

Infraestructura energética del sector eléctrico 2010-2020

por Dr. Ing. Gonzalo Casaravilla / Presidente de UTE

INTRODUCCIÓN

El funcionamiento de un país necesita de la energía, siendo la energía eléctrica por su flexibilidad, una de las bases tanto de la producción industrial como en la producción de confort y la calidad de vida de los pueblos.

El crecimiento de un país impone un crecimiento casi constante en su consumo de energía eléctrica. No es necesariamente cierto que el consumo per cápita deba crecer en forma permanente dado que la eficiencia de los usos de energía va mejorando y por consiguiente es posible hacer más con la misma cantidad. No menos cierto es que el consumo energético mundial está en pleno crecimiento con lo cual cada vez hay que recurrir a recursos más costosos para la generación de energía. Esto sucede por el crecimiento del consumo y por la reducción de alguno de los recursos como los combustibles fósiles por el propio uso.

Sin duda el uso de los recursos del planeta que estamos haciendo hoy será cuestionado por las generaciones futuras. Pero por ahora los escenarios de crecimiento a nivel mundial, si bien muestran una preocupación por el consumo de fuentes no renovables, siguen inevitablemente incluyendo crecimientos en el uso de fuentes como el carbón, el gas natural y los derivados de petróleo.

La tendencia hacia el uso más eficiente de los recursos está clara. Posiblemente el cambio más evidente en este sentido que veremos en los siguientes años será la sustitución del transporte de consumir derivados del petróleo al consumo eléctrico directamente. Este cambio disminuirá el consumo directo de derivados del petróleo, pero sin duda aumentará el consumo de electricidad y por tanto el consumo de los recursos necesarios para producirlas; pero claramente con un saldo doblemente favorable hacia la eficiencia tanto por la mejora de los rendimientos como por la diversificación de fuentes para cumplir con el suministro. Es interesante reforzar la consecuencia de esta “fuerza de cambio” que se dará seguramente en otras áreas además del transporte. Una actividad basada sobre el consumo de derivados de petróleo, frente al encarecimiento de los mismos “cambia de sector” hacia el eléctrico disminuyendo la presión sobre el consumo directo de los derivados del petróleo pero aumentando la presión sobre el consumo de electricidad y la diferencia es que al pasar por la electricidad pone en pie de igualdad varios recursos como Gas, Carbón, Eólica, etc.

Este cambio por tanto creará “fuerzas” económicas tendientes a igualar los costos en USD/MWh de los recursos que compiten en la generación de electricidad.

En este marco global, Uruguay tiene ventajas claras para el uso de energías renovables y nos proponemos aprovecharlas. Hace una década, podría especularse sobre la madurez de tecnologías como la eólica, solar o la generación en base a biomasa, pero mirando el mundo de hoy es claro que hay varios ejemplos de estas formas de producción operativas y con buenos resultados. Puede ser que en muchas partes el desarrollo de estas fuentes se haya realizado en base a subsidio, en Uruguay con los precios de hoy está claro que son opciones muy competitivas frente a alternativas que supongan la importación de combustibles fósiles. El único “problema” con estas fuentes es su escasa o nula capacidad de despacho frente a una central térmica clásica o a una hidroeléctrica con embalse en que es posible regular la potencia de generación para seguir la demanda eléctrica. Por suerte, en Uruguay disponemos de un sistema de centrales hidráulicas con represas que nos permiten “filtrar” las variaciones de estas nuevas fuentes. La potencia instalada del sistema hidráulico es aproximadamente de 1500 MW siendo la generación promedio del sistema hidráulico del orden de los 600 MW. La capacidad de filtrado de este sistema hidráulico se puede estimar (mediante simulaciones horarias realizadas del sistema futuro) como la suficiente para el filtrado de las variaciones de potencia eólica instalada de un mínimo 1200 MW a 1500 MW para el año 2015. Para potencias superiores habrá que pensar ampliar la capacidad de filtrado mediante el agregado de centrales hidráulicas con capacidad de bombeo o manejo de la demanda eléctrica (por ejemplo control online de los calefones) o utilización de las baterías distribuidas en los autos eléctricos, para poner ejemplos. Seguramente la realidad de los próximos años nos mostrará cuáles serán las opciones factibles pero no hay por qué descartar ninguna.

En la actualidad no quedan lugares dónde instalar nuevas centrales hidráulicas de gran porte lo que hace que las opciones de expansión de la generación son: Centrales térmicas en base a combustibles importados (gas, carbón, gasoil, fuel-oil, uranio), confiar en contratos de energía firme por las interconexiones, o recurrir al uso de energías au-

tóctonas como ser: eólica, solar térmica, solar fotovoltaica, geotérmica y biomasa.

En los años 1995-2000 con abundancia de oferta de energía regional, en forma de energía eléctrica por las interconexiones y de Gas Natural desde Argentina, parecía “poco racional” plantearse el desarrollo de una matriz con “fuentes autóctonas”. Mirando hoy puede quedar la duda de si no hubiera valido la pena haberse arriesgado “un poco más” o un “poco menos” dependiendo del lado que se mire. Para fijar un número en esa época estábamos hablando de energía a 20 USD/MWh era muy difícil justificar proyectos sin una visión de “seguridad nacional”. Hoy estamos hablando de energía en la región que varía entre 100 y 400 USD/MWh y que no es segura su disponibilidad. La decisión de hoy es entonces mucho más clara y fácil que hace 15 años y por suerte va en el sentido de disminuir los costos y aumentar la seguridad nacional. Igual, aunque sea “cantado” el camino, vale la pena reflexionar sobre el pasado y tener presente que los riesgos externos existen, son importantes y nos costaron y nos están costando caro y que aunque no fuera “cantado”, el camino de la diversificación debiera ser igualmente considerado para no cometer los mismos errores del pasado.

Lo anterior resume las ideas fuerza que nos parece regirán el futuro de mediano y largo plazo. Hay que tener en cuenta que las inversiones en generación son “pesadas” tanto por los montos de capital involucradas como los plazos de construcción de los proyectos. Las inversiones van entre 900 y 4000 USD/kW-instalado y con plazos de puesta en operación desde la toma de la decisión de entre 2 y 3 años. Lo anterior es básicamente referido a la generación de energía eléctrica porque es el lugar donde empieza la cadena del sector eléctrico y es donde está el mayor impacto económico. Sin duda que para que la energía termine llegando a todo el país es necesario invertir en un sistema de transporte adecuado. El desarrollo de la generación en base a energías distribuidas como son la eólica, la biomasa y la solar necesitan también de una red un poco diferente a la actual.

Se está invirtiendo en mejorar la red eléctrica acorde a los nuevos escenarios de generación y demanda y con la clara intención de mejorar la capacidad de la implantación de inversiones distribuidas por todo el país.

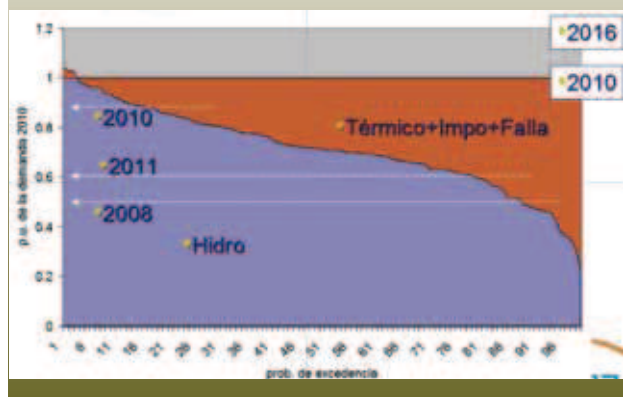
RECURSOS DE GENERACIÓN - URUGUAY 2011

Para suministrar la demanda eléctrica, los recursos disponibles son las centrales hidráulicas, térmicas convencionales y renovables no convencionales, instaladas en territorio nacional y las interconexiones con nuestros países vecinos. La potencia total instalada en territorio nacional es de 2641 MW con la siguiente composición: 1538 MW hidráulicos, 876 MW térmicos convencionales (fueloil+gasoil), 40 MW eólicos y 187 MW de centrales de biomasa.

FIGURA 1.
PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA



FIGURA 2.
ALEATORIEDAD DE LA GENERACIÓN HIDRÁULICA



De los 876 MW térmicos convencionales, 600 MW son de arranque rápido y pueden complementar al sistema hidráulico en el seguimiento de la demanda y filtrado de las variaciones de las energías no convencionales. De estos 600, los 300 MW de turbinas aeroderivativas instalados en Punta del Tigre tienen la posibilidad de funcionar tanto con gasoil como con gas natural.

La potencia de interconexión con Argentina es de 2000 MW y con Brasil es de 70 MW.

Demanda máxima de Uruguay sin cogeneración año 2011 fue de 1752 MW. La evolución de la demanda histórica y proyectada se muestra en la fig. 1.

La importante participación de la generación hidráulica hace que dependiendo de lo lluvioso o seco que sea un año haya que utilizar más o menos las centrales térmicas o importación de energía. Es así que el Costo de Abastecimiento de la Demanda (CAD) tiene una variabilidad muy importante. La fig. 2 muestra para el conjunto de 100 años históricos de aportes a las represas, cual sería la generación de energía anual hidráulica comparada con la demanda del año 2010 y del 2016. Si el año es lluvioso, la generación hidráulica

será importante (lado izquierdo de la figura) y resultará en un CAD más bajo que si el año es seco (lado derecho de la figura). Esta figura permite visualizar rápidamente la volatilidad del CAD. La energía que no es cubierta por la hidráulica, en la situación actual debe ser cubierta con combustibles o importación lo que está directamente asociado al precio internacional del petróleo.

A modo de ejemplo, en la tabla 1 se muestran valores históricos del CAD.

TABLA 1. CAD ANUAL.						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011*
CAD MUSD (sin IVA)	408	265	973	735	294	761
(*) Valor estimado.						

La primer fuente de variabilidad es la generación hidráulica, la segunda es el precio de los combustibles y de la importación.

La fig. 3 muestra la proyección realizada por EIA (USA) en su Energy Outlook 2010 sobre la evolución del precio del petróleo en tres escenarios de evolución de la economía mundial. De esta figura queda claro que la incertidumbre sobre el precio del petróleo es importante. Esta incertidumbre se traslada directamente sobre las energías basadas en combustibles derivados de petróleo y sus posibles sustitutos.

PLANIFICACIÓN DE LA EXPANSIÓN DEL SISTEMA

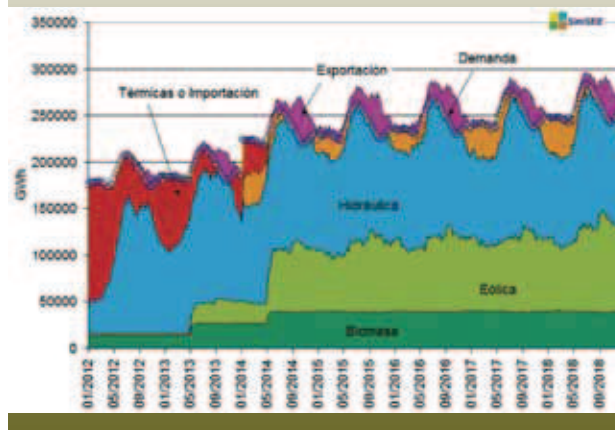
La planificación del conjunto de inversiones a realizar para lograr abastecer la demanda eléctrica, a un costo mínimo y con la calidad requerida es un problema complejo por la condición de tener que tomar las decisiones con varios años de anticipación y en base a proyecciones de la evolución de los diferentes parámetros como ser el crecimiento de la demanda o la evolución de precios de los combustibles. La solución de éste problema de optimización bajo incertidumbre de grandes inversiones con mucha anticipación difícilmente sea perfecta. Es claro que nadie tiene “la bola de cristal” y por tanto la proyección que se haga de los parámetros siempre tiene cierto grado de subjetividad. Para modelar correctamente estos problemas y poder ensayar diferentes juegos de hipótesis que permitan tomar decisiones robustas en un tiempo razonable es necesario recurrir a programas de computación especializados. En particular a nosotros nos ha sido de gran utilidad la plataforma de Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica SimSEE (<http://ie.fing.edu.uy/simsee>).

Utilizando dicha plataforma de simulación se modelaron procesos estocásticos que representan las grandes fuentes de incertidumbre como ser la hidraulicidad, la evolución de los precios de los combustibles y atrasos la entrada de

FIGURA 3. PROYECCIÓN DEL COSTO DEL BARRIL DE PETRÓLEO. (FUENTE: US - EIA-ENERGY OUTLOOK 2010).



FIGURA 4. CAMBIO DE PARADIGMA



los proyectos. Para la determinación de las estrategias de expansión a seguir se realizaron evaluaciones de más de 500000 planes de expansión posibles y se llegó a la determinación de que lo más robusto es impulsar fuertemente la instalación de energía eólica. De acuerdo al conjunto de simulaciones realizadas alcanzar el objetivo de 1200 MW de energía eólica y 200 MW de biomasa instalados al 2015 sería óptimo. Para garantizar el buen funcionamiento del sistema también es necesario instalar potencia térmica de arranque rápido con posibilidad de seguimiento de la demanda siendo óptima una potencia del orden de los 500 MW. Esta estrategia de expansión fuerte en renovables determinó el tipo de la potencia térmica adicional a instalar. Una de las restricciones importantes en el diseño de las estrategias de expansión es suponer que no es posible contar con las interconexiones para garantizar el suministro de energía. En la práctica este requisito significa instalar lo necesario en territorio nacional aunque pudiera resultar excedentario en años de mucha hidraulicidad.

En la fig. 4 se muestra como es hoy la generación por fuente en valor esperado y cómo será en el futuro a partir de que empiecen a entrar en operación las inversiones que se están decidiendo en este año.

En la fig. 4 se aprecia que a mediados de 2013 comenzarán a entrar en operación parte de los proyectos de eólica y biomasa que se licitaron en este año. El efecto inmediato de esas incorporaciones es que reduce la exposición del país al consumo de combustibles y de importaciones caras reduciendo significativamente la volatilidad del CAD. En la fig 5 se muestra la evolución del CAD expresado en USD/MWh. La curva etiquetada "VE" muestra la evolución del valor esperado del CAD. Las curvas PE(95%) y PE(5%) corresponden a los valores del CAD que serán excedidos con probabilidad 95 y 5 % respectivamente. Como se puede apreciar, hoy hay una variabilidad muy grande de costos que se reducirá significativamente. Inevitablemente, los costos medios irán subiendo en la medida en que la demanda sigue creciendo y la energía de las centrales hidráulicas de gran porte ya amortizadas se diluye en la nueva generación. Si se observa la fig. 5 resulta claro que cualquier acción que se pueda tomar para incorporar nueva generación antes de mediados de 2013 tiene un valor económico importante para el sistema.

Está claro que no basta con decir qué es lo que habría que hacer, tanto o más importante es lograr hacerlo. Con el fin de lograr acelerar la instalación de los proyectos de generación eólica y de biomasa recientemente licitados y los que se liciten en los siguientes meses, se fijó un premio por la energía entregada hasta el 31/12/2014 de 110 USD/MWh.

COLECTORES SOLARES

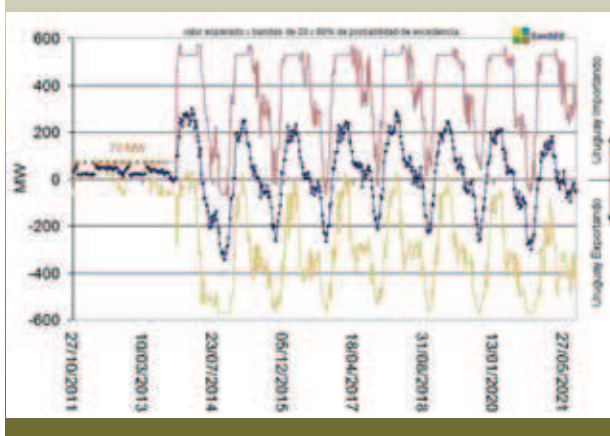
El aproximadamente el 35% del consumo de energía de los hogares es utilizado para calentamiento de agua. Es así que la instalación de colectores termo-solares que sustituyan el uso de energía eléctrica para este fin tendría el efecto de liberar generación por reducción de la demanda. El costo de los colectores termo-solares llevado a su equivalente como generador de energía es de aproximadamente 80 USD/MWh. Este costo es superior al costo de generación en base a energía eólica y la calidad de la energía en cuanto a su capacidad de despacho y regulación no es diferente. Por esta razón, se identifica como una "ventana de oportunidad" para los colectores solares estos años venideros sobre la base de que son de rápida instalación.

La DNE, el BHU y UTE han trabajado sobre la forma de promover y financiar la instalación de colectores solares, trabajo que está teniendo sus frutos. El directorio de UTE resolvió asociado con esta promoción, el pago de un premio,

FIGURA 5.
EFFECTOS DE LA DIVERSIFICACIÓN SOBRE EL CAD



FIGURA 6.
SIMULACIÓN DEL FLUJO POR LA INTERCONEXIÓN URUGUAY-BRASIL.



efectivo en un descuento en la factura, a aquellos clientes que acrediten instalar colectores termo-solares en los siguientes dos años por considerar que dicha incorporación de energía al sistema es beneficiosa y rentable.

INTERCONEXIONES

El primer punto a destacar sobre las interconexiones es que su valor estratégico supera ampliamente su costo de inversión. Mire por donde se mire, el disponer de las interconexiones ha permitido que los sistemas se apoyen en forma permanente.

Uruguay está fuertemente interconectado con Argentina con 2000 MW de interconexión y más débilmente interconectado con Brasil con 70 MW de interconexión. La experiencia de intercambio por ambas interconexiones, aunque sea entre países con mercados y reglas diferentes que lleven a que los intercambios no sean todo lo fluidos y óptimos que podrían

ser, muestra a las claras que el valor de las interconexiones es varias veces superior a su costo.

Recientemente se realizó un análisis del beneficio potencial de los intercambios en los siguientes dos años entre Uruguay y Brasil por la interconexión de 70 MW evidenciando que el mismo ronda los 93 MUSD para los dos años considerados mientras que el costo de inversión de la interconexión fue del orden de los 33 MUSD.

Actualmente se encuentra en construcción una interconexión de 500 MW con Brasil que se espera que esté operativa para fines del año 2013. Esta nueva interconexión aumenta el abanico de opciones en cuanto a qué recursos usar y cuándo y es un paso concreto y decidido hacia una mejor integración regional y hacia un mejor uso de los recursos de la región.

Se han realizado simulaciones preliminares, de cómo serían los flujos de energía entre Uruguay y Brasil resultado que se muestra en la fig. 6. Estos resultados muestran un uso estacional de la interconexión a partir del año 2014 resultando, en valor esperado Uruguay exportador en los meses de primavera e importador durante el verano.

Esta complementariedad entre los sistemas permitirá sin duda un mejor uso de los recursos renovables de ambos países.

LAS FUERZAS DE CAMBIO

Es diferente pensar como resolver el despacho de energía de la semana que viene que pensar qué hay que decidir hoy para que dentro de tres a cinco años estén operativos los proyectos que se necesitarán para esa fecha. Este pensamiento de largo plazo tiene un condimento adicional y es que muchas veces, optar por un camino implica desarrollar infraestructura pesada que condiciona mucho más que lo que pasará dentro de cinco años, teniendo consecuencias sobre las opciones de más largo plazo.

Es cierto que nadie tiene la bola de cristal y basta ver la fig. 3 para darse cuenta que hasta los que tienen mucha información pueden decir muy poco sobre la evolución de las variables importantes. No menos cierto es que lo permanente y por lo tanto importante es identificar cuáles son las "fuerzas de cambio". Son estas fuerzas de cambio que integradas en el tiempo condicionan realmente las trayectorias futuras.

Estamos en un mundo que es consumidor creciente de energía, basada en gran proporción sobre un recurso limitado como son los combustibles fósiles. Independientemente de los vaivenes de las economías, lo permanente es que la energía basada en esas fuentes se encarecerá. Esto genera una fuerza de cambio hacia la búsqueda de nuevas

tecnologías como la eólica, la solar, etc. Esto no empezó a actuar hoy, hace décadas que se visualiza. Hoy podemos decir que el encarecimiento de las energías fósiles y la mejora de tecnológica en la eólica ha permitido que ésta última comience a ser competitiva. En el mismo tren cabe destacar los desarrollos en centrales de generación termo-solares que se están comenzando a instalar con precios del orden de los 130 USD/MWh lo que está llegando a un nivel de competencia. En el mismo tren, pero en unos vagones más atrás podemos identificar a la energía solar fotovoltaica para la cual se espera una reducción de precios en los siguientes tres años y posiblemente comiencen a ser competitivas.

Del lado del consumo las fuerzas de cambio identificables son: la aparición del auto eléctrico (o del transporte en general) y las acciones de eficiencia energética. Estas dos fuerzas son contrapuestas dentro del sector eléctrico si bien van en el mismo sentido de mejorar la eficiencia global del sector energía. El desplazamiento de demanda del sector combustibles al sector eléctrico aumenta la competencia entre los propios combustibles (para generación de electricidad por ejemplo el carbón puede competir con el petróleo, no así en el uso automotriz) esta fuerza de cambio tendría el efecto de largo plazo de que los precios de los combustibles fósiles tiendan a acercarse expresados en USD/MWh. La opción por energías renovables como la eólica, biomasa y solar así como el desarrollo de centrales de bombeo implica un desarrollo importante de inversiones distribuidas por todo el país. En los años venideros, veremos actuar esta fuerza de cambio dinamizando el interior del país y seguramente siendo una fuente de generación de nueva mano de obra y nuevos oficios que tendrán un efecto descentralizador importante. Este es otro aspecto que refuerza la bondad del camino elegido.

PARA INVESTIGAR Y PROFUNDIZAR

En lo inmediato, estamos acelerando y facilitando la instalación de energía eólica y de biomasa. También comenzamos a imprimir el mismo impulso sobre la aceptación e incorporación de los termo-colectores solares y continuaremos con esto.

Está claro que en el futuro, salvo que hubiera cambios tecnológicos importantes en el mundo, la importancia de las renovables no convencionales será cada vez mayor y por lo tanto la capacidad de los sistemas para manejar la variabilidad de dichas fuentes tendrá que ser cada vez mayor. En este sentido, un primer paso a explorar es la conveniencia de instalar centrales hidráulicas con capacidad de bombeo y acumulación. Ya se mencionó que no se identifican lugares donde sea posible construir nuevas grandes

centrales hidroeléctricas que aporten nueva energía al sistema, pero si hay un conjunto importante de lugares donde sería posible la construcción de mini-embalses que permitiría incorporar centrales de bombeo y por lo tanto agregar capacidad de filtrado de variaciones al sistema.

El aumento de la capacidad de las comunicaciones hasta los domicilios de los clientes va haciendo factible la aparición de las redes inteligentes (smart grid) y por tanto la implementación de control distribuido de la demanda. Un primer objetivo asociado al control de demanda podría ser el manejo de los calefones como forma de aumentar la capacidad de filtrado de las variaciones de potencias de las renovables a un nivel de algunas horas.

También asociado al uso de redes inteligentes y a la aparición de los autos eléctricos, es pensable la utilización de los mismos como generadores - consumidores según convenga probablemente asociado a señales de precio y a las necesidades del propietario del vehículo.

CONCLUSIÓN

Para cerrar esta presentación me gustaría resaltar los aspectos que considero más importantes y que son fruto

de recoger las experiencias que otros han sufrido y de los estudios que hemos realizado.

- En la etapa actual de integración regional, es aconsejable que cada país planifique y se haga cargo de las inversiones necesarias para garantizar el suministro de su demanda energética en forma independiente.
- Las condiciones de precios de las tecnologías y de los combustibles es tal que es altamente aconsejable el camino de ampliar las energías eólica y de biomasa. Esta conclusión no es válida sólo para Uruguay sino que parecería ser uno de los paradigmas mundiales. En particular para Uruguay tiene la ventaja de que sustituyen combustibles importados dado que el país no tiene yacimientos propios.
- Es tanto o más importante llegar a tiempo con las obras que decidir cuáles son éstas.

En los próximos años habrá necesidades de aplicación intensiva de la ingeniería nacional para lograr todos los objetivos planteados y para imaginar permanentemente como mejorarlos.

40 años de experiencia aplicando Ingeniería, apoyando a ingenieros y técnicos en mejorar la toma de decisiones.

GENIOS DE LA CALIDAD
DIN
CERTIFICADO N° 13 208
UNIT ISO 9001
RECIBO 001

Todos nuestros trabajos son controlados permanentemente por Ingenieros muy experimentados.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Rayos X, Gammagrafia, Ultrasonido, Partículas Magnéticas, Corrientes Parásitas, Inspección visual, Líquidos penetrantes, Análisis químicos, durezas, fatiga, pruebas hidráulicas, Estudios metalográfico, Réplicas, rugosímetro, boroscopio, análisis de fallas. **SOLDADURA** Asesoramiento para ajuste de procesos y aseguramiento de la calidad de soldadura. Certificación de soldadores, probetas y procedimientos de soldadura. Control de soldaduras en obra y taller. **MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y PREVENTIVO** Monitoreo de condición de máquinas: análisis espectral de vibraciones con sistema experto CSI 2130 recientemente adquirido y único en el país. Estudios de condición mecánica por ultra sonido. Balanceos en sitio. **ALINEACION LASER** Aumenta precisión, reduce tiempos de montaje. **CALIBRACIONES** Presión, temperatura, flujo, torque, fuerza, metrología. Monitoreo y calibraciones en el sitio. Asesoramiento en ajustes de procesos. Laboratorio certificado DINACIA. **CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESION** Inspección, ensayos, habilitaciones, control de fabricación y reparaciones, cálculos y vida residual. Apoyo para habilitación en Ursea. **ESTRUCTURAS DE HORMIGON, EDIFICIOS y PUENTES** Estudio de condición y análisis de fallas y resistencias en hormigones y aceros. Ubicación y estado de fierros en hormigones. Ultrasonido, radiografía, magnetoscopia, pachometria, esclerometria, termografia. **TERMOGRAFIA** En las áreas: edilicia, eléctrica, industrial, mecánica, calefacción, refrigeración. Estudio de humedades y problemas en fachadas. **PERITAJES** Análisis de fallas en edificios, estructuras, elementos de máquinas e instalaciones. Estudio accidentes. **ACUSTICA** Medición de niveles sonoros, análisis de frecuencias y proyectos de acondicionamiento. **AVIACION** Taller certificado en DINACIA.

Luis A. de Herrera 1108
2622 0174 / 2622 1620 / 2622 3872
Fax 2622 6558
www.ingenierotangari.com.uy
itsa@ingenierotangari.com.uy

Ingeniero Tangari S.A.