



PLANTA COKER ENAP **EN LA TIERRA** **COMO EN EL** **CIELO**



MARCELO CASARES
EDITOR REVISTA BIT

La ejecución del Complejo Industrial Coker de Refinerías ENAP en Concón destaca por fuertes apuestas técnicas en las profundidades de la tierra con pilotes de 50 metros y en las alturas con montajes de equipos a más de 60 metros.

LAS COSAS POR SU NOMBRE, no todos los días en nuestro país se ejecutan proyectos vinculados al área de combustibles, y menos de la magnitud del emprendimiento de la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) en la V Región.

No se exagera; para nada. Se trata de una inversión de US\$ 430 millones destinada a la construcción del Complejo Industrial Coker, un conjunto de plantas que abarca una superficie de 50 mil m², en terrenos adyacentes a las instalaciones de ENAP Refinería Aconcagua, en Concón.

La iniciativa duplica su interés porque involucra la incorporación de avanzada tecnología que suma valor agregado al procesamiento de combustibles en Chile. Si bien una Unidad de Coker no dice mucho para personas ajenas a esta especialidad, los misterios que genera este término se develan de manera sencilla: En este recinto se transformarán los productos pesados del petróleo en gasolinas y diesel de alta calidad. Es decir, la materia prima se procesa para obtener derivados de mayor valor agregado. "Se trata de un proceso de coquización retardada que transforma las partes pesadas del crudo en productos más livianos y valiosos como la gasolina y diesel", señala Mario Cuneo, di-

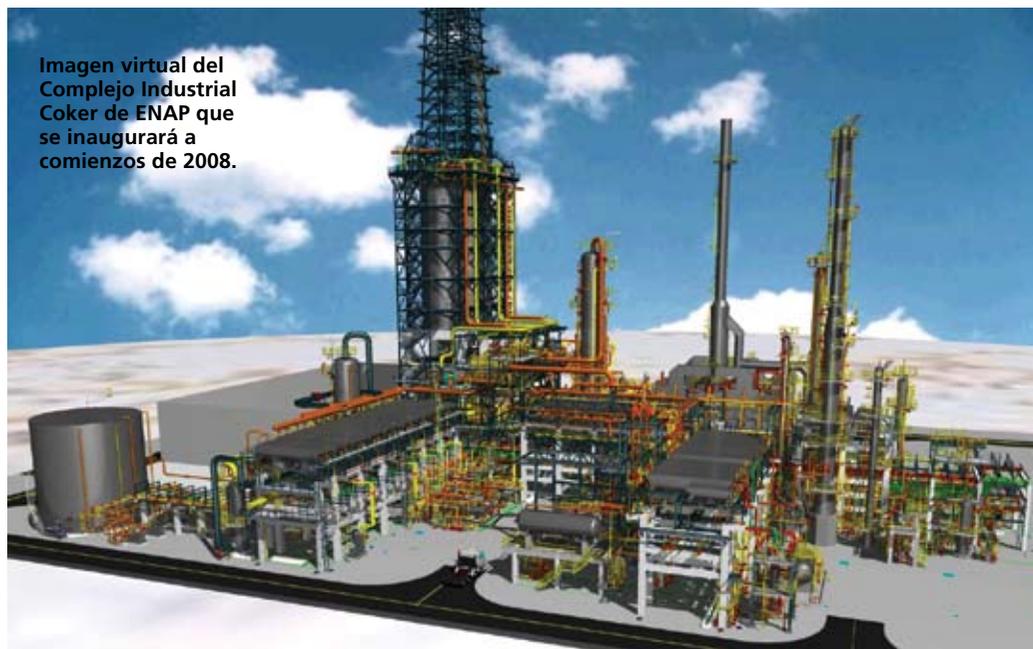


Imagen virtual del Complejo Industrial Coker de ENAP que se inaugurará a comienzos de 2008.

FICHA TÉCNICA

Proyecto:	Complejo Industrial Coker
Propietaria:	Sociedad Energía Concón, ENERCON (Foster Wheeler Iberia, Técnicas Reunidas, Ferrostaal y ENAP Refinerías)
Contratista:	Consorcio integrado por Foster Wheeler Iberia, Técnicas Reunidas y Ferrostaal
Inversión:	US\$ 430 millones
Superficie:	50 mil m ²
Pilotes:	72 de 1,2 m de diámetro y profundidad promedio de 47 m
Horas hombre (HH):	3.700.000
Peak trabajadores por día:	1.500
Terreno mejorado:	300.000 m ³
Hormigón:	21.000 m ³
Montaje:	3.900 t de estructura metálica y 4.500 t de tubería
Equipos:	313 equipos
Avance:	56% (Diciembre 2006)
Plazo de entrega:	Inicios de 2008



Para transportar los equipos recipientes de coke se analizaron los caminos y puentes existentes entre el puerto y la planta de ENAP.



rector de proyecto de ENAP Refinerías.

El emprendimiento, con capacidad para procesar 20.000 barriles diarios, contempla también unidades de tratamientos y obras de infraestructura para la regeneración de aminas, procesamiento de aguas ácidas y recuperación de azufre. A esto hay que sumar las plantas de tratamiento de agua y gases, la antorcha, estanque de nafta, sistema cerrado de recolección de drenajes y de condensado, manejo de carbón de petróleo e interconexiones.

Bases sólidas

Con tal cantidad y diversidad de faenas, no parece sencillo ejecutar un proyecto de esta magnitud. Cualquier mortal estaría atormentado por un tremendo interrogante, ¿por dónde empiezo? En ENAP la respuesta está clara, hay que comenzar por el desarrollo de un buen proyecto de diseño. Y así fue. Los profesionales de la empresa estatal se pusieron manos a la obra en el 2003 para elaborar un minucioso plan maestro del complejo, que incluyera detalladas descripciones de cada área y trabajo a ejecutar. “El mejor punto de partida para el proyecto consistió en elaborar rigurosas bases de diseño, que contemplaron múltiples aspectos, desde el mejoramiento de suelos para la construcción, hasta los requisitos aplicables a las pruebas de funcionamiento de las unidades, pasando por los elementos de la ingeniería de detalles, el suministro y fabricación de

equipos, y la construcción. Con adecuadas bases de diseño, que formaron parte de la licitación, se alcanza una más eficiente ejecución del proyecto porque, por ejemplo, se minimizan las órdenes de cambio y los trabajos adicionales que incrementan los costos”, agrega Cuneo.

La conclusión no es tan difícil: Con una planificación detallada se torna más previsible la materialización de la iniciativa. La licitación de la construcción se efectuó en modalidad EPC (Engineering, Procurement and Construction - Ingeniería, Suministro y Construcción). Se realizó en forma internacional y con una etapa de precalificación. Finalmente, la adjudicación recayó sobre el consorcio formado por las firmas españolas Foster Wheeler Iberia y Técnicas Reunidas y la alemana Ferrostaal.

El proceso tiene la particularidad de que se llevó a cabo la licitación de asociación junto con la de construcción y así los ejecutantes de la obra también son propietarios. Si bien este modelo resulta habitual en concesiones, es bienvenida la profundización del concepto. El mandante es la sociedad Energía Concón (ENERCON) integrada por Foster Wheeler Iberia (17%), Técnicas Reunidas (17%) y Ferrostaal (17%), quedando el 49% restante de la propiedad en manos de ENAP y su filial ENAP Refinerías.

“Con esta modalidad, buscamos la incorporación de capital privado a nuestros emprendimientos. No sólo hay una relación contractual con el consorcio que construye,

además se establece una sociedad conjunta para desarrollar todo el proyecto. ENERCON cobra una tarifa por los servicios de procesamiento de crudo, y así los inversionistas recuperan su inversión y se paga la deuda contraída con los bancos”, explica Cuneo.

Tal cual, no hay deuda que no se pague. Pero hay otro dato interesante, porque las entidades financieras juegan un papel relevante y se involucran en aspectos clave. Antes de la aprobación del crédito, los bancos participantes (BNP Paribas, Citibank y Calyon, entre otros) exigen que el proyecto cumpla con rigurosas medidas ambientales incluidas en los Principios Ecuatoriales, que superan las regulaciones nacionales. Aquí hay todo un tema, la protección del medio ambiente. En ENAP informan que la Aprobación Ambiental del Complejo requirió de un Estudio de Impacto Ambiental, realizado el 2003. “Los aspectos medioambientales constituyen una condición del diseño de cualquier unidad de ENAP y se consideran en todas las etapas como la ingeniería conceptual, básica, detalles, suministro y construcción. Por ejemplo, si hay una emisión que puede dañar el entorno, esto se detecta desde la ingeniería básica y se desarrollan los mecanismos para evitar esta situación”, agrega Cuneo.

En este proyecto se tuvo especial cuidado con las emisiones a la atmósfera, efluentes líquidos y ruido. Este último aspecto se amonora con la especificación de equipos de baja sonoridad y que incluyan aislantes. En emisio-

nes a la atmósfera, se toman especiales recaudos con los hornos que generan dióxido de carbono y azufre, disminuyendo este efecto con la utilización de combustibles con mínimo contenido de azufre. Por su parte, los efluentes se someten a una planta de tratamiento que separa las partículas y material en suspensión y los aceites e hidrocarburos. Por último, a través del emisario submarino existente, los efluentes se enviarán mar adentro a aproximadamente mil metros de la costa.

La tierra se hunde

Ahora que conocemos los objetivos del proyecto, sus protagonistas y que se protegerá el medioambiente de Concón, llegó el turno de la construcción y el montaje. Retos técnicos hay, y muchos. Sin embargo, se roban la película los pilotes más profundos de Chile y la instalación de los recipientes de coke.

Acerca de los desafíos técnicos del trabajo en el terreno, informa Miguel Petersen, ingeniero civil, académico de la Universidad Federico Santa María y responsable del estudio de mecánica de suelo del Complejo Coker, realizado en el 2002, quien explica que "el suelo de cota promedio +4,00 m consiste en un área rectangular de aproximadamente 52.200 m², tratándose de una terraza plana situada sobre un meandro de la desembocadura del Río Aconcagua".

El profesional agrega que se trata de depositaciones sedimentarias en ambiente deltaico de edad reciente y/o del pleistoceno, de suelo fino (cuarzo, montmorillonita, feldespato y eventualmente clorita) blando, consistente en capas alternadas de arcilla, limo o arcilla-limo-arenosa, conteniendo algunos fósiles marinos y microorganismos. Así, se forma un suelo estratificado, algo discontinuo e interrumpido en algunos pun-

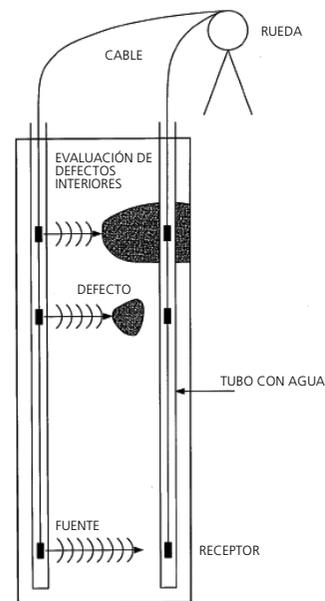
tos por lentes o bolsones arenosos y/o areno-gravosos. Es un suelo de muy baja consistencia hasta los 35 m de profundidad, de mediana-alta consistencia entre 35 m y 42 m, y de muy alta consistencia entre 42,0 a 46,0 metros, por el comienzo del lecho rocoso del valle. La conclusión resulta contundente. "El subsuelo sedimentario superficial analizado es de baja resistencia, deformable elásticamente y por consolidación, obviamente de mala calidad geotécnica para fundaciones", sentencia Petersen.

Si se trata de consistencia, hay que sumergirse hasta casi el centro de la tierra, superando los 40 metros de profundidad. ¿Qué hacer? En las fundaciones, excepto para las estructuras pesadas, se empleó la solución de cimentación de la refinería, consistente en el empleo de zapatas corridas y/o aisladas superficiales y losas comunes a varios elementos (grupos de bombas y acumuladores, por ejemplo), apoyadas sobre un relleno estructural granular compactado de varios metros de espesor colocado sobre un geotextil drenante, que actúa como un amortiguador disipador de presiones, atenuando asientos diferenciales. Para las estructuras de altos requerimientos se proyectó su cimentación sobre pilotes de gran diámetro (de 1.000 a 1.500 mm) del tipo excavados a rotación bajo lodo bentonítico. Aquí lo interesante es que estos elementos para apoyarse en roca firme debieron descender más de 46 m, siendo los más profundos de Chile según la empresa que ejecutó la faena, Pilotes Terratest. Una historia que merece ser contada.

Innovación en la profundidad

Para la comprobación práctica de las recomendaciones establecidas en el estudio de

GRÁFICO 1
ENSAYO CROSS
HOLE SONIC LOGGING (CSL)



mecánica de suelo, y considerando las características especiales de los pilotes, se construyeron dos elementos de prueba a comienzos del 2006. "Los pilotes de prueba se hicieron para validar la cantidad, longitud y diámetros establecidos en el proyecto. Se definieron dos elementos para obtener valores promedios, representativos de dos estratos que podrían presentar variantes y por ser la cantidad mínima para hacer un ensayo de acción y reacción de una carga horizontal", señala Ricardo García, gerente de producción del área pilotes y pantallas de Pilotes Terratest.

Prefabricados Estructurales



www.bottai.cl
comercialbottai@bottai.cl
Fono: (56-2) 413 1200
Fax: (56-2) 413 1235

BOTTAI
SOLUCIONES EN CONCRETO





El montaje de los recipientes de coke se hizo sobre una estructura de hormigón, utilizando una grúa de gran capacidad de 650 toneladas.

montaje, empalmes, conexiones de dispositivos y hormigonado”, acota Oscar Taiba, gerente técnico de Pilotes Terratest.

La faena no se reduce a la espectacularidad de los elementos, la innovación aparece en gloria y majestad en los tres ensayos a los que fueron sometidos los pilotes. De hecho, se realizó por primera vez en Chile una prueba de aptitud axial empleando una celda de carga o Célula de Osterberg (O-cell). Esto se pone interesante, pero vamos por parte.

El Ensayo Cross Hole Sonic Logging (CSL) mide y cuantifica

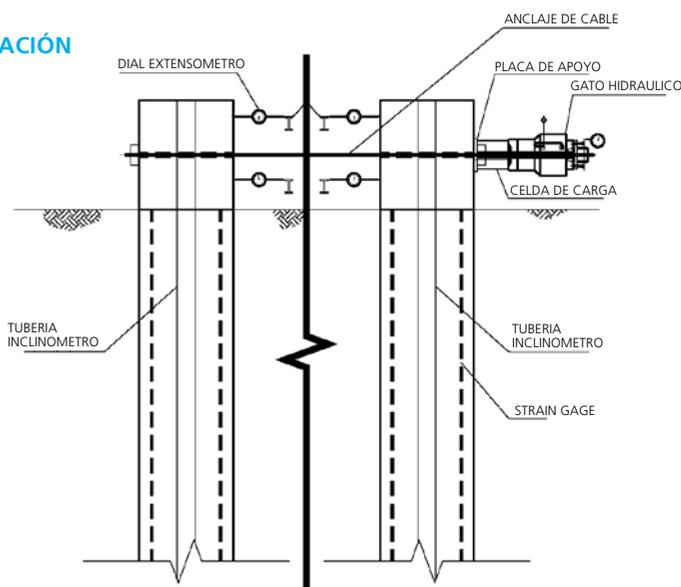
Aunque no se vean en la superficie, las dimensiones de estos elementos impresionan, porque se trata de pilotes de 1,2 m de diámetro y 50 m de largo. La ejecución no se puede definir como estándar precisamente, más aún si se tiene en cuenta los múltiples dispositivos que se colocaban en su interior para hacer los ensayos. Por ejemplo, la armadura no se coloca en una sola pieza por

la magnitud y peso. Resulta complejo hormigonar en la parte inferior de un equipo hidráulico ubicado en el extremo inferior. Se requiere de una exacta vinculación de la armadura, las mangueras del equipo hidráulico, los transmisores eléctricos, las tuberías de alivio de presiones, y los ductos para triangular una señal eléctrica. “Estos dispositivos impusieron fuertes retos técnicos en

las condiciones de integridad del hormigón a través de una onda ultrasónica que viaja entre los tubos instalados al interior del pilote (gráfico 1). Según el tiempo de viaje se detecta si la estructura presenta eventuales anomalías a lo largo del fuste como fisuras, grietas, roturas, cavernas, cambios en la calidad del hormigón y/o inclusiones de suelo originadas en los procesos instalación y construcción. La onda recorre la distancia existente entre tres tubos metálicos sujetos a la armadura de refuerzo de los pilotes, dispuestos a 120° radialmente. Los resultados arrojaron que los dos pilotes de prueba se encuentran en buenas condiciones y sin observaciones (Criterio G-Good, sin señal de distorsión, indican buena calidad del hormigón de los pilotes), validando el método constructivo. “La integridad es alta porque existió una distribución homogénea de la onda. Si el ensayo arrojaba una dispersión mayor del 5% significaba que existían anomalías y más del 15% que la estructura presentaba serias deficiencias”, afirma García.

El **Ensayo de Aptitud Axial utilizando una celda de carga o Célula de Osterberg (O-cell)**, como está dicho, se realizó en forma inédita en nuestro país. Se trata de un estudio para verificar las capacidades últimas de punta y fuste establecidas en el proyecto por

GRÁFICO 2
ENSAYO DE ACEPTACIÓN
A CARGA LATERAL



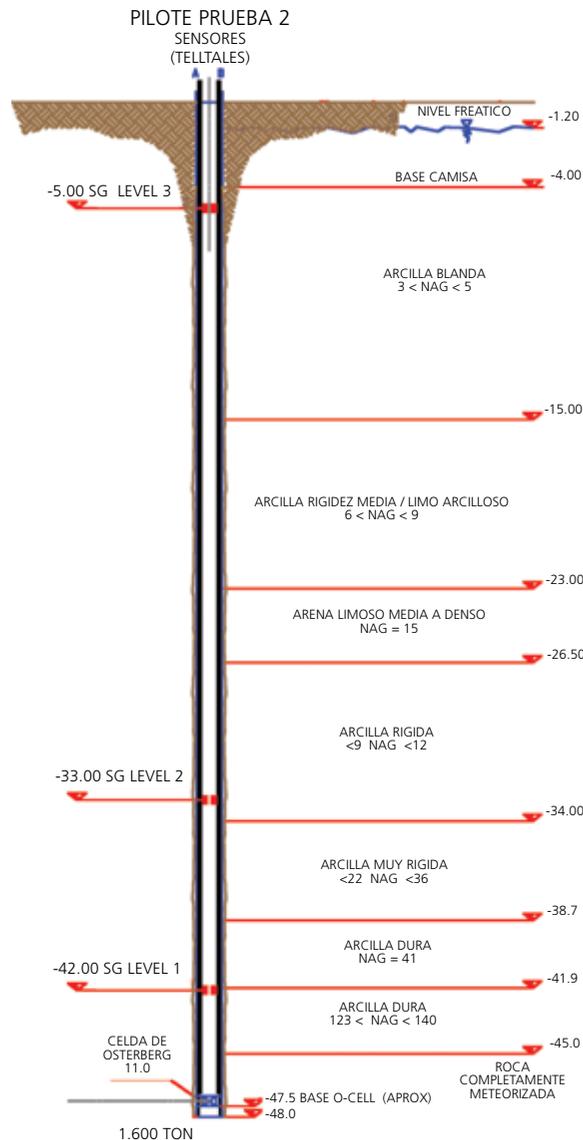
medio de la O-cell, un dispositivo de gatos hidráulicos de sacrificio bidireccionales calibrados, que se instalaron en el extremo inferior de los pilotes de prueba (gráfico 3). La O-cell trabaja en dos direcciones verticales (arriba y abajo), y reacciona en la parte superior contra la fricción lateral del pilote y en la sección inferior contra la resistencia de punta. Con la finalidad de garantizar que se alcance la capacidad última de punta, se estableció en uno de los pilotes una reacción adicional externa consistente en 4 micropilotes Ischebeck Titán 73/53.

“Los resultados de esta experiencia pionera no pudieron ser mejores. Medimos en forma independiente la resistencia de fuste y punta, alcanzando una carga máxima aproximada de 1.600 t en la celda, equivalente a aplicar una carga en cabeza en un ensayo tradicional de aproximadamente 3.000 toneladas. De esta forma, superamos ampliamente las estimaciones del diseño original, que establecían una resistencia de sólo 1.000 toneladas para el pilote”, sostiene Taiba.

El **Ensayo de Aceptación a Carga Lateral** se efectuó sobre los dos pilotes a una carga máxima horizontal de 1.000kN (gráfico 2). A partir de este valor se efectuó una estimación preliminar de la deformación horizontal esperada en la cabeza del elemento. En las pruebas, al poseer un inclinómetro con sensores de medición en hasta 20 m de profundidad, se obtuvieron las curvas carga-deformación. El ensayo consideró la acción de la carga horizontal sobre los pilotes distanciados aproximadamente por 54 metros, utilizando como elemento de conexión y transmisión de la carga un anclaje de 12 cables de acero de baja relajación y carga de ruptura de 266kN. La tensión de prueba se logró con un gato hidráulico de alta capacidad.

“Existía la preocupación de que ante un evento sísmico, los pilotes se deformaran considerablemente por su gran longitud comportándose como una larga columna con apoyo lateral elástico y sometida a una carga

GRÁFICO 3
ENSAYO DE APTITUD AXIAL
CON CÉLULA DE OSTERBERG (O-CELL),



vertical. Sin embargo, el ensayo mostró una gran resistencia a la carga lateral arrojando sólo 24 mm de desplazamiento con una carga de 100 toneladas”, dice García.

Con las conclusiones de los tres ensayos sobre la mesa, se definió la ejecución de 72 pilotes de 1,2 m de diámetro con una profundidad promedio de 47 metros. Estos elementos se colocaron en la base de los equipos sometidos a mayor nivel de presiones en el complejo como el reactor Coker Drum, el Horno de Coker y el acumulador Coker Blowdown Drum.

Equipos y montajes

Una vez superados los retos impuestos por los pilotes, se comenzaron a ejecutar en distintos frentes múltiples faenas. Las fundaciones de hormigón, el montaje de equipos, las obras civiles para las plantas de tratamiento de efluentes y resto de unidades, las interconexiones de cañerías y la instalación de antorcha y estanques, entre otros. Hay números que impresionan como las 3.700.000 horas hombre (HH) que insumirá la construcción, con un peak de 1.800 hombres / mes. Mejora de 300.000 m³ de terreno (excavación más relleno). “En total se verterán 21.000 m³ de hormigón, y se montarán 3.900 t de estructura metálica y 4.500 t de tubería (equivalentes a 160.000 m) y 313 equipos”, indica Pedro Coronas, director de construcción de Foster Wheeler Chile – Initec Chile.

Los números abruman, pero entre tanto equipamiento destacan notablemente los recipientes de coque correspondientes a la unidad de coquización, donde se produce la transformación de los productos pesados. Estos equipos cuentan con 34 m de largo, casi 9 m de diámetro y 300 toneladas de peso. Se fabricaron en Japón y cumplen con las altas exigencias del procesamiento de los componentes pesados del crudo, sometidos a violentos cambios de temperatura.

Los recipientes de coque constituyen moles inmensas. No se exagera, en especial si se considera que estos equipos se montan sobre una estructura de hormigón, denominada popularmente como mesa, de 26 metros de altura.

Es decir, que el montaje se efectúa a un total de 60 metros, muy cerca de las nubes costeras. Si bien la faena culminó exitosamente hace pocas semanas, el prólogo de este montaje comienza hace varios meses cuando hubo que planificar cuidadosamente cómo sería el traslado y en qué tipo de embarcación llegarían los equipos al país. Un tema no menor, la logística. Entonces, se definió que cada recipiente de coque se transportara en dos piezas para facilitar el traslado. Los equipos se descargaron en el puerto de

Dos partes conforman los recipientes de coke. La primera se aperna a la estructura de hormigón y la segunda se coloca sobre la anterior y se unen con soldadura en frío.

Quintero, ubicado a sólo 25 km de la planta de Concón, agrega Coronas. Este puerto reúne las condiciones para el atraque del tipo de barco que transportaba estas piezas tan especiales, efectuando la descarga con las grúas propias del barco.

Una vez en tierra firme, se inicia la aventura de transportar estos gigantes metálicos hasta la planta. "Primero se hizo un análisis de los caminos y puentes a transitar, evaluando principalmente la resistencia y ancho. Sólo tuvimos que reforzar algunas calles cercanas al complejo. El día del traslado se cerró el tránsito y nos acompañó un equipo Chilquinta, que se encargó de mover los cables del tendido eléctrico que interrumpían la marcha de los camiones", señala Coronas.

Los recipientes de coke llegaron sanos y salvos a la refinería, pero todavía no se podía celebrar porque restaba el montaje. Para esta faena se utilizó una grúa de gran capacidad de 650 toneladas. "La actividad tuvo sus complejidades, porque además de esa grúa se utilizaron dos de 350 t que retenían el elemento hasta que éste tomara posición vertical, de lo contrario los gigantes recipientes hubiesen arrastrado todo", explica Coronas. En primer lugar se apernó sobre la estructura de hormigón la pieza inferior del equipo, y en su extremo se instaló la parte superior. "La unión entre ambas piezas se hace con soldadura en frío, hasta que se termina la faena, la grúa sostiene la pieza superior", concluye Coronas.

Sin los ribetes cinematográficos del montaje de los recipientes de coke, el proyecto incluye otras varias faenas interesantes como la instalación del horno, el compresor de gas, la fraccionadora principal y los aéreo-refrigerantes. También, destaca la planificación que demandó la ejecución de múltiples trabajos simultáneos en un espacio reducido, y la eliminación del agua proveniente



de las napas subterráneas existentes, a través de un drenaje perimetral. Por último, sobresalen las rigurosas medidas de seguridad que se aplican en la construcción del complejo.

Un balance parcial indica que el año pasado se desarrolló la mayor parte de la ingeniería de detalles, el mejoramiento de terreno y la construcción de pilotes, se adquirió gran parte de los equipos y materiales, y se inició el montaje de cañerías, estructuras y equipos. Hasta fin de 2006, el grado de avance del contrato EPC alcanzaba el 56%, y se contempla para este año concentrarse en el montaje del equipamiento faltante y la realización de las instalaciones eléctricas y de instrumental. El complejo se pondrá en funcionamiento a inicios de 2008.

Una vez en marcha, el país contará con avanzada tecnología en el procesamiento de combustibles. Y una vez, la industria de la construcción y el montaje cumplen un papel destacado en el desarrollo de los grandes proyectos nacionales. ■

www.enap.cl

EN SÍNTESIS

En Concón, V Región, se levanta el Complejo Industrial Coker de Enap, Refinería Aconcagua, que destaca por fuertes apuestas técnicas en fundaciones con pilotes y en el montaje de grandes equipos. El proyecto, que procesará el petróleo para transformarlo en bencinas y diesel, demanda una inversión de US\$ 430 millones, se ejecuta en una superficie de 50 mil m² y se pondrá en funcionamiento a inicios de 2008. Las estructuras de altos requerimientos se cimentaron sobre pilotes de gran diámetro (de 1000 a 1500 mm) y profundidad de más de 46 metros, siendo los más profundos de Chile según la empresa que ejecutó la faena, Pilotes Terratest. El montaje de los equipos también representa un gran reto porque los recipientes de coke cuentan con 34 m de largo, casi 9 m de diámetro y 300 toneladas de peso. Para instalarlos se utilizaron maquinarias y profesionales altamente especializados. El complejo se pondrá en funcionamiento a inicios de 2008.