

Documento de Aplicaciones – Inversores de cadena para grandes plantas de generación fotovoltaica. Módulos Cristalinos



Índice de contenidos

1. Introducción. Resumen ejecutivo.....	2
2. Elección de la disposición más adecuada para una planta.....	3
2.1 Campos FV cuadráticos.....	3
2.2 Diseños alternativos del campo fotovoltaico	4
2.3 Centro de transformación compacto	4
2.4 Disposición de los módulos	5
2.5 Monitorización.....	5
3. Servicio/fiabilidad	6
4. Apéndice A- diagramas de cableado	7
4.1 Cableado de un campo de 665kWp	8
4.2 Cableado de una planta de 10 MWp.....	9
4.3 Cuadro de baja tensión.....	10

Introducción. Resumen ejecutivo.

El presente documento expone nuevas ideas sobre la utilización de los inversores de cadena en grandes plantas de energía fotovoltaica.

Se sabe que existe una relación entre la potencia nominal del inversor y su coste específico en €/kW. Por lo tanto, al construir grandes plantas fotovoltaicas de última generación de varios MW de potencia, lo habitual ha sido utilizar inversores centrales lo más grandes posible, con el fin de reducir el coste de la inversión. En la actualidad, existen inversores centrales que alcanzan potencias entre 1 y 2 MW. Sin embargo, la tendencia al desarrollo de inversores cada vez mayores eleva los costes de instalación, pese a reducirse el coste específico del propio inversor.

La naturaleza modular de los paneles fotovoltaicos (el mayor panel se encuentra por debajo de los 500 W) implica la modularidad de la planta fotovoltaica sea cual sea su tamaño. Por tanto, es conveniente buscar configuraciones alternativas para configurar una planta fotovoltaica.

Con el uso de inversores de cadena como elementos modulares de la planta y las funciones integradas en estos, pasan a ser innecesarios muchos de los elementos externos imprescindibles en las plantas con inversores centrales.

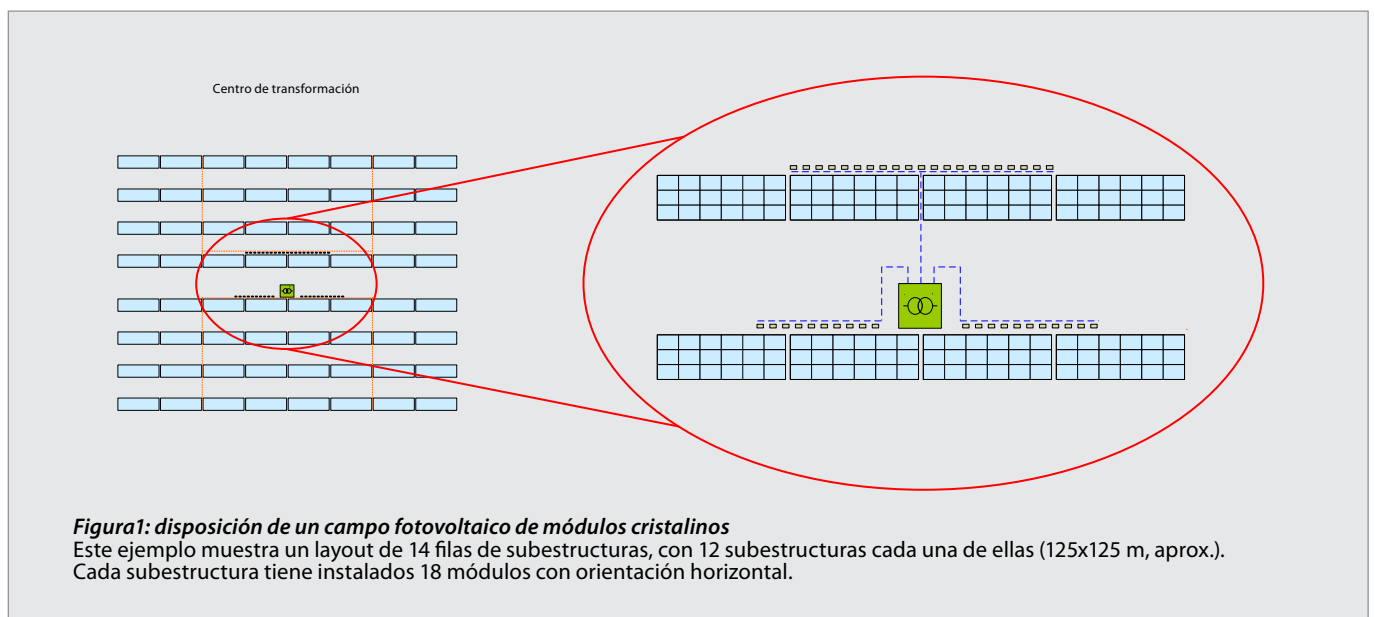
Los actuales inversores de cadena de alta gama incorporan las principales ventajas de los inversores centrales, como son el amplio rango de tensiones de entrada y la salida trifásica, además de poseer una gran eficiencia de conversión. De este modo, se reducen las pérdidas en los cableados de CC y CA, lo cual garantiza una mayor producción energética global de la planta. Al existir mayor cantidad de seguidores de máxima potencia, se asegura un mayor aprovechamiento de la energía de los módulos. Asimismo, las cajas de paralelos y la monitorización de cadenas ya no serían necesarias, de modo que se simplifica el cableado.

El uso de centros de transformación compactos para conectar los inversores de cadena implica que ambos se puedan colocar entre las filas de módulos

con el mínimo impacto. Además, los inversores de cadena y las estaciones transformadoras compactas se caracterizan por su facilidad de instalación y por sus cortos plazos de entrega por ser un producto estándar.

Para instalar, mantener o sustituir inversores no se requiere ninguna formación especial, lo cual evita los contratos de mantenimiento habituales para inversores centrales. Al no precisarse cajas de paralelos, se minimiza el mantenimiento de la parte de continua.

Este documento recalca el papel de los inversores de cadena como alternativa atractiva a los inversores centrales en las grandes plantas de energía fotovoltaica. Para ello, se recurre al ejemplo de una planta de 10 MWp en Centroeuropa con 15 campos fotovoltaicos cuadráticos idénticos, 15 centros de transformación individuales de 630 kVA y 15 x 42 inversores TripleLynx.



Elección de la disposición más adecuada para una planta

El objetivo al planificar una planta fotovoltaica es conseguir un retorno óptimo de la inversión. Por una parte requiere la utilización de inversores y transformadores de elevada eficiencia, enfocarse en reducir las pérdidas en el cableado y debidas a sombreados, así como realizar una monitorización detallada de la planta.

Por otro lado, los costes de planificación, material e instalación se deben minimizar.

2.1 Campos FV cuadráticos

El uso de centros de transformación compactos colocados en una posición central del campo fotovoltaico cuadrático, reduce las pérdidas de cableado en la zona de corriente continua y en la zona de corriente alterna de baja tensión, ya que se reduce la longitud de los cables entre módulos, inversor y transformador. Véase figura 1: disposición de un campo fotovoltaico.

El uso de inversores con tensión máxima de entrada de 1000V, permite prescindir de las cajas de paralelos. Los cables de continua conectan directamente la serie de módulos al inversor.

Un transformador de 630 kVA puede tener 42 inversores conectados directamente y las protecciones, incluyendo el cuadro de baja tensión, caben en la zona de baja tensión del centro de transformación.

Por otro lado, es posible construir más campos modulares cuadráticos de 665 kWp de forma rentable.

Véase el apéndice A donde se muestra un ejemplo de cableado.

A continuación, abordaremos las ventajas en mayor detalle:

2.1.1 Ventajas en la zona CC

El amplio rango de tensiones de seguimiento MPPT de los inversores permite conectar módulos en una serie hasta llegar a 5,28 kWp (conectando 24 módulos de 220 Wp con 60 células por módulo). La consiguiente reducción del número de cadenas para la misma potencia reduce los costes de cableado e instalación considerablemente. La tensión de la serie en condiciones de temperatura de operación nominal de la célula (NOCT) se encuentra bastante por encima de los 600 V, por lo que se consigue una eficiencia óptima. Por otro lado, las pérdidas en el cableado de continua descienden considerablemente.

El seguimiento del punto de máxima potencia individual para cada cadena

(o grupo de cadenas si se utilizan módulos con menor corriente MPP) es una de las grandes ventajas de los inversores de cadena y permite una producción máxima para cada una de las cadenas.

Si además cada una de las tres filas de módulos existentes en las estructuras se conecta a su propio seguidor MPP, se reducen enormemente las pérdidas por sombras. Esto es debido al hecho de que cada grupo de cadenas tiene entonces su propio seguidor MPP independiente para controlar y optimizar la potencia de salida. Si una serie se desconecta debido a la ausencia de radiación solar o a alguna incidencia, el resto de series siguen generando energía, de modo que se maximiza la producción final de la planta.

2.1.2 Ventajas en la zona CA

Los inversores de cadena con grado de protección IP54 son adecuados para instalaciones en exterior y no requieren protección adicional si se instalan en la parte trasera de las subestructuras de módulos.

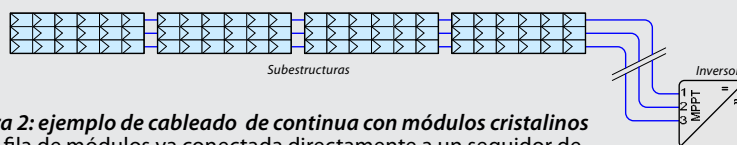


Figura 2: ejemplo de cableado de continua con módulos cristalinos
Cada fila de módulos va conectada directamente a un seguidor de máxima potencia del inversor

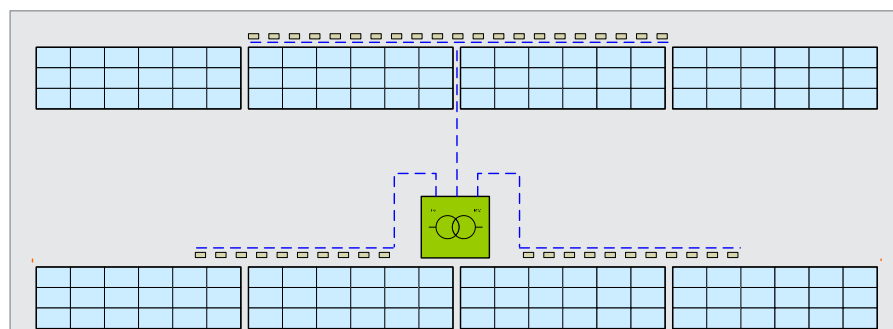


Figura 3: ubicación de los inversores.

Los inversores se montan en la parte trasera de las subestructuras de módulos, cerca del centro de transformación. El cableado de alterna de baja tensión a la salida de los inversores se conectará al cuadro de baja tensión del centro de transformación, que puede ser preinstalado antes del suministro. Véase apéndice A. 4.3.

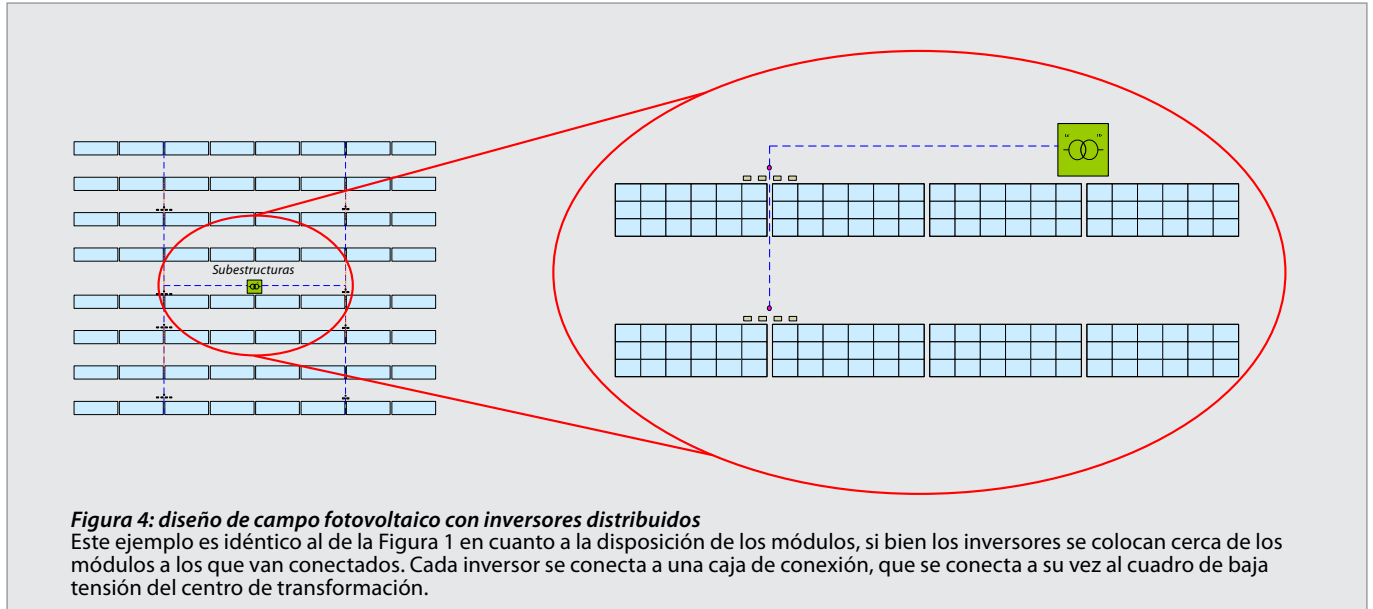
Asimismo, el peso reducido y las dimensiones compactas de los inversores de cadena, permiten el anclaje de los inversores a las subestructuras de módulos. Si los inversores se instalan cerca del centro de transformación, el coste del cableado de CA de baja tensión se reduce en gran medida, evitándose pérdidas de producción en el cableado de alterna en su tramo desde el inversor hasta el transformador.

2.2 Diseños alternativos del campo fotovoltaico

Acabamos de describir un campo fotovoltaico cuadrático con inversores colocados en una ubicación central. Las mismas consideraciones y resultado se podrían lograr con una

disposición rectangular de 21 filas de subestructuras con 8 subestructuras por fila. De igual modo, es posible diseñar disposiciones en las que los inversores no estén colocados en el centro. En dicho caso, la solución óptima

depende de los costes de material e instalación del cableado CC y CA y de las cajas de conexión para agrupación y protección del cableado de CA, ponderados en relación con las pérdidas del cableado de CC y CA.



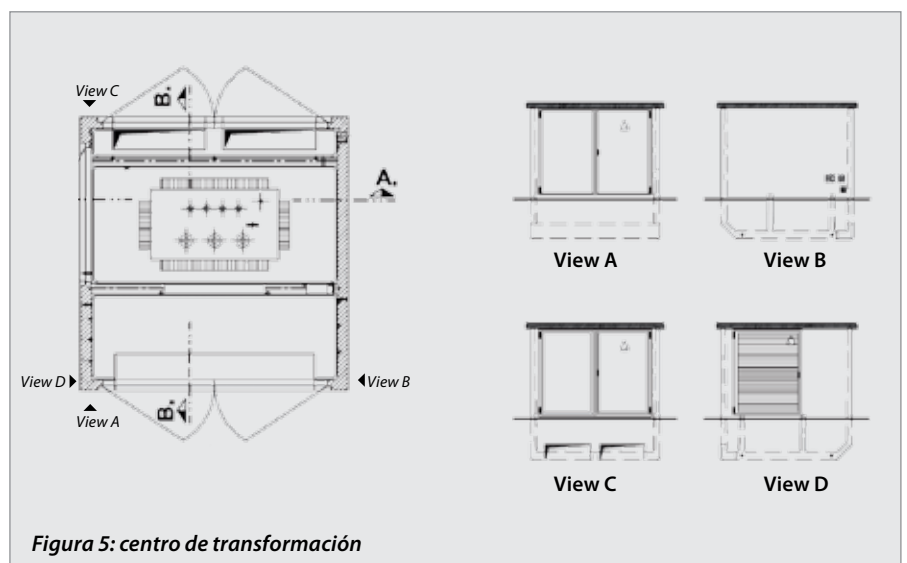
2.3 Centro de transformación compacto

El centro de transformación de 630 kVA es uno de los más utilizados y, por lo general, cuenta con unos plazos de entrega cortos. Las dimensiones compactas y el reducido peso del centro, permiten suministrar dos unidades por entrega y utilizar camiones grúa más pequeños para su instalación. Dado que la altura del centro es reducida (187 cm por encima del nivel del suelo), es posible colocarla por detrás de los módulos. La subestructura de módulos trasera se vería ligeramente más afectada por las sombras de no contarse con una distancia mayor entre ésta y la anterior.

El uso de un transformador con bajas pérdidas reduce el consumo eléctrico nocturno del transformador por debajo del 0,4% de la producción anual. De este modo, las pérdidas por cortocircuito no tienen gran peso sobre la producción total.

En la parte de media tensión de transformadores de este tipo, pueden instalarse paneles de alimentación con fusibles HH en lugar de conmutadores de alimentación, mucho más

caros. Los tramos de cableado largos pasan a ser en media tensión, con lo que las pérdidas eléctricas se ven muy reducidas.



2.4 Disposición de los módulos

Para ilustrar las ventajas anteriores, presentamos ahora un ejemplo de diseño.

Con el fin de reducir las pérdidas por sombreado (sombras arrojadas), se recomienda montar tres filas de módulos en posición apaisada (horizontal) por subestructura. Los módulos se conectan de forma que cada una de las filas forme una cadena. Las tres cadenas de módulos se conectan de forma individual a las tres entradas del inversor.

Dicha configuración proporciona, además, una ligera ventaja los días de invierno, cuando los módulos inferiores se encuentran, por lo general, sombreados. En los días de verano, sin viento y con alta irradiación se puede

conseguir una ventaja similar, ya que la fila superior tendrá una temperatura ligeramente superior y, por tanto, estará trabajando a menor tensión de máxima potencia.

Los tres seguidores MPPT optimizan, de este modo, cada una de las filas individuales en lugar de buscar una tensión de operación de compromiso, como ocurriría si las cadenas se conectaran en paralelo.

Un diseño con 5,28 kWp por cadena o 15,9 kWp en total, tendrá un factor de dimensionado (P_{solar}/P_{inversor}) de 1,06, que se encuentra dentro de las recomendaciones del Dr. Bruno Burger¹ para plantas ubicadas en Centroeuropa. Se tiene en cuenta la alta eficiencia del inversor y la baja temperatura de módulo, debida a su montaje en suelo.

Se pueden utilizar distintas configuraciones, sacando siempre provecho a la tensión máxima de circuito abierto de 1000V.

Para módulos monocristalinos y policristalinos con células de 156 x 156 mm son posibles, según el número de células por módulo, dos configuraciones diferentes:

- 1 cadena de 24 módulos (220 W con 60 células) en cada una de las 3 entradas
- 1 cadena de 30 módulos (175 W con 48 células) en cada una de las 3 entradas

Para instalaciones en el sur de Europa, donde se recomienda un factor de dimensionado menor, la potencia puede reducirse con facilidad conectando menos módulos por serie.

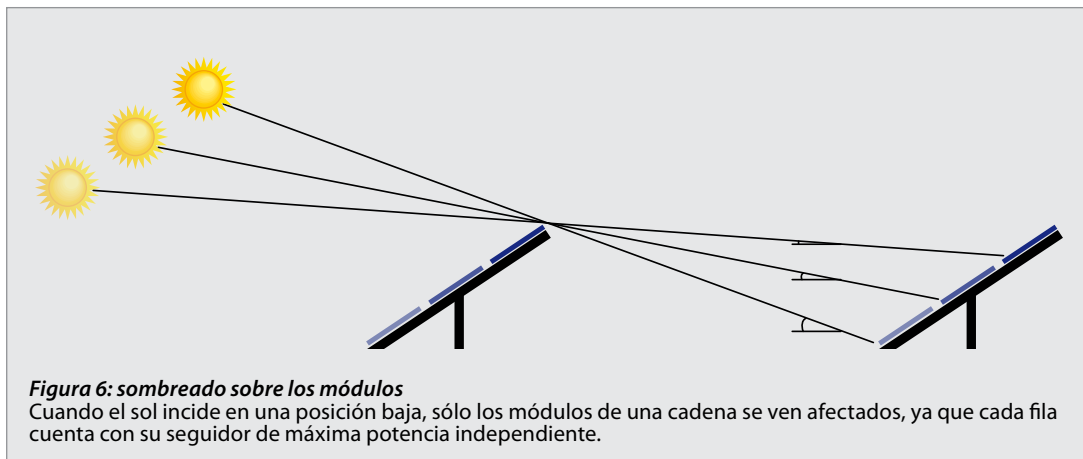


Figura 6: sombreado sobre los módulos

Cuando el sol incide en una posición baja, sólo los módulos de una cadena se ven afectados, ya que cada fila cuenta con su seguidor de máxima potencia independiente.

2.5 Monitorización

Los datos de monitorización de la planta se pueden enviar a un servidor de almacenamiento de datos utilizando webloggers que se ubican en cada centro de transformación. La alimentación del weblogger y de su módem asociado, se puede obtener del lado de baja tensión del transformador, ya que únicamente se necesita una pequeña cantidad de potencia (< 20W).

Si se requiere acceso on-line a los datos, se recomienda conectar cada weblogger a un puerto Ethernet, en lugar de utilizar un módem. En caso de que el centro de transformación se desconecte y se apague

el weblogger, se pueden extraer los datos de la memoria de cada uno de los inversores una vez se restaure el suministro eléctrico. El inversor conserva registros de los últimos tres días en su memoria interna.

Con los inversores colocados de forma central cerca del centro de transformación, es fácil realizar las conexiones de los cables de monitorización. Los inversores pueden conectarse en serie utilizando un cable estándar Cat 5. El cable puede conectarse directamente al inversor bien utilizando terminales atornillados o bien cables prefabricados con conectores RJ45.

Es posible monitorizar la corriente y la tensión MPP de cada una de las cadenas individuales. De este modo, es posible detectar un error en cada cadena individual en la entrada del inversor afectada sin necesidad de equipos de monitorización adicionales. Véase la figura 2.

Los datos quedan registrados cada 10 minutos y normalmente se transmiten al servidor de almacenamiento de datos diariamente.

El cableado de comunicaciones se puede observar en el apéndice A 4.1.

¹ Inverter sizing for grid connected PV plants, Dr.-Ing. Bruno Burger, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Heidenhofstraße 2, D-79110 Freiburg. http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/nach-jahrgaengen/2005/auslegung-und-dimensionierungvon-wechselrichtern-fur-netzgekoppelte-pv-anlagen/at_download/file

Servicio/Fiabilidad

Los inversores de cadena tienen la ventaja de ser un componente estándar disponible en el mercado. Por ello, es posible que un instalador local o supervisor de planta sin formación específica realice el cambio del inversor en caso necesario. De este modo, los contratos de mantenimiento habituales en el caso de inversores centrales, no serían necesarios en el caso de inversores de cadena. Además, puede contarse con inversores de repuesto en planta.

Por otro lado, en caso de fallo, sólo se verá afectada una parte muy reducida del sistema. Por ejemplo, en una

planta de 10 MW deben fallar por completo más de 6 inversores para que la pérdida alcance el 1% de la producción.

Con los centros de transformación compactos propuestos, el mantenimiento anual de la red de media tensión requiere algo más de esfuerzo, debido al número de estaciones transformadoras. Sin embargo, no se requiere mantenimiento en la zona de CC, ya que se eliminan las cajas de conexión. Por ejemplo, no existirían problemas debidos a fusibles de CC fundidos.

La garantía de 5 años no se ve alterada aunque los inversores se utilicen en aplicaciones de grandes plantas. Adicionalmente, es posible ampliar la garantía a 10 años.

Para ayudar al instalador o supervisor de planta a identificar fallos en los inversores, éstos cuentan con pantalla.

Apéndice A: diagrama de cableado

4.1

Cableado de un campo de 665kWp

Plano de Gräper

4.2

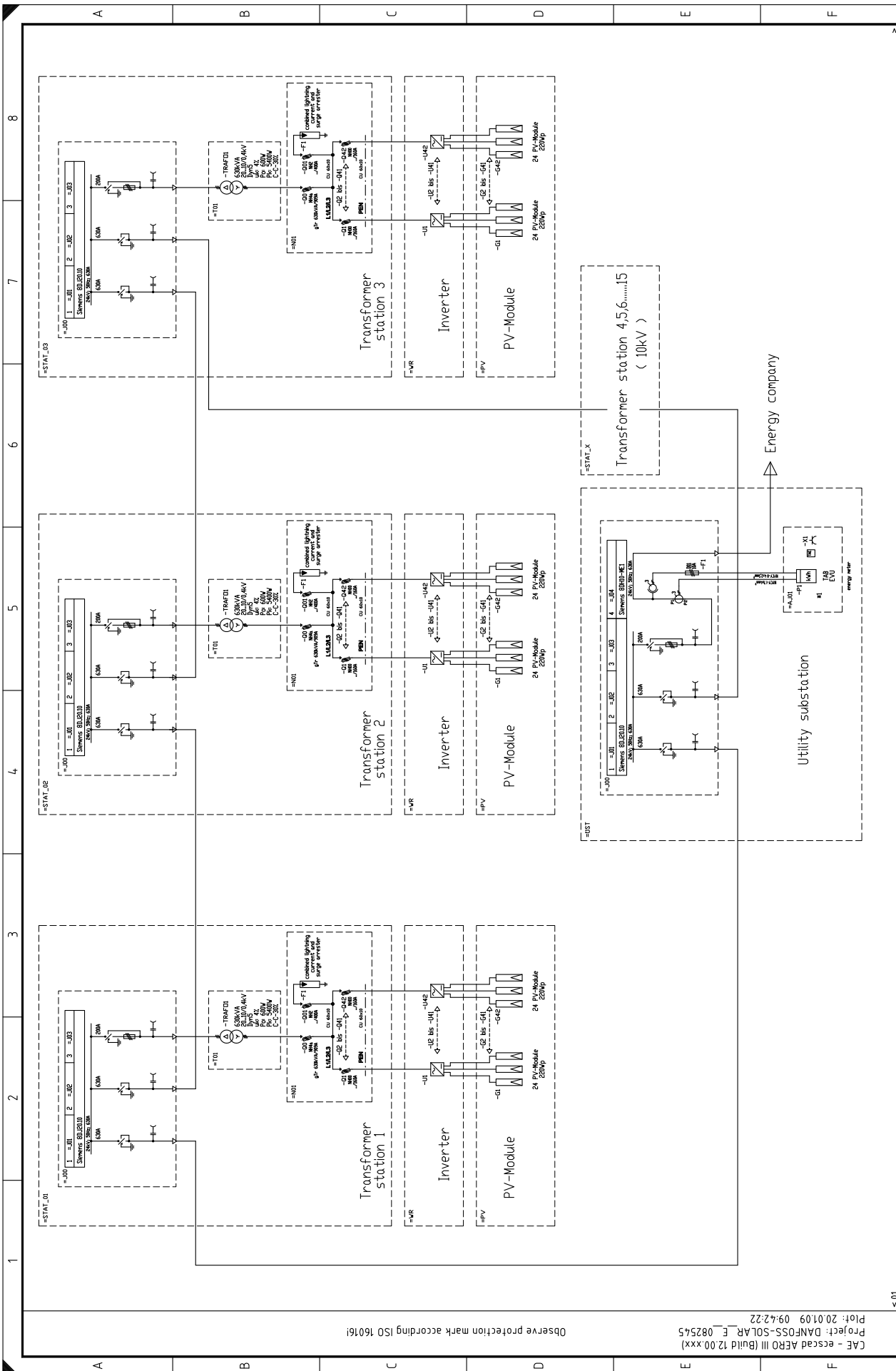
Cableado de una planta de 10 MWp

Plano de Gräper

4.3

Cuadro de baja tensión

Plano de Gräper

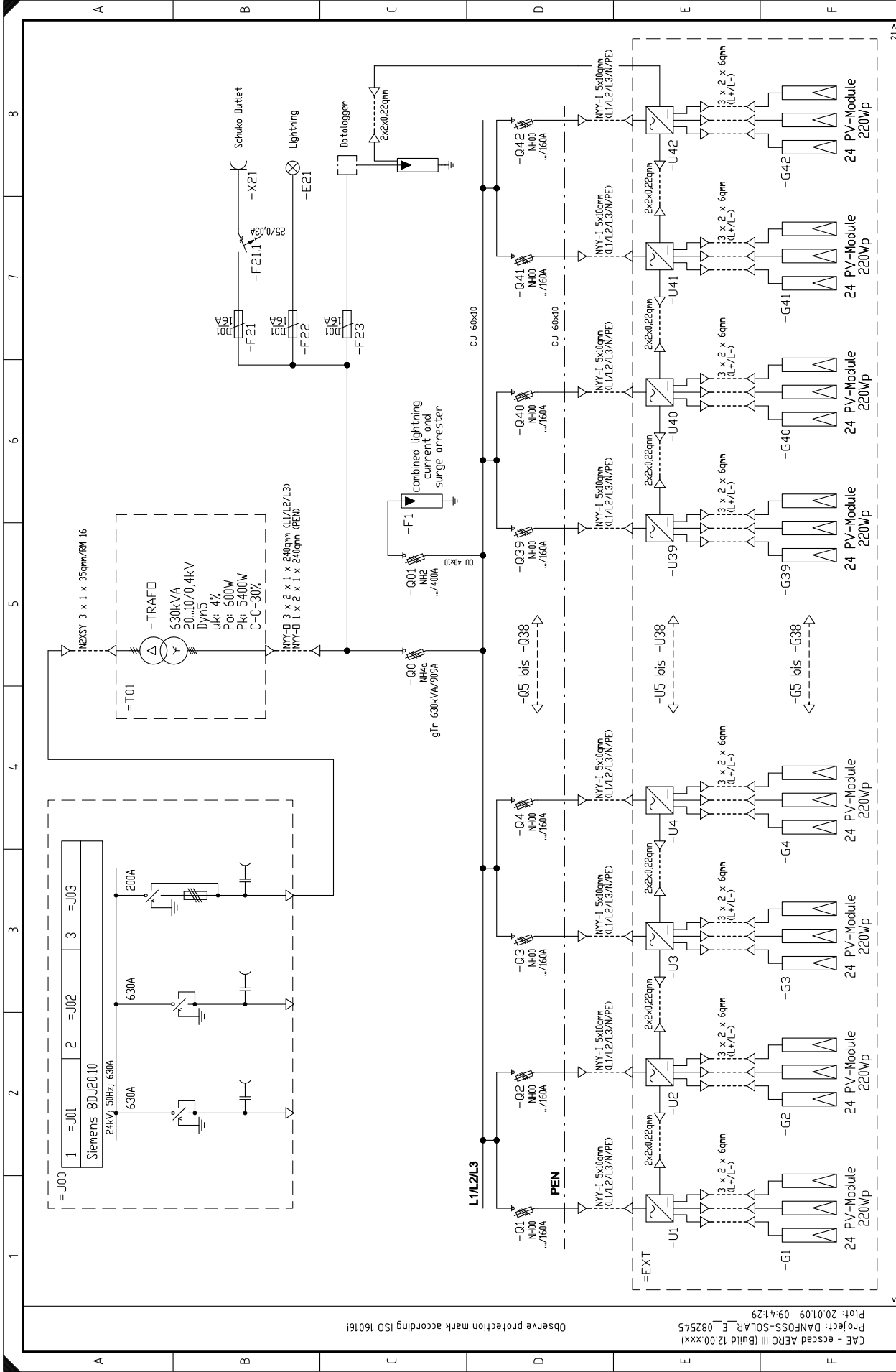


Date: 19.01.09		Project description: Dantoss Solar Inverters A / S - "PV-Kraftwerk"	
Design: K. Freese		Order No.: 0872.186-EA01	
Check: M. Coldevey		Page: 02	
Name: Stand.		Of: 2	
Date:		Rep. by: 0872.186-EA01	
Status: Revision		Source:	
Date: 19.01.09		Rep. by: 0872.186-EA01	
Design: K. Freese		Source: 0872.186-EA01	
Check: M. Coldevey		Source: 0872.186-EA01	
Name: Stand.		Source: 0872.186-EA01	
Date:		Source: 0872.186-EA01	
Status: Revision		Source: 0872.186-EA01	

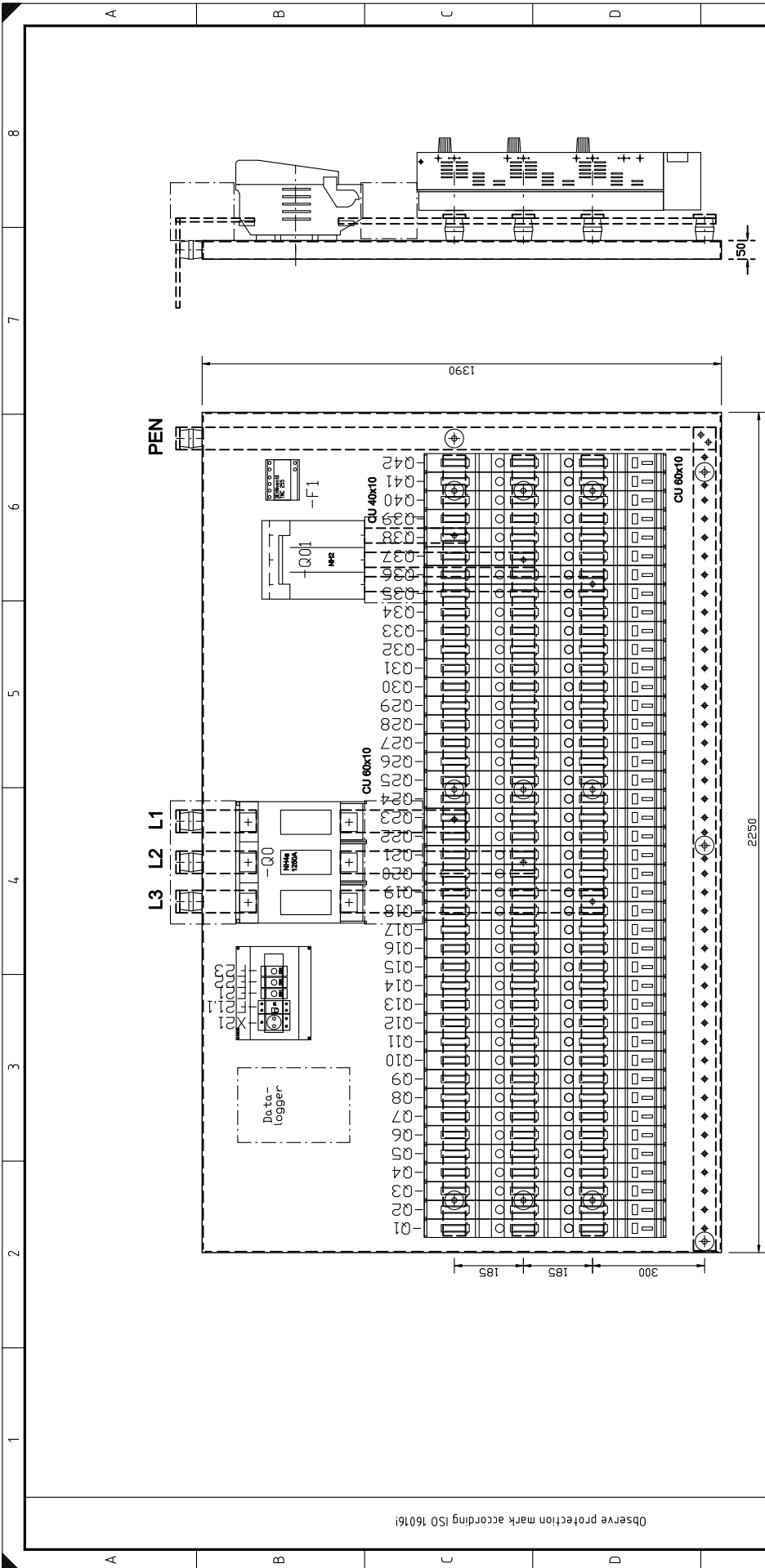
< 01

Observe protection mark according ISO 16016!

CAE - escad AERO III (Build 12.00.xxx)
 Project: DANFOSS-SOLAR_E_082545
 Plot: 20.01.09 09:42:22



Project description:		= N01	
Danfoss Solar Inverters A / S - "PV-Kraftwerk"		+	
Order No.:	PR-082545	Drawing No.:	08/2.186-EA01
Status	Revision	Date	Name
		19.01.09	K. Freese
			M. Coldewey
			Source
			Rep. by:
Overview wiring diagram		low voltage switch gear in	
20kV - Transformer station		Rep. by:	
Project: DANFOSS-SOLAR_E_082545		Plot: 20.01.09 09:41:29	
CAE - escad AERD III (Build 12.00.xxx)		Observe protection mark according ISO 16016!	



CAE - escad AERO III (Build 12.00 xxx)
 Project: DANFOSS-SOLAR_E_082545
 Plot: 20.01.09 09:40:25
 Observe protection mark according ISO 16016!

Technical Informations

low voltage switch gear		busbar system	
Typ	G-SL TL 1250-AL21	construction	Flash
material	Kupfer	bus bar distance	185/185Z/5mm
form	low dimension (BMT)	busbar dimension	60x10mm (L/1L2L3/PEN)
LV-sheet	2250x1390	current rating	910A
Normen	VDE 0660 Teil 500	busbar material	other
degree of protection	IP20	supply	up / back
		up / back	under
		other	other

Energy company	-/-	fuse	-/-	board	-/-	wire for current	-/-
wire	-/-	counter cabinet	-/-	wire for voltage	-/-	wire for current	-/-

Project description:
 Danfoss Solar Inverters A / S - "PV-Kraftwerk"
 Order No.: 08/2.186-EA01
 Drawing No.: 08/2.186-EA01
 Page 21 of 2

Date	19.01.09	Rep. by:	
Design	K. Freese	Source:	
Check	M. Coldewey		
Name	Stand.		
Date			
Revision			
Status			

Installation diagram
 low voltage switch gear
 Scale 1:10 (DIN-A3)

Station- und Engpasskalkulation
 Heinrich Gräper GmbH & Co. KG
 Ida Gräper Weg
 26197 Großheideheim - Allhorn



Danfoss Solar Inverters A/S

Ulsnaes 1
DK-6300 Graasten
Denmark
Tel: +45 7488 1300
Fax: +45 7488 1301
E-mail: solar-inverters@danfoss.com
www.danfoss.es/solar

Danfoss no acepta ninguna responsabilidad por posibles errores que pudieran aparecer en sus catálogos, folletos o cualquier otro material impreso, reservándose el derecho de alterar sus productos sin previo aviso, incluyéndose los que estén bajo pedido, si estas modificaciones no afectan las características convenidas con el cliente. Todas las marcas comerciales de este material son propiedad de las respectivas compañías. Danfoss y el logotipo Danfoss son marcas comerciales de Danfoss A/S. Reservados todos los derechos.