

NOOR I, LA PLANTA QUE DARÁ PASO AL DESPLIEGUE DEFINITIVO DE LA TERMOSOLAR EN MARRUECOS

MARRUECOS ESTÁ PREPARADO PARA HACER HISTORIA EN BREVE, CUANDO COMIENZE A GENERAR ELECTRICIDAD LA PRIMERA FASE DE UNA DE LAS MAYORES PLANTAS TERMOSOLARES DEL MUNDO. CUANDO ESTÉ COMPLETAMENTE OPERATIVO, EL COMPLEJO SOLAR OUARZAZATE PRODUCIRÁ ENERGÍA SUFICIENTE PARA MÁS DE 1 MILLÓN DE MARROQUÍES, CON UN POSIBLE EXCEDENTE PARA EXPORTAR A EUROPA. ASIMISMO, EL COMPLEJO REDUCIRÁ EN 2,5 MILLONES DE TONELADAS DE PETRÓLEO LA DEPENDENCIA DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES DE MARRUECOS. UBICADO A UNOS 7 KM DE LA CIUDAD MARROQUÍ QUE LE DA NOMBRE, OUARZAZATE, AL BORDE DEL DESIERTO DEL SAHARA, EL COMPLEJO SOLAR OUARZAZATE ESTÁ PONIENDO A MARRUECOS EN EL MAPA COMO SUPERPOTENCIA SOLAR.

El complejo Ouarzazate, formado por las plantas Noor I, II y III, se está construyendo, y será operado, como asociación público-privada. El socio privado para el desarrollo de Noor I fue seleccionado a través de un proceso de licitación competitiva, adjudicándose el contrato en septiembre de 2012 a un consorcio liderado por ACWA Power en el que participan las empresas españolas Sener Ingeniería y Sistemas, Acciona, TSK y Aries, las tres primeras son los contratistas EPC, mientras que Aries actúa como ingeniería de la propiedad. Los trabajos de construcción comenzaron en el verano de 2013, y próximamente la planta comenzará su operación comercial. En enero de este año se dio a conocer el resultado de la licitación para las fases II y III, que fue adjudicado al consorcio formado por ACWA Power y Sener.

El complejo se compone de cuatro plantas, tres de ellas dotadas de tecnología termosolar y una cuarta de tecnología fotovoltaica. Noor I, de 160 MWe, está dotada de captadores cilindro-parabólicos SENERtrough®, en Noor II, por su parte, se instalará la segunda generación de captadores de Sener, el sistema SENERtrough®-2, y contará con 200 MWe. Por último, Noor III, de 150 MWe, empleará la configuración de torre central con receptor de sales, aplicada con anterioridad por Sener en la planta Gemasolar, en Sevilla, y por tanto será una evolución natural de esta instalación pionera. En todos los casos, las plantas incorporan un sistema de almacenamiento en sales fundidas que les posibilita producir electricidad en ausencia de radiación solar.

Noor I reúne a suministradores termosolares clave

Noor I, cuya construcción está a punto de finalizar, tiene una potencia de 160 MW y producirá anualmente más de 500.000 MWh de energía limpia. Noor I está formada por un total de 19.200 colectores, que ocupan una superficie total de 480 ha. Sobre estos colectores se han instalado un total de 537.600 espejos parabólicos del fabricante Flabeg FE, que ha suministrado para este proyecto espejos templados de su modelo RP3. Gracias a las últimas tecnologías de curvado y revestimiento, los espejos solares Flabeg FE proporcionan el más alto grado de precisión y reflectancia. El parámetro de calidad relevante para la precisión, la desviación de enfoque (FDx) es inferior a 6 mm y su reflectividad solar es superior al 94,5%.

En la planta se han instalado tubos reflectores del fabricante alemán Schott Solar. El montaje de la totalidad de estos tubos ha corrido a cargo de la empresa española Fergon Servicios industriales, socio fundador de CSPvalue, en virtud del contrato concedido por el consorcio adjudicatario de la construcción de la planta.

La planta utiliza aceite térmico de Dow Chemical como fluido térmico y combustible diésel como respaldo. Para esta planta Sugimat ha suministrado dos calderas de 36 MW de potencia cada una, que

NOOR I SIGNALS THE DEFINITIVE DEPLOYMENT OF CSP IN MOROCCO

MOROCCO IS POISED TO MAKE HISTORY SOON, ONCE THE FIRST PHASE OF ONE OF THE WORLD'S LARGEST CSP PLANTS STARTS GENERATING ELECTRICITY. WHEN FULLY OPERATIONAL, THE OUARZAZATE SOLAR COMPLEX WILL PRODUCE ENOUGH ENERGY FOR MORE THAN ONE MILLION MOROCCANS, WITH A POSSIBLE SURPLUS TO EXPORT TO EUROPE. THE COMPLEX WILL MOREOVER REDUCE MOROCCO'S FOSSIL FUEL DEPENDENCE BY 2.5 MILLION TONNES OF OIL. LOCATED ON THE EDGE OF THE SAHARA DESERT, SOME 7 KM FROM THE MOROCCAN CITY AFTER WHICH IT IS NAMED, THE OUARZAZATE SOLAR COMPLEX IS PUTTING MOROCCO ON THE MAP AS A SOLAR SUPERPOWER.



The Ouarzazate complex comprising the Noor I, II and III plants, is being built and will be operated, as a public-private partnership. The private partner for the development of Noor I was selected through a competitive bidding process with the contract awarded in September 2012 to a consortium headed up by ACWA Power in which Spanish companies Sener Ingeniería y Sistemas, Acciona, TSK and Aries are taking part. The first three are EPC contractors while Aries acts as site engineer. Construction works started in summer 2013, and the plant will shortly enter into commercial operation. In January 2015 the result of the bidding process for phases II and III were announced, awarded to the consortium made up of ACWA Power and Sener.

The complex is made up of four plants, three of which are equipped with CSP technology and the fourth with PV technology. Noor I, (160 MWe) is equipped with SENERtrough® cylinder parabolic trough collectors. The 200 MWe Noor II however will be installed with second generation Sener collectors - the SENERtrough®-2 system. Lastly, the 150 MWe Noor III will use the configuration of a central tower with a salts receiver, a solution applied by Sener at the Gemasolar plant in Seville, and as such represents the natural evolution of this state-of-the-art facility. In every case, the plants incorporate a molten salts storage system that enables electricity to be produced when there is no solar irradiation.

Noor I brings together leading CSP suppliers

With construction almost completed, Noor I has a capacity of 160 MW and will produce over 500,000 MWh of clean energy every year. It is made up of a total of 19,200 collectors, occupying a total surface area of 480 ha. A total of 537,600 annealed RP3 mirrors have been installed over these collectors, manufactured and supplied for this project by Flabeg FE. Thanks

pueden llegar a satisfacer hasta una tercera parte de las necesidades térmicas de la central. Ambas unidades funcionan con combustible diésel y proporcionan saltos térmicos de hasta 100 °C con un rendimiento mayor al 90% gracias a sus unidades de precalentamiento de aire de combustión.

Las calderas han sido equipadas con quemadores de gasóleo de la firma E&M Combustión de 40 MW de potencia. Los quemadores están preparados para trabajar con aire precalentado a 200 °C y también para conseguir unos niveles muy restrictivos de emisiones de NOx. Para ello, utilizan un sistema de recirculación de gases (F.G.R.) como método para conseguir una mayor reducción de las emisiones contaminantes.

El suministro de tuberías y accesorios de acero al carbono para la construcción de la planta ha sido realizado por Grupo Almesa, para apoyo local al suministro se contó con un almacén en obra.

Noor I tiene una capacidad de almacenamiento de tres horas, gracias a 46.000 toneladas de sales fundidas, mediante el sistema, más común, de dos tanques. Noor II y III tendrán una capacidad de almacenamiento de siete horas.

Las firmas especialistas en aislamiento Suaval y Saint Gobain Wanner resultaron adjudicatarias de los trabajos de aislamiento, Suaval para el campo solar y el bloque de potencia y Saint Gobain Wanner para los tanques de sales fundidas. Para la ejecución de estos trabajos Isover ha suministrado aproximadamente 210.000 m² de material de aislamiento, secciones tubulares y mantas armadas de lana de roca para el campo solar y el bloque de potencia y rollos ULTIMATE (U TECH Roll MT 4.0 V1) para los tanques de sales (aproximadamente 28.000 m²).

Los sistemas de bombeo, suministrados por Flowserve, utilizan bombas radiales de servicio pesado para el aceite térmico y bombas verticales para el servicio al sistema de sales fundidas. Las bombas de fluido térmico incorporan variadores de frecuencia para regular la velocidad de bombeo y optimizar la eficiencia del sistema a temperaturas y presiones elevadas. Estas grandes bombas de doble succión están diseñadas para cumplir los estándares ISO 13709/API 610 (BB2). Además de las bombas para los sistemas de aceite térmico y sales fundidas Flowserve ha suministrado también las bombas de alimentación de agua, de extracción de condensados, de agua de refrigeración y las bombas auxiliares del sistema de fluido térmico.

Power Electronics ha suministrado 9 variadores de la serie XMV660, de 6,6kV con ventilación redundante, que generan un total de 22,5 MW. De las 9 unidades, 6 alimentan las bombas principales de fluido térmico. Las otras 3 unidades alimentan las bombas de alimentación de agua.

La refrigeración de la planta es húmeda, mientras que las dos fases posteriores emplearán un sistema de refrigeración seca. El agua para el proceso de refrigeración de Noor I proviene de la cercana presa Mansour Eddahbi, situada a unos 4 km de la planta, con una capacidad embalsada de 439 hm³. El agua se traslada hasta la planta a través de una tubería submarina y se almacena en los depósitos de la planta, con una capacidad total de 300.000 m³.

to the latest bending and coating technologies, the Flabeg FE solar mirrors provide the highest degree of precision and reflectance. The relevant quality parameter for accuracy, the focus deviation (FDx) is lower than 6 mm combined with a solar reflectivity of more than 94.5%.

Receiver tubes from German manufacturer Schott Solar have been installed in the plant. The assembly of all these tubes was undertaken by Spain's Fergon Servicios Industriales, founding partner of CSPvalue, under the contract awarded by the consortium that was adjudicated the plant construction works.

The plant uses Dow Chemical heat transfer fluid (HTF) backed up by diesel. For this plant Sugimat has supplied two 36 MW capacity boilers sufficient to cover up to one third of the plant's heat requirements. Both run off diesel fuel and provide thermal steps of up to 100°C with a performance of more than 90% thanks to their combustion air pre-heaters.

The boilers have been equipped with diesel burners supplied by E&M Combustión with a 40 MW output. The burners are designed to work with pre-heated air at 200°C and also to achieve very limited levels of NOx emissions. A Flue Gas Recirculation (FGR) system is used as the method to achieve greater reduction in contaminant emissions.

The supply of carbon steel piping and accessories for the plant construction was undertaken by Grupo Almesa with an onsite warehouse for local supply support.

Noor I has a storage capacity of three hours thanks to 46,000 tonnes of molten salts, via the commonly-use dual tank system. Noor II and III will have a storage capacity of seven hours.

Insulation specialists Suaval and Saint Gobain Wanner were awarded the tender for the insulation works:

Suaval for the solar field and power island and Saint Gobain Wanner for the molten salt tanks. To perform these works Isover supplied approximately 210,000 m² of insulation material, stone wool tubular sections and wired mat for the solar field and power island and ULTIMATE rolls (U TECH Roll MT 4.0 V1) for the salt tanks (approx. 28,000 m²).

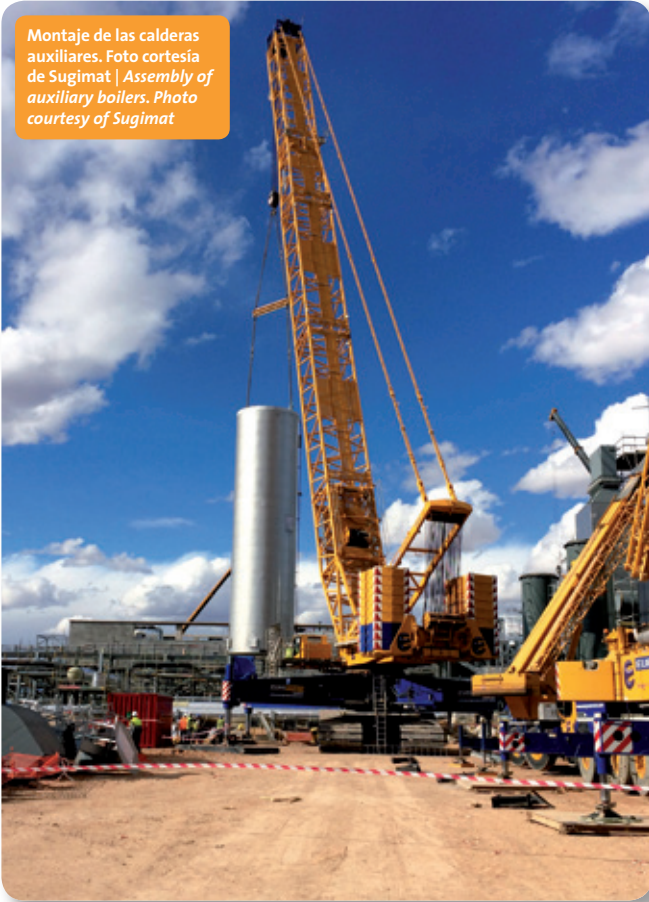
The pumping systems, supplied by Flowserve, use heavy-duty radial pumps for the heat transfer fluid (HTF) and vertical turbine pumps for the molten salt service. The HTF pumps use variable frequency drives to regulate pump speed and optimise the efficiency of the system at elevated temperatures and pressures. These large double suction pumps are designed to comply with ISO 13709/API 610 (BB2) standards. In addition to the HTF and molten salt services pumps, Flowserve also supplied the pumps for the boiler feed water, condensate extraction, cooling water and auxiliary HTF system.

Power Electronics has supplied nine 6.6 kV variable-speed drives from the XMV660 series with a redundant ventilation system, that generate a total of 22.5 MW. Of the 9 units, 6 supply the main HTF pumps. The other 3 units supply the feed water pumps.



Tanques de sales. Foto cortesía de SENER
Salt tanks. Photo courtesy of SENER

Montaje de las calderas auxiliares. Foto cortesía de Sugimat | Assembly of auxiliary boilers. Photo courtesy of Sugimat



La planta está equipada con un turbogruppo a vapor de 143 MW de potencia neta suministrado por Siemens, modelo SST-700. La electricidad producida se evacúa merced a una línea aérea de 225 kV hasta la subestación de Ouarzazate.

Para la transmisión de la energía eléctrica desde la salida de los transformadores auxiliares hasta los correspondientes interruptores de media tensión, Vilfer Electric ha suministrado dos conductos de barras encapsulados en resina del tipo ISOBUSBAR IMTS 7,2/4500, con tensión aislamiento de 7,2 kV y una capacidad de corriente nominal de 4.500 A, diseñados y fabricados según norma IEEE C37.23. Estos conductos disponen de conductores aislados y posteriormente embebidos en mezclas aislantes a base de polímeros cargados. Disponen de una envoltura común de aluminio anodizado y tratado superficialmente contra la corrosión, dividida interiormente en departamentos que envuelven independientemente a cada cuerpo del sistema (conducto de barras de fases segregadas SPB).

¿Qué representa Ouarzazate para Marruecos?

Ouarzazate es el primer complejo solar a gran escala del país y un paso crítico en el Programa de Energía Solar de Marruecos, cuyo objetivo es instalar 2 GW de energía solar antes de fines de 2020. El proyecto pone de relieve la decisión del país de reducir la dependencia de los combustibles fósiles, apostar por un mayor uso de las energías renovables, y avanzar hacia una estrategia de desarrollo con bajas emisiones de carbono.

Marruecos es el mayor importador de energía de Oriente Medio y depende en gran medida de fuentes extranjeras para más del 97% de su electricidad. Aprovechar la energía de su abundante sol liberará a Marruecos de la volatilidad de los costes de importación, además de poder crear la posibilidad de exportar energía verde a los países vecinos. La planta reducirá la dependencia energética del país en unos 2,5 Mtep.

Noor I will use a wet cooling system while the two subsequent phases will use a dry cooling system. The water for the cooling systems in Noor I comes from the close proximity of the Mansour Eddahbi dam, situated some 4 km from the plant, with a reservoir capacity of 439 hm³. The water is transported to the plant via an underwater pipe and is stored in the plant's tanks that have a total capacity of 300,000 m³.

The plant is equipped with a 143 MW net capacity steam turboset model SST-700 supplied by Siemens. The electricity produced will be transmitted via an overhead 225 kV line to the Ouarzazate substation.

To transmit electricity from the output of the auxiliary transformers to the corresponding medium voltage circuit breakers, Vilfer Electric has supplied two resin-encapsulated ISOBUSBAR busbars IMTS 7.2/4500, with an insulation voltage of 7.2 kV and a nominal current output of 4,500 A, designed and manufactured in accordance with the IEEE C37.23 standard. These busbars have isolated conductors embedded in insulating mixtures based on loaded polymers. They have a common anodised aluminium enclosure, surface-treated to protect from rust and divided on the inside into sections that independently enclose each body of the system (segregated phase busbars, SPB).

What does Ouarzazate mean for Morocco?

This is Morocco's first utility-scale solar energy complex and a critical step in the Moroccan Solar Energy Program, which aims to install 2 GW of solar power by 2020. The project underlines the country's decision to reduce dependence on fossil fuels, to commit to the increased use of renewable energy and to move towards a low carbon development strategy.

Morocco is the largest energy importer in the Middle East, and depends heavily on foreign sources for over 97% of its energy. Harnessing power from its abundant sunshine will free Morocco from the volatility of import costs, along with creating the potential for green energy exports to neighbouring countries. The plant will reduce the country's energy dependence by about 2.5 Mtep.

The three-plant Noor-Ouarzazate CSP complex expects to achieve over 500 MW installed capacity, supplying power to 1.1 million Moroccans by 2018. It is forecast to reduce carbon emissions by 760,000 tonnes per year which could mean a reduction of 17.5 million tonnes of carbon emissions over 25 years.



Conductos de barras ISOBUSBAR IMTS. Foto cortesía de Vilfer Electric | ISOBUSBAR IMTS busbars. Photo courtesy of Vilfer Electric

Se espera que el complejo de tres plantas termosolares Noor-Ouarzazate alcance más de 500 MW de capacidad instalada, suministrando electricidad a 1,1 millones de marroquíes en 2018. Se espera que reduzca las emisiones de carbono en 760.000 t/año, lo que podría significar una reducción de 17,5 Mt de emisiones de carbono en 25 años.

Superando barreras, financiación pública para el avance tecnológico y la reducción de costes

La tecnología termosolar es tan prometedora que la Agencia Internacional de la Energía estima que en 2050 hasta un 11% de la generación mundial de electricidad podría provenir de plantas termosolares. Sin embargo, los costes relativamente altos de la tecnología, en comparación con las alternativas de combustibles fósiles, disuaden a los servicios públicos, especialmente en los mercados emergentes, de invertir en la tecnología.

Para demostrar su viabilidad económica y tecnológica, se necesitan proyectos termosolares pioneros en los lugares soleados del mundo. De hecho, de acuerdo con Mafalda Duarte, Gerente de Programas, Fondos de Inversión en el Clima: *“La estimación de la curva de aprendizaje indica que es posible esperar que el complejo Noor-Ouarzazate reduzca los costes mundiales de la termosolar en un 3%”*.

Actualmente hay más proyectos termosolares en construcción o en fase de planificación en todo el planeta, desde Chile y Sudáfrica a India y China, pero Marruecos sigue a la vanguardia de los países comprometidos con la tecnología.

La Agencia Marroquí de Energía Solar, MASEN, el organismo gubernamental creado para concretar las ambiciones solares del país, obtuvo los más de 3.000 M\$ necesarios para la construcción del complejo Noor-Ouarzazate del Banco Mundial, el Fondo para una Tecnología Limpia (CTF, por sus siglas en inglés) de los Fondos de Inversión en el Clima (CIF, por sus siglas en inglés), el Banco Africano de Desarrollo (AfDB, por sus siglas en inglés), y de instituciones financieras europeas.

Para la fase 1 del complejo Noor-Ouarzazate, la deuda de bajo coste proporcionada por el CTF (97 M\$, administrados por el Banco Mundial) y otras instituciones financieras internacionales, redujo los costes de la fase 1 del proyecto en un 20% en comparación con la disponibilidad de financiación de los bancos comerciales. El Banco Mundial está apoyando la fase 2 del complejo con un 400 M\$ y 119 M\$ del CTF.

El apoyo financiero internacional para el complejo ayudará a reducir la presión sobre las finanzas públicas, dado que reducirá de 98 M\$ a 31 M\$ por año el monto del subsidio que el gobierno marroquí requiere para la primera fase.

Los esfuerzos iniciales fueron apoyados por una donación de 43 M\$ del Fondo para el Medio Ambiente Mundial, complementada por una importante financiación adicional del Gobierno y el AfDB. Estos esfuerzos estuvieron destinados a acelerar la reducción de costes y la adopción comercial de tecnologías de generación de bajas emisiones de gases de efecto invernadero a gran escala, y para poner a prueba la viabilidad de la tecnología solar térmica con el fin de favorecer su reproducción en Marruecos y en otros lugares.

Las inversiones en termosolar de los Fondos de Inversión en el Clima tienen por objeto establecer un registro de desempeño de la tecnología, reduciendo de esa manera el riesgo percibido y los costes futuros del proyecto para los inversores y desarrolladores termosolares del sector privado.

Overcoming barriers, public funding for technological progress and costs reduction

It is such a promising technology that the International Energy Agency estimates that up to 11% of the world's electricity generation in 2050 could come from CSP. But relatively high technology costs, when compared to fossil fuel alternatives, deter utilities from investing in the technology, especially in emerging markets.

To prove its economic and technological viability, state-of-the-art CSP projects are needed across the world's sun-drenched places. According to Mafalda Duarte, Program Manager for Climate Investment Funds: *“the learning curve estimate indicates the Noor-Ouarzazate complex can be expected to reduce the global costs for CSP by 3%.”*

More projects using CSP are currently under construction or in the planning phase across the globe, from Chile and South Africa to India and China, but Morocco remains at the forefront of countries committed to the technology

The Moroccan Agency for Solar Energy (MASEN), the government agency established to realise the country's solar ambitions, secured the more than US\$3bn needed for the construction of the Noor-Ouarzazate complex from the World Bank, the Climate Investment Funds' Clean Technology Fund (CTF), the African Development Bank (AfDB) and European financing institutions.

For phase 1 of the Noor-Ouarzazate complex, the low-cost debt provided by the CTF (US\$97m, managed by the World Bank) and other international financial institutions, reduced phase 1 project costs by about 20% compared to the financing available from commercial banks. The World Bank is supporting phase 2 of the complex by financing US\$400m with US\$119m from the CTF.

The international financial support for the complex will help reduce the strain on public finances by lowering the amount of subsidy that the Moroccan government required for the first phase, from US\$98m to US\$31m per year.

Initial efforts were supported by a US\$43m GEF grant, complemented by significant additional government and AfDB financing. These efforts were designed to accelerate cost reduction and the commercial adoption of large-scale low-greenhouse-gas emitting generation technologies, and to test the viability of solar thermal technology with a view to encouraging its replication in Morocco and elsewhere.

The Climate Investment Funds' CSP investments are intended to establish a record of performance for the technology, thereby lowering perceived risk and reducing future project costs for private sector CSP investors and developers.

