Puesta en marcha planta piloto	Proceso playa 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas 100, 200, 300, 400 y 500</li> </ul>
	Proceso playa 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas 100, 200, 300, 400 y 500</li> </ul>
Difusión de resultados	Talleres de difusión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Talleres de difusión de resultados Valparaíso y Santiago</li> </ul>

### 3.2 Cumplimiento Programa de Actividades del Proyecto

En las siguientes tablas indicamos el cumplimiento en relación al avance propuesto en los Términos de Referencia, según actividades relevantes del proyecto:

<b>Actividad Nº 1</b>	<b>Conformación de equipo de trabajo</b>
<b>Comentarios</b>	<p>Durante el Primer Semestre 2007 el proyecto enfrentó la deserción de 5 investigadores principales. En cambio, durante el Segundo Semestre del mismo año, quedó conformado el equipo definitivo, compuesto de los profesionales Srs. J. Fuller; D. Fuller; M. Rodríguez; F. Martínez; G. Andonegui; J. Zuleta.</p> <p>A ello se agrega el personal provisto por la UTFSM consistente en dos ingenieros metalúrgicos; más un ingeniero mecánico (Sr. Alberto Horlacher) cuyo costo es asumido por esta misma casa de estudios (1/3 jornada).</p> <p>También se realizó la selección de playas para el proyecto que además de Cartagena Chica y Santo Domingo, se han incluido las playas de Puerto Saavedra (Temuco) y Arauco.</p>
<b>Grado cumplimiento</b>	<b>100%</b>



<b>Actividad Nº 2</b>	<b>Construcción planta: Construcción de planta, instalaciones de redes de insumos, compra e instalación de equipos</b>
<b>Comentarios</b>	<p>Durante esta etapa se identificó y seleccionó la ubicación definitiva del terreno donde se construye la planta piloto.</p> <p>El diseño del layout planta se encuentra terminado, tanto en lo que se refiere a las obras civiles, como a las redes de suministro (agua, alcantarillado, luz y fuerza, comunicaciones).</p> <p>La planta propiamente tal (galpón, redes de suministro, comunicaciones) fue construida con un retraso de 1 mes (habiendo comenzado el 14/03/07) y ya se encuentra terminada.</p>
<b>Grado cumplimiento</b>	<b>100%</b>

<b>Actividad Nº 3</b>	<b>Construcción planta: Diseño de equipos principales y de apoyo</b>
<b>Comentarios</b>	<p>En relación con los equipos principales y de apoyo, cuya compra se había programado inicialmente, el proponente decidió ampliar sus alternativas posibles, de manera de optimizar el uso del presupuesto asignado. Es así como se consideró las alternativas de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar y construir</li> <li>• Compra</li> <li>• Arriendo</li> <li>• Préstamo de equipos.</li> </ul> <p>Asimismo, se realizó pruebas de los nuevos equipos (espiral concentrador) y ajustes a diseños (separador magnético y alimentador electromagnético), no considerados inicialmente, según las necesidades que han surgido a medida que avanza la ejecución del proyecto.</p> <p>Actualmente se ha alcanzado un mejorado diseño y layout de equipos, manteniéndose, de todas maneras, la posibilidad de realizar mejoras a los mismos durante todo el proyecto.</p> <p>También se han elaborado los planos respectivos a nivel de ingeniería básica y diagramas unilineales del proceso, a un nivel más detallado que el informe anterior (Informe Avance Nº 1).</p>
<b>Grado cumplimiento</b>	<b>100%</b>

<b>Actividad Nº 4</b>	<b>Estudios y pruebas preliminares y proceso playa</b>
<b>Comentarios</b>	<p>Esta etapa incluye los estudios y pruebas preliminares que han sido realizados y cuyos resultados se han incluido en tanto en el Informe Avance 1 y 2 entregados por el proponente a INNOVA. Estos estudios tienen relación con cinética de reducción, aditivos y peletización.</p> <p>Por otra parte, se obtuvo los permisos correspondientes de extracción de arena desde las playas Cartagena Chica y Santo Domingo, para efectos de realizar las primeras experiencias en planta piloto.</p>



	<p>Debemos notar que se indica, además, que se han extraído arenas desde otras dos playas (Puerto Saavedra y Temuco), que podría ampliar el conocimiento del proceso planta piloto hacia un espectro más amplio de materia prima.</p> <p>Se observa como correcto el plan de muestreo diseñado por el proponente, tanto en puntos de toma de muestra, como en cantidad extraída en cada caso: 1 tonelada desde cada playa (no creemos necesario describir aquí el detalle preciso de este procedimiento). El plan de muestreo de cada playa se denomina "Proceso playa 1 y 2", respectivamente, al cual se debe agregar las otras dos playas.</p> <p>A continuación del proceso playa, viene la preparación y ensaye de muestras en planta piloto, todo lo cual está supervisado bajo un estricto procedimiento de preparación de muestras, con el propósito de separar impurezas contenidas en las arenas (lamas y otras), conocer cabalmente las variables del proceso y obtener los mejores resultados de recuperación de Synrutile.</p>
<b>Grado cumplimiento</b>	<b>100%</b>

<b>Actividad Nº 5</b>	<b>Difusión de resultados</b>
<b>Comentarios</b>	<p>Esta etapa comprende todas las actividades tendientes a la difusión y/o exposición de los resultados y la tecnología del proyecto, según el nivel decisional que corresponda a cada auditorio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se considera realizar talleres de difusión en los campus Valparaíso y Santiago de la UTFSM, estando programado su realización para los meses de Diciembre 2007 y Enero 2008.</li> <li>• La página Web está encuentra terminada y funcionando.</li> <li>• Se ha tomado contacto con potenciales inversionistas, nacionales y extranjeros, interesados en la tecnología, según se indica más abajo. Esto es especialmente importante para dar continuidad al proyecto, una vez demostrada la validez y potencial industrial que entreguen las pruebas de planta piloto.</li> </ul>
<b>Grado cumplimiento</b>	<b>50%</b>

### 3.3 Comentarios Técnicos Generales:

En términos simples, la presente innovación consiste en el diseño, a nivel de planta piloto, de un proceso ya probado en laboratorio que tiene como propósito la obtención de rutilo sintético (TiO<sub>2</sub>), usualmente llamado Synrutile, de alto valor comercial. Como subproductos se proyecta obtener hierro metálico o sales de hierro, y oxígeno de alta pureza.

Se encuentran realizadas las obras civiles para la construcción del galpón y la instalación de las redes de suministro (agua, alcantarillado, luz y fuerza, comunicaciones, entre otros).

El equipamiento de la planta piloto se realizó de la siguiente forma, debido a los altos costos de compra, permitiendo optimizar el presupuesto disponible:

- **Construcción de equipos:** horno de reducción directa; horno secador rotatorio; reactor de lixiviación; tamiz vibratorio; horno de calcinación; sistema de filtración al vacío.



- **Compra:** lavador rotatorio (betonera); calefactor a gas para horno rotatorio.
- **Arriendo de equipos:** espiral concentrador (arrendado a ERAL Chile), cuyo uso fue posteriormente descartado.
- **Préstamo:** el separador magnético y el alimentador electromagnético fueron aportados por la empresa POLIMIN, representante en Chile de la empresa ERIEZ MAGNETICS (USA).

Entre las dificultades técnicas se encuentra el espiral, equipo que separa los minerales densos de los livianos, cuyo uso en el proceso fue finalmente descartado, ya que después de varias pruebas se demostró que era suficiente el separador magnético y el tamizado. El espiral posee limitaciones en el tratamiento de finos, sobre todo si no hay una buena liberación de las especies.

Se observa la incorporación de un profesional del área de ingeniería mecánica, quien sin duda ha significado un aporte importante al equipo de proyecto en temas de diseño y construcción de planta piloto, diseño de layout de equipos, confección de planos de construcción, y en realizar algunas modificaciones técnicas para lograr un mejor desempeño de algunos equipos, particularmente el separador magnético y el alimentador electromagnético, las cuales serían aprovechadas por POLIMIN en su comercialización nacional.

En el presente Informe de Avance N° 2, el proponente incluye también los resultados de sus investigaciones sobre:

- Cinética de reducción de arenas negras chilenas.
- Peletización del mineral ferrotitanífero con azúcar para su reducción directa.

Dichos informes han sido examinados, tanto en su presentación como en su contenido y profundidad. También fueron revisadas las relaciones estequiométricas; los diagramas de fases de la mezcla  $\alpha\text{FeO}_x \cdot \beta\text{TiO}_2$  y otras especies asociadas (como magnetita y hematita); las experiencias de laboratorio realizadas e informadas. Todo ello se considera satisfactorio.

Actualmente se continúa realizando las experiencias tanto a nivel de laboratorio como de planta piloto, siendo este último caso el propósito fundamental del proyecto; más aun, cuando esta investigación podría eventualmente dar origen a un escalamiento de nivel industrial, susceptible de ser financiado con recursos privados.

Respecto de los permisos sectoriales necesarios, se solicita que el proponente los incorpore en el texto (fotocopia), dado que se trata de una extracción de arenas de playas con cierto valor turístico. Además, indicar el impacto sobre los costos respecto de la incorporación de otras dos playas no previstas inicialmente, las que en caso de estar dentro del presupuesto asignado, no debieran significar inconveniente para efectos de ampliar las posibilidades de materia prima para la planta piloto.

Se mantiene el plazo originalmente previsto para la ejecución del proyecto, que es de 12 meses.

#### **4. CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES**

El tema de producción de dióxido de titanio no está exento de complicaciones de diversa índole, pese al valor comercial del producto. Como referencia, el precio del concentrado de rutilo fue de 460-480 US\$ por tonelada métrica, al cierre del año 2006. Entre los principales países productores de titanio y sus derivados se encuentran Australia, Canadá, China, Japón, Kenia.

En Chile, el único yacimiento propiamente tal conocido se encuentra ubicado en la Cordillera de Los Andes; a diferencia de la mayoría de otros depósitos minerales que son de tipo "placer" y están situados



en las playas del litoral central. En este último caso, existe conflicto de intereses entre la obtención industrial de TiO<sub>2</sub> y el valor económico y/o turístico de un determinado litoral o zona geográfica, situación que podría llegar a retrasar los permisos sectoriales correspondientes.

En nuestro caso particular, se tuvo que superar diversas situaciones de retraso surgidas durante los primeros 6 meses de proyecto, relacionadas con la deserción de investigadores, diseño y costo de equipos principales y de equipos de apoyo, escalamiento de las experiencias de laboratorio hacia un nivel de planta piloto (que constituye precisamente el Objetivo General del presente proyecto).

Un objetivo estratégico importante para el equipo de proyecto es la búsqueda de potenciales inversionistas para dar continuidad del negocio hacia una fase de producción a escala industrial. Esto requiere conocer las variables fundamentales para una producción de tamaño industrial: escalamiento del costo operacional y del balance de materia y energía.

A pesar de los problemas surgidos durante la realización del presente proyecto –referidos fundamentalmente a la deserción de gran parte del recurso humano- el personal directivo del proyecto (Sr. D. Fuller) debió asumir mayores responsabilidades y liderazgo, tanto para continuar adelante con la iniciativa, como para reclutar nuevo personal con disposición a asumir la tarea de llevar a buen término el proyecto.

La revisión del informe muestra algunos hitos importantes alcanzados:

- Ubicación definitiva del local donde se construye la planta piloto, que es en calle Limache N° 3291, barrio industrial de El Salto, Viña del Mar, V Región; cuyo contrato de arriendo se formalizó el 01 de marzo 2007.
- Obtención de permiso emitido por la Gobernación Marítima de San Antonio para la extracción de las arenas de las playas de Cartagena Chica y Santo Domingo.
- De igual forma, se indica haber obtenido los permisos correspondientes para la instalación y operación de la planta piloto.
- Una página Web que se encuentra en funcionamiento ([www.proyectotitanio.cl](http://www.proyectotitanio.cl)).

Respecto de la difusión de resultados, se han realizado reuniones con actores relevantes interesados en esta tecnología, con los cuales se está estudiando posibles inversiones y/o asociaciones para continuar con el proyecto a escala industrial. Estos actores son:

- Visita del Gerente General de la **Compañía Minera del Pacífico**, filial de la Compañía de Acero del Pacífico, Sr. Erick Weber, en Noviembre 2007.
- Reunión con el Sr. Augusto Matte, representante del **Grupo Matte**, controlador de CMPC.
- Visita del Sr. Richard Bowers, presidente y CEO de **TOR Minerals Internacional Inc. (USA)**.
- Reuniones de trabajo con inversionistas dueños de pertenencias mineras con el tipo de arenas que se necesitan para la obtención de titanio, **Srs. Jaime Baier y Héctor Pedrero**.
- Reuniones con el **Sr. Juan Latorre**, ex controlador de COPESA.

Además, se han integrado al proyecto las siguientes entidades:

- La UTFSM, a través de su cooperación con 2 profesionales del área de ingeniería metalúrgica, más un profesional de ingeniería mecánica.
- La empresa POLIMIN, representante en Chile de la empresa ERIEZ MAGNETICS (USA), también interesada en invertir, que aportó en calidad de préstamo el separador magnético y el alimentador electromagnético.





De acuerdo a los antecedentes proporcionados por el evaluador del informe, se recomienda aprobar este informe extraordinario y como consecuencia el informe N°1 que se encontraba pendiente su aprobación en función de los avances y resultados comprados en este informe extraordinario, destacando positivamente los logros obtenidos a la fecha del informe y la consecución de potenciales inversionistas interesados que podrían entregar continuidad operacional y financiera para el escalamiento del proyecto hacia un nivel industrial.

---

**XIMENA VASQUEZ C**  
**Ejecutivo de Proyectos**  
**INNOVA CHILE - CORFO**