

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

CENTRO INTERNACIONAL DE POSTGRADO

MASTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**VOLTEADOR PARA CONTRAPESADOS DE SCE
(SOLAR COLLECTOR ELEMENT)**

JULIO 2018

Víctor García Lastra

Miguel Ángel José Prieto

[Firma]

[Firma]

AGRADECIMIENTOS

A la empresa:

Gracias a **ImEnergy** por permitir compaginar mis estudios con el trabajo, dejándome la suficiente flexibilidad para poder asistir a las clases. En especial a Hugo Barriales que ha sabido tutorarme y guiarme en muchos aspectos, no solo como profesional, sino que también como persona y amigo.

Profesores:

Gracias a la escuela, a la cual me siento muy vinculado. Gracias a mi primera beca, que me introdujo en el sector termosolar, y a los tutores que han sabido creer en mí, sacando mis mejores virtudes cuando solo era un recién titulado.

Otro especial agradecimiento para "Mike", que aun estando en la distancia ha tenido que soportarme. Se agradece la disposición y la flexibilidad que ha tenido para orientarme en la elaboración del proyecto. Aunque en más de un correo quisiera "matarme" ;).

A la familia:

Agradecer a mi Padre las horas de bricolaje con la maqueta, ya que sin ella no podría tener un demostrador. A mi Madre por enseñarme a ser perseverante y luchar hasta alcanzar las metas que uno se fija. Y a mis herman@s, que han sabido aconsejarme y guiarme en cada una de las decisiones que he tenido que tomar.

A mi mujer:

Solo decirte, gracias! Por tener a alguien a mi lado que sabe lo que necesito en cada instante. Gracias por entender mi trabajo y mis constantes viajes. Gracias por aguantar mudanzas cada dos años. Gracias por esperarme con la luz encendida hasta ir juntos a la cama. Gracias por creer en mí cuando ni yo lo hago y empujarme con nuevos retos. Solo Gracias...por hacerme mejor.

RESUMEN

El proyecto aquí presentado consiste en realizar un desarrollo completo de un producto que permita obtener el centro de gravedad de los módulos cilindro parabólicos solares, pudiendo modificarse este mediante una serie de contrapesos ubicados en las estructuras parabólicas. Estos contrapesos deben permitir ajustar el centro de masas en el eje de giro de dichos módulos, y por tanto, minimizando los esfuerzos de torsión.

La realización de este proyecto viene motivada por una necesidad real que existe en el desarrollo, fabricación y ensamblaje de los colectores solares parabólicos actuales en el mercado. El objetivo principal del proyecto es realizar el diseño mecánico y electrónico de un producto final, que satisfaga dicha necesidad existente en el campo de la tecnología de colectores termosolares.

La necesidad de contrapesar los colectores se ha visto esencial tras años de desarrollo de esta tecnología. Las desviaciones de peso que existen en los diferentes componentes que conforman el módulo parabólico dan lugar a variaciones del centro de gravedad del conjunto completo. Estas desviaciones suelen provenir de una mala evacuación del galvanizado, dejando en el interior de los tubos de la estructura metálica más galvanizado del deseado, o por variaciones en el espesor de los espejos u otros elementos. Todas ellas son desviaciones aleatorias, difíciles de predecir y de tener en cuenta en la fase de diseño. Esto esencial la utilización de un sistema de contrapeso "*in-situ*" en las líneas de ensamblaje de los módulos parabólicos.

Ante estos antecedentes, el producto aquí diseñado debe realizar un análisis del centro de gravedad de los módulos solares parabólicos existentes en el mercado termosolar, integrado en las líneas de ensamblaje de los módulos parabólicos y por tanto contrapesando de forma individual cada estructura antes de ser montada en el campo.

El proyecto abarca el diseño mecánico que voltea los módulos parabólicos, la parte eléctrica y de potencia de todo el sistema y el diseño de la aplicación que dé como resultado el peso y ubicación de los contrapesos necesarios. Para ello se debe gestionar un motor, conociendo en todo momento su posición, velocidad de giro, y reacción de los esfuerzos. En el producto final toda esta gestión se realizará mediante un PLC o similar con los elementos periféricos necesarios para la lectura de todos los datos. En el presente Trabajo Fin de Máster se desarrolla un demostrador que integra los sistemas mencionados y que sirve como un prototipo donde se puedan ver en ejecución todos los conceptos aplicados.

Como parte final de este resumen mencionar que este proyecto está creado como antesala del sistema de contrapesado que se integrará en las líneas de ensamblaje de los colectores solares ensamblados por ImEnergy. Dicha empresa, lleva establecida en el sector termosolar más de 7 años, gestionando procesos de diseño, fabricación y ensamblaje de los módulos parabólicos solares. Tras no existir un producto que integre de forma efectiva el contrapesado de los colectores en las líneas de ensamblado, han decidido desarrollar un producto para su propia explotación que satisfaga las necesidades resumidas en este apartado.

PALABRAS CLAVE

SCE: Solar Collector Element. Se denomina un SCE al módulo que compone la estructura metálica que soporta los espejos que conforma la parábola para concentrar la energía solar sobre un fluido caloportador

SCA: Solar Collector Assembly. Se denomina al conjunto de SCE que mediante un accionamiento central conforman la unidad completa para coleccionar la energía solar. Dependiendo del diseño un SCA puede disponer de 8 a 10 SCE's

JIG: Traducido al castellano como plantilla. Dentro del campo termoslar, se denomina JIG a las diferentes puestos que una línea de ensamblado dispone para realizar el ensamblaje de los SCE de manera repetitiva, efectiva y garantizando las tolerancias de ensamblaje

Universal Traverse: Se denomina a la pieza necesaria que permite garantizar el posicionamiento de los SCE's de un JIG de ensamblaje a otro. Esta pieza se hace esencial en proceso de ensamblado para garantizar un posicionamiento único de las estructuras.

PLC: Un PLC o controlador lógico programable. Son elementos electrónicos muy utilizados en la industria con el propósito de controlar de forma automática las diferentes máquinas y procesos. Es por ello que podemos decir que un PLC permite automatizar procesos electromecánicos.

Datagrama: Se denomina datagrama al paquete de datos que constituye al mínimo bloque de información de una red. El datagrama es utilizado bajo protocolos de comunicación entre diferentes nodos de una red, es decir, no está orientado para la utilización de comunicaciones de una red abierta o con conexión.

ÍNDICE GENERAL

1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	7
1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN COLECTOR SOLAR	8
1.2. DESCRIPCIÓN DE UNA LÍNEA DE ENSAMBLADO.....	10
1.3. ESTADO DE LA CIENCIA.....	13
1.4. CONTRAPESADO DEL COLECTOR	15
1.5. UTILIZACIÓN DE ELEMENTOS ESTÁNDAR EN LAS LÍNEAS DE ENSAMBLADO	16
1.5.1. <i>Universal Traverse</i>	17
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VOLTEO	19
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL VOLTEADOR	19
2.2. PROCEDIMIENTO DE EQUILIBRIO EN LÍNEA.....	21
2.3. SISTEMAS DE CONTROL.....	23
2.3.1. <i>Armario de Control</i>	23
2.3.2. <i>Armario de Operación</i>	24
3. MATEMÁTICAS DEL EQUILIBRADO	27
3.1. CÁLCULO DE CONTRAPESOS	30
4. DISEÑO MECÁNICO	33
4.1. ANÁLISIS DE ESFUERZOS	35
4.2. VELOCIDAD DE GIRO	37
5. JUSTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS	39
5.1. MOTORREDUCTOR	39
5.2. DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN DE FUERZA	41
5.3. VARIADOR DE FRECUENCIA	42
5.4. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).....	43
5.5. IDS DE SIEMENS.....	44
6. DISEÑO DEL INTERFACE.....	47
7. IMPLEMENTACIÓN DEL DEMOSTRADOR	53
7.1. ELEMENTOS HOMÓLOGOS DE LA MAQUETA	54
SINAMICS G120D	56
7.2. LÓGICA ARDUINO.....	57
7.3. MEDIDA DE LA POSICIÓN DEL MOTOR	58
7.3.1. <i>Conexión y Funcionamiento del Potenciómetro</i>	59
7.4. FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE FUERZA	60
7.5. FUNCIONAMIENTO DEL DRIVER DEL MOTOR	62
8. CONCLUSIONES	66
8.1. POSIBLES MEJORAS	66
9. ANEXOS	68
9.1. CÓDIGO:	68
9.2. PLANOS MECÁNICOS	77
9.3. PLANOS ELÉCTRICOS	81
9.4. OTROS ANEXOS.....	89

1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Un colector cilindro-parabólico solar forma parte de un campo de colectores solares, diseñado para la captación de calor del sol. La radiación solar se concentra a través de espejos cilindro-parabólicos en una fuente de calor ubicada en el foco de la parábola descrita por los espejos denominada como tubo caloportador. Los colectores solares son de forma continua para poder mirar directamente al sol. Un fluido de transferencia de calor circula por el interior tubo caloportador y transporta la energía absorbida a un bloque de potencia convencional donde se genera electricidad.



Ilustración 1 Colector cilíndrico parabólico

Debido a unos requerimientos técnicos particulares, las estructuras de soporte para colectores solares son territorio desconocido y no existe una normativa que las regule. Los conceptos básicos de diseño deben ser muy estrictos sin importancia de si se trata de heliostatos, colectores Fresnel parabólicos o lineales, o sistemas fotovoltaicos de concentración. El objetivo de diseño debe centrarse en diseñar un instrumento óptico maniobrable, que consiste en grupos de componentes que sean tan simples de fabricar como sea posible con el fin de cumplir con los exigentes requisitos técnicos y de calidad del sector y las exigencias económicas del proceso de producción y montaje.

En este contexto, la precisión necesaria siempre supone un reto. Incluso pequeñas desviaciones de la geometría de la estructura conducen a pérdidas ópticas que reducen el rendimiento solar del sistema y, por tanto, su eficiencia económica. Por este motivo se hace esencial diseñar líneas de montaje que permitan el ensamblado de dichos componentes con el objetivo de permitir un ajuste preciso para garantizar una curvatura de los espejos perfecta y asegurar el rendimiento óptico de los módulos de los colectores.

En los colectores cilindro-parabólicos actuales, la trayectoria media de la luz reflejada del espejo al tubo absorbedor es de unos 2,5 m. Un cambio en la geometría del objeto de sólo unos pocos milímetros (p. ej. 1-2 mm) generado por diversos factores como el peso propio, el viento o de un mal contrapesado del módulo, provocará que el rayo reflejado en el tubo de absorción se desplace de 10 a 15 mm. Esto es debido a que el diámetro del tubo absorbedor situado en la focal de los espejos es de tan sólo varios milímetros de diámetro (65 a 85 mm), las deformaciones mencionadas ya conducen a pérdidas ópticas significativas, ya que parte de la radiación reflejada ya no incide en el tubo de absorción.

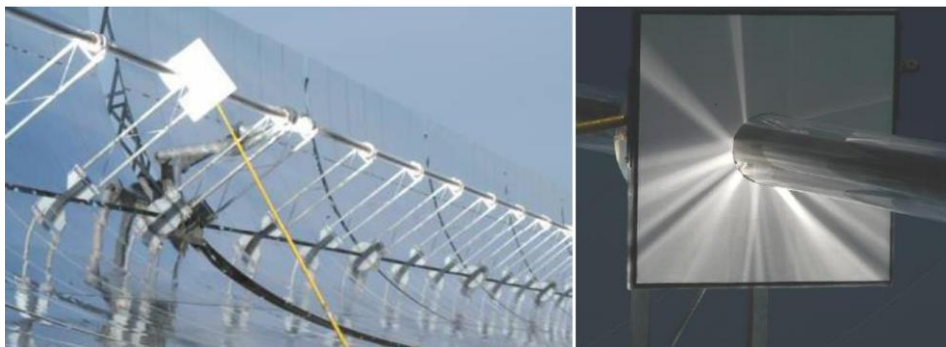


Ilustración 2 Placa de pizza

Para comprobar estas desviaciones de forma sencilla se suele utilizar el denominado método de "la placa de pizza" una placa de chapa ranurada que se inserta en el tubo absorbente de un colector cilindro-parabólico para hacer visibles los rayos, tal y como muestra la Ilustración 2 Placa de pizza.

Estos efectos se ven agravados especialmente en el caso de estructuras grandes. Los diseñadores de colectores solares están optando por estructuras de mayor tamaño por razones económicas. A mayor tamaño de estructura, se reduce el número de pilares en campo, controles, y otros elementos, provocando que el coste por metro cuadrado de espejo obtenga un mejor ratio económico. En este contexto, se hace esencial disponer de líneas de montaje con bastidores específicos que permitan alcanzar la precisión requerida, buscando soluciones innovadoras de desarrollo y fabricación como es el sistema de contrapesado diseñado en este proyecto.

1.1. Descripción General de un Colector Solar

En la actualidad existen diferentes modelos de colectores solares, que difieren en su longitud, peso y apertura de parábola. Esencialmente podemos distinguir dos tipos de módulos por el tipo de diseño de la estructura principal. Podemos disponer de colectores solares que consisten en una caja espacial de celosía o, por el contrario, otros diseñadores optan por sustituir esta caja espacial por un tubo helicoidal de acero. El resto de elementos que componen un colector solar son esencialmente los mismos, pero adaptando su geometría al tipo de estructura principal tal y como se ve en Ilustración 3 Tipos de viga de torsión. A la izquierda un colector con caja de torsión, y en la imagen de la derecha un colector con tubo de torsión.

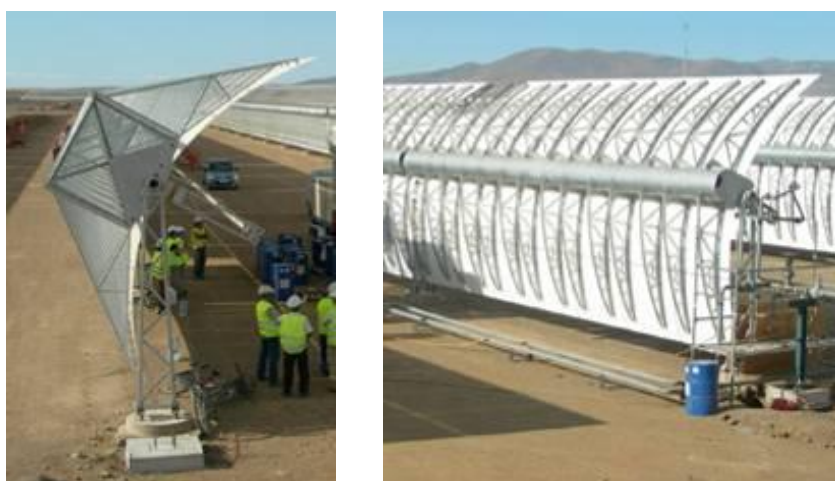


Ilustración 3 Tipos de viga de torsión

A principios de la comercialización de este tipo de tecnología el tamaño medio de un colector era de 12,0 m con una apertura de parábola de 5,7 m. Sin embargo, con el objetivo de minimizar

Volteador para contrapesados de SCE

costes, las nuevas estructuras diseñadas están alcanzando hasta 24,5 m de longitud, y 7,9 m de apertura de parábola. Por este motivo el sistema de volteo a diseñar debe ser flexible a cada uno de los modelos existentes en el mercado.

A continuación, con el fin de poder entender los elementos que se ensamblan en la línea de montaje, vamos a describir los elementos que componen un colector solar mediante una imagen de explosión. Los principales componentes del módulo son:

- **La caja de torsión:** es una caja espacial rectangular compuesta por 4 celosías y dos placas de cierre. La estructura se extiende a lo largo de la longitud del módulo y sobre ella se ensamblan el resto de elementos para poder ser transportados a campo desde la nave de montaje. Las placas finales, están preparadas para unir un módulo a otro y girar sobre los pilares situados en el campo. La caja de torsión puede ser sustituida por un tubo de torsión.
- **Brazos o Cantiliver:** son brazos en voladizo anclados a la caja de torsión que sirven de soporte para los paneles de los espejos, siendo colocados a cada lado de la caja de torsión. Se fijan perpendicularmente a la caja y dirigen las fuerzas del viento a la estructura principal.
- **Soportes HCE:** son soportes anclados a la caja de torsión y permiten la colocación del tubo caloportador en la focal de los espejos del elemento colector. Debido a las dilataciones del tubo caloportador provocadas por las diferentes temperaturas de trabajo, este soporte debe tener un grado de libertad que permita las dilataciones del tubo.
- **Espejos curvos parabólicos:** estos van fijados a la estructura de acero en 4 líneas, formando la superficie colectora parabólica. Su colocación debe ser milimétrica para garantizar el rendimiento óptico del módulo

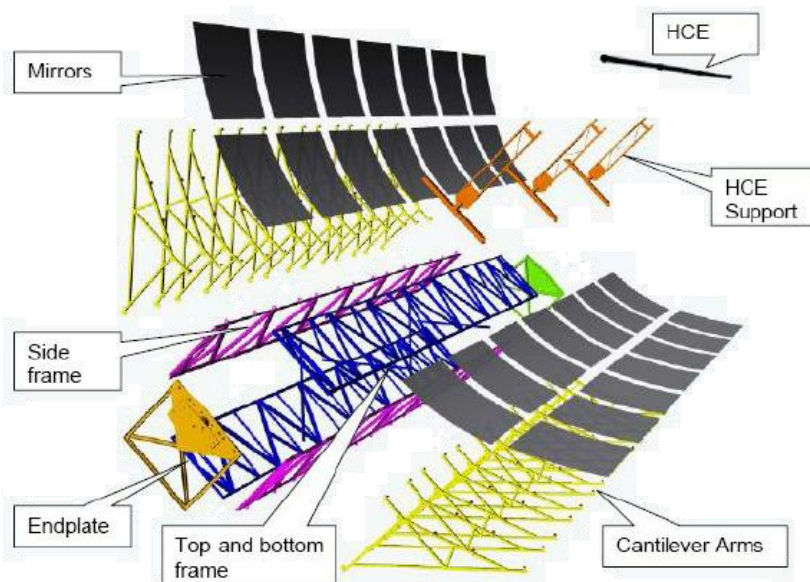


Ilustración 4 Partes de un colector

Cuando los módulos están ensamblados completamente son transportados al campo solar mediante una serie de remolques e izados por una grúa para unirlos al accionamiento principal de un lazo de colectores. Cada módulo de colector está soportado en su extremo por pilares. Los pilares están equipados con cojinetes lisos, lo que permite la rotación a lo largo del eje longitudinal del colector. El colector tiene un pilar central de accionamiento. En la actualidad un lazo de colectores suele estar compuesto por un total de 10 a 20 módulos de colector dependiendo del tamaño del módulo. Esto es debido a que la superficie de espejos debe ser equivalente para alcanzar las temperaturas de trabajo. Con los fluidos actuales de trabajo la

Volteador para contrapesados de SCE

superficie espejada suele ser de 1.800 m², por lo que esto determinará el número de módulos que se deben disponer por lazo.

Un conjunto típico de colectores solares (SCA) en la actualidad consta de 10 SCE's, 5 a cada lado del accionamiento y tiene una longitud total de aproximadamente 246,3 m.

Todos los elementos colectores de un lazo están conectados mediante unidades de transmisión de par para permitir el movimiento de la articulación. Para el seguimiento del sol, el pilar de accionamiento situado en el centro, está equipado con una unidad de accionamiento hidráulico y un encoder que permite conocer en todo momento la rotación del SCA. En la Ilustración 5 Modelo de un SCA podemos ver un semi-lazo acoplado a un accionamiento.

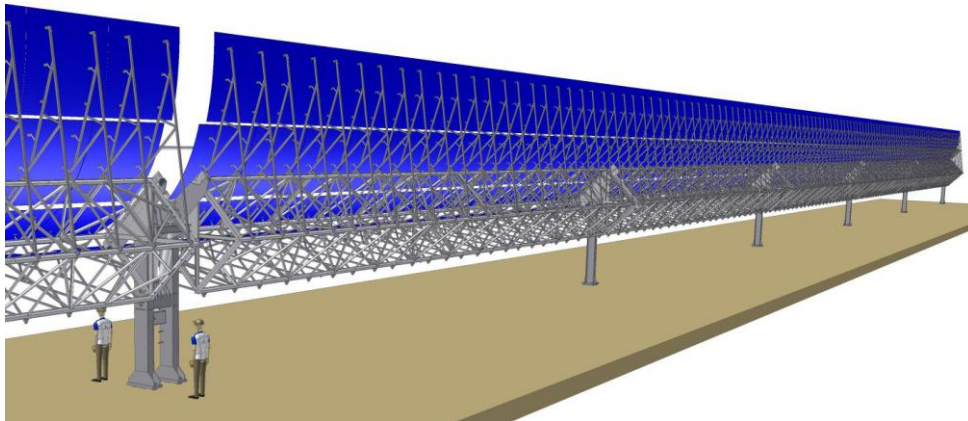


Ilustración 5 Modelo de un SCA

En caso de que alguno de los módulos colectores instalados en un lazo no esté debidamente contrapesado, su centro de gravedad no quedará situado en el eje de rotación y, por tanto, generará un esfuerzo torsional que deformará la estructura a lo largo de su eje. Debido a que el peso medio de un módulo de gran magnitud (24,5 m.) es de unas 9t. de peso, una desviación mínima de su centro de masas puede provocar que el eje directriz de las parábolas de espejos situadas en cada módulo colectores se desvíe de la consigna de apuntamiento establecida por el pilar motriz situado en el centro del lazo.

1.2. Descripción de una Línea de Ensamblado

Los módulos se producen en una línea de montaje "*in situ*" en una nave de ensamblaje y luego se transportan al campo. El ensamblaje de los módulos se basa en un concepto de plantilla o "*JIG*", de forma que con varias estaciones de ensamblado se consiga el montaje completo del módulo alcanzando las precisiones que garanticen el rendimiento óptico del conjunto. Para ello se dispone de dos plantillas iniciales donde se realiza el ensamblaje de las piezas de acero compuestas por la caja de torsión y los cantilever. La fijación final de los espejos se realiza en una tercera plantilla específica de alta precisión alineada con un *laser tracker* de alta definición (0,01 mm).

Los pasos consecutivos del montaje del módulo colector son los siguientes:

- a) Primero, la caja de torsión se monta en la plantilla de la caja. Mediante pequeñas grúas se montan las 6 caras que componen la caja de torsión. Gracias a la plantilla se asegura la correcta colocación de los elementos. Finalizado se comienza a unir las celosías mediante pernos de alta resistencia.
- b) A continuación, mediante un puente grúa se iza la caja de torsión finalizada y se posiciona en la plantilla de los brazos. Asegurada su posición se fijan a la caja de

Volteador para contrapesados de SCE

torsión los brazos que soportarán los espejos. De nuevo se hace con pernos de alta resistencia, que se pueden aplicar mucho más rápido que los pernos normales. Los trabajadores están constantemente colocando piezas en la plantilla o uniendo las piezas.

c) Posteriormente, se iza el conjunto de caja de torsión con los brazos para que los espejos se peguen a la estructura metálica en la plantilla de espejos. Previamente se deben disponer los espejos en la plantilla que ha sido alineada con un sistema de alta precisión, de este modo se garantiza que la parábola formada por espejos es perfecta. Utilizando una mezcla de pegamento y la unidad de dispensación, se pegan los brazos a los espejos. En esta plantilla también se colocan los soportes HCE que soportan el tubo caloportador. La razón de unirlos en esta plantilla es para asegurar una óptima alineación con la parábola del espejo con el tubo caloportador.

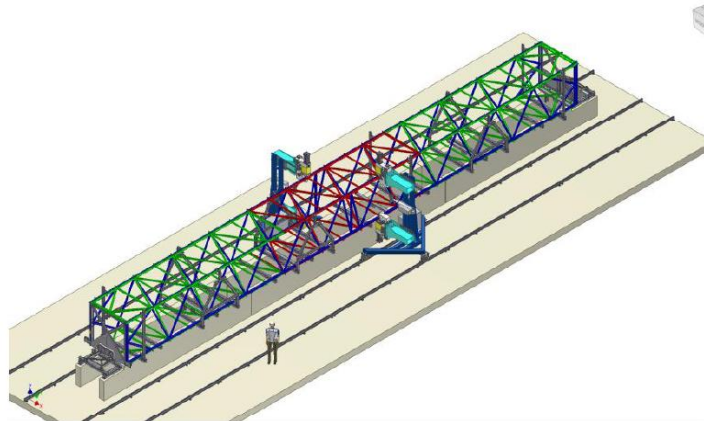
d) Finalmente, el módulo se equilibra en una estación de equilibrado montando los contrapesos necesarios en la caja de torsión, con el fin de garantizar que no existe ningún par que pueda provocar distorsiones en la estructura en el colector. Esto contribuye a la alta calidad óptica del colector.

A continuación se muestran unas imágenes de los bastidores estándar utilizados en diferentes proyectos termosolares:

(a)

Box Jig

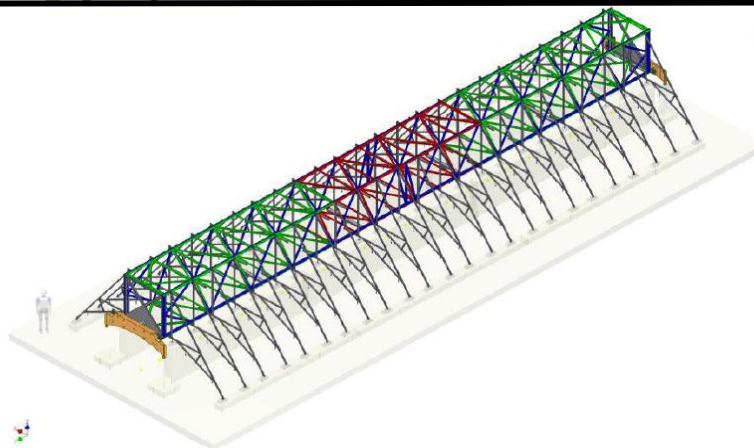
Se monta la caja de torsión mediante fijación con pernos.



(b)

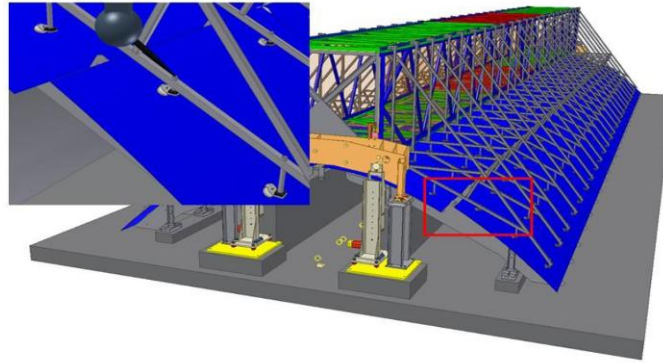
SCE Jig

El cantilever o brazos están unidos a la caja mediante fijación de pernos.

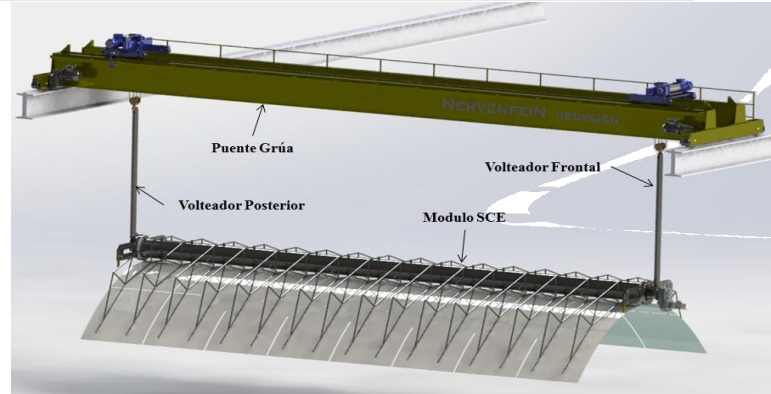


Volteador para contrapesados de SCE

(c)
Los espejos son pegados a los brazos para alcanzar un alto nivel de precisión y sin tensiones.



(d)
Volteador Jig
Se contrapesa el módulo para garantizar la eficiencia óptica.



Dependiendo del tamaño del parque solar, el montaje de los módulos colectores se realizará en una o más líneas de montaje ubicadas en una nave de montaje. Por tanto, el número de líneas de montaje paralelas depende del tamaño del proyecto y del calendario de ejecución del mismo.

Una disposición típica de la nave de montaje con una única línea de plantillas y utilizando el sistema de volteo diseñado en este proyecto se muestra en la Ilustración 6 Layout línea de ensamble. El tamaño de la parcela de la nave es de unos 80 m x 31,5 m. El espacio adicional en la periferia de la nave es necesario para el almacenamiento intermedio de las piezas que se entregan en la obra.

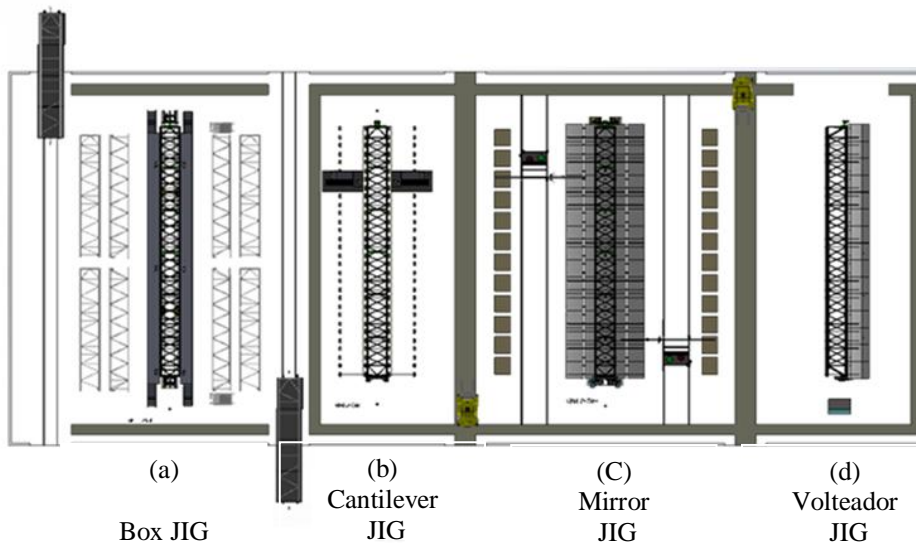


Ilustración 6 Layout línea de ensamble

La motivación de este proyecto, en colaboración con la empresa ImEnergy, es obtener un producto flexible que permita a cualquier montador de colector disponer de un producto versátil, que minimice la superficie de la nave y que, por tanto, permita unos costes contenidos en la ejecución del proyecto.

1.3. Estado de la Ciencia

Al tratarse el sector del termosolar de una tecnología relativamente nueva, en la que no existe una normativa que albergue la experiencia de años de desarrollo, provoca que este tipo de tecnología se encuentra en un estado de evolución permanente. En cada nuevo diseño de estructura y en la construcción de una nueva planta termosolar, se van detectando diferentes mejoras que incrementan el rendimiento óptico de la estructura y se van reduciendo los costes del proyecto por medio de nuevos sistemas innovadores que permitan alcanzar las exigentes tolerancias de montaje reduciendo los costes globales del proyecto.

Un claro ejemplo de esta constante mejora de la tecnología son los sistemas de volteado y contrapesado. En los primeros parques termosolares ejecutados, los desarrolladores de líneas obviaban la utilización de un sistema de contrapesado como el diseñado en este proyecto. Ciertamente es que los diseños de colectores, se diseñaban de forma que el centro de gravedad teórico de la estructura correspondiera con el eje de giro del lazo de colectores, pero no se tenían en cuenta las diferentes variaciones en peso de los elementos. Como bien es sabido los espesores de galvanizado, espesores de pieza, e incluso los espesores de los propios espejos pueden sufrir ligeras variaciones y por tanto modificar su masa afectando al centro de gravedad del conjunto.

Tras varios análisis del rendimiento óptico, se estableció que estas variaciones de masa provocan una torsión del colector a lo largo de su eje longitudinal, provocando importantes pérdidas en la eficiencia óptica del conjunto (hasta un 7%). A partir de ese momento, se comenzó a introducir una nueva estación en las líneas de ensamblado permitiendo calcular el centro de gravedad de forma individual en cada estructura del colector. Esto dio lugar a un incremento de las superficies de las naves para poder albergar esta nueva estación, con los correspondientes incrementos en el coste de instalación de los colectores.

Estas primeras estaciones de volteo se comenzaron a realizar de forma manual, tal vez por simplicidad. Tras realizar el ensamblado de los espejos en la plantilla correspondiente se encontraba una nueva estación de volteo. En esta nueva estación se ubicaban dos pilares en el interior de la nave que permitieran rotar de forma manual el colector mediante grandes palancas que facilitaba a los operadores no realizar un gran esfuerzo. Una vez situado en posición de medición, el colector, se fijaba la rotación mediante una viga de fijación (una simple barra). Mediante unas básculas situadas en el suelo se realizaba la medición de par del conjunto, para posteriormente calcular, mediante una hoja de cálculo, los contrapesos necesarios para centrar su centro de masas en el eje de giro. En la Ilustración 7 Volteador manual podemos ver cómo era este sistema:

Volteador para contrapesados de SCE

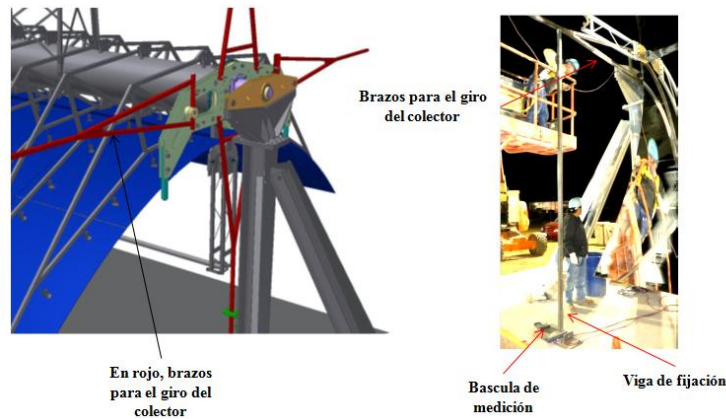


Ilustración 7 Volteador manual

Este tipo de sistemas de volteador manual rápidamente quedó obsoleto para los diseñadores de líneas. La baja precisión al colocar la barra de fijación que bloqueaba el giro del colector, provocaba una gran incertidumbre en la medición del par para obtener un buen contrapesado. Otro de los motivos para no utilizar este sistema, es su baja seguridad. Las inercias de una masa mal equilibrada ponían en riesgo la integridad de los trabajadores, por lo que en muchos casos el propio técnico de seguridad de la obra desautorizaba su utilización. De este modo este tipo de volteador quedó en desuso.

La evolución lógica del primer sistema desarrollado fue la instalación en el interior de la nave de un pilar de accionamiento y un pilar de giro de la propia estructura del colector que se instalan en el campo solar. Este sistema se adaptaba fácilmente al tipo de colector ensamblado, pues ambos elementos se habían diseñado en conjunto, pero no a otros colectores de diferente tamaño. El pilar de accionamiento realiza el giro de la estructura mediante dos cilindros hidráulicos y, bajo un complejo sistema de cálculo, se puede obtener el par de giro necesario a través de las presiones de trabajo del sistema motriz. Este sistema puede verse en la imagen inferior:



Ilustración 8 Volteador hidráulico

Este tipo de sistemas mejora la seguridad de los trabajadores, garantizando que durante el proceso de volteo y contrapesado ningún operario se encuentra en las inmediaciones del puesto de volteo. Sin embargo, este tipo de volteador seguía sin tener la precisión requerida para el

cálculo del contrapesado de las estructuras. Debido a que el rendimiento del sistema motriz es muy complejo de predecir, los cálculos arrojados por la hoja de cálculo no eran certeros. Los apoyos sobre los que el colector gira son cojinetes y no rodamientos, lo que establece una gran incertidumbre al sistema, falseando la medición de los datos. Pero sin duda, el mayor problema de este tipo de volteador es el incremento de tiempo ciclo. Tal y como se describe en el apartado anterior, el colector se mueve de una plantilla a otra mediante un puente grúa. Para poder introducir con seguridad el colector en el volteador es necesario retirar los espejos colindantes a los pilares, para garantizar que no se producen roturas y después fijarlo al pilar motriz que permita su volteo. Todo ese proceso hace que este tipo de volteador sea un cuello de botella de la línea de ensamblaje, encareciendo nuevamente el coste de instalación del parque solar. Otro punto en contra de este diseño, es que se realizan trabajos en altura, lo que, de nuevo, incrementa los riesgos de accidente.

Ante esta situación, **ImEnergy** como empresa especializada en el diseño de líneas de ensamblaje de colectores observa que existe una necesidad de disponer de un producto que pueda satisfacer las necesidades reales existentes en el mercado. Para ello opta por diseñar un producto que permita tener la flexibilidad de ser utilizado con cualquier tipo de colector existente en el mercado, que no aumente los tiempo ciclo, y que tenga la precisión requerida por el sector, sin dejar de lado los condicionantes de seguridad. Por esta motivación nace el desarrollo de este proyecto de mecatrónica. Disponer de un producto semiautónomo, que esté controlado por una sencilla aplicación y pueda ser utilizado en diversos proyectos para poder amortizar la inversión de su fabricación.

Así pues, el diseño del volteador debe mejorar las características de los volteadores utilizados hasta el momento, tal y como se indica en la siguiente tabla:

Tipo de volteador	Seguridad	Flexibilidad	Optimización tiempo ciclo	Fiabilidad
Manual	Baja	Media	Media	Media
Hidráulico	Media	Media	Baja	Media
Electromecánico	Alta	Alta	Alta	Alta

Con estos condicionantes de diseño, se trabaja en el desarrollo de un volteador para obtener un producto final que se pueda comercializar.

1.4. Contrapesado del Colector

Para poder equilibrar una estructura de colector es necesario disponer de una serie de contrapesos que permitan modificar el centro de masas de la estructura y desplazarlo al centro de giro de la estructura. La manera más barata y fácil de desplazar el centro de masas de un elemento es mediante la colocación de una serie de contrapesos en diferentes ubicaciones.

En el mercado termosolar existen diversos modelos de estructura de colector. En función del tipo de la estructura principal que se tenga se utilizará un procedimiento u otro para realizar el contrapesado. Así pues, podemos distinguir dos métodos de contrapesado para equilibrar el conjunto completo del colector:

Perfil U fijado a estructura:

Un primer sistema, y el más extendido hasta la actualidad, consiste en fijar a la estructura una serie de pesos en una ubicación tal que permita desplazar el centro de gravedad. Estos contrapesos son fijados en la estructura en la ubicación determinada por el programa de cálculo.

Volteador para contrapesados de SCE

Estos contrapesos suelen diseñarse de un perfil U de la longitud necesaria para poder ser remachados entre dos cantilver de la estructura o a la caja de torsión. Al ser un perfil estándar, y una longitud determinada se conoce el peso y por tanto puede obtenerse la ubicación exacta de su colocación. En función de dónde deba desplazarse el centro de gravedad el programa indicará si estos contrapesos deben ubicarse por encima o por debajo del eje de giro y por tanto el operador puede fijarlos a la estructura tal y como se indica en la siguiente figura:

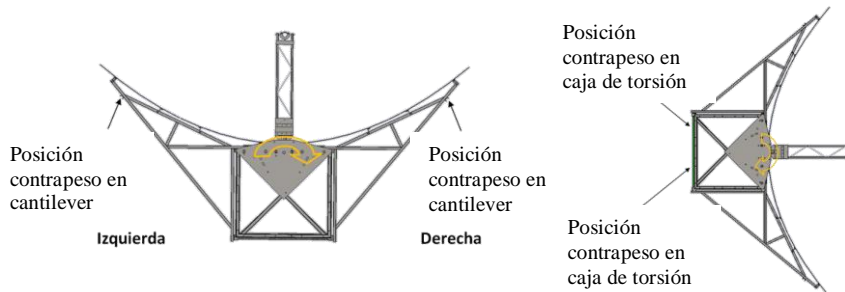


Ilustración 9 Contrapesos en caja de torsión

Contrapeso en la estructura:

Un segundo sistema, y dependiente del diseño del colector, consiste en la ubicación de unos contrapesos de hormigón que desplacen el centro de gravedad. Este método proviene de una nueva filosofía de diseño que abarata la estructura del colector debido a que hace mucho más sencilla su fabricación. Tal y como se muestra en la figura inferior, la estructura del colector tiene su eje de giro en el eje del tubo de torsión, por lo que para compensar toda la masa de los espejos situada por encima del eje de giro, se opta por introducir dos grandes bloques de hormigón en la parte inferior del eje de giro, que permita regular su centro de masas de forma más sencilla que en el caso anterior:



Ilustración 10 Contrapesos en tubo de torsión

Al igual que en el caso anterior, el volteador analizará mediante la rotación del módulo dónde se ubican los contrapesos de hormigón analizando el centro de masas de la estructura, y los operadores ubicarán en la posición correcta los contrapesos mediante una maquina telescópica, tal y como se muestra en la imagen superior

Que existan diferentes diseños de colector y formas de contrapesado hace que los algoritmos de cálculo sean únicos para cada diseño de colector. Por tanto, la aplicación diseñada para cada proyecto debe ser adaptada a los requisitos de diseño de las estructuras.

1.5. Utilización de elementos estándar en las líneas de ensamblado

Las líneas de ensamblado de colectores solares de espejos se pueden definir como un tipo de líneas modulares. El diseño de líneas modulares está basado en la optimización de los espacios de trabajo, permitiendo minimizar el tiempo de construcción y solapar procesos de ensamblado,

reduciendo así los tiempo ciclo para el producto finalizado. Así pues, una línea de ensamblado modular se puede caracterizar por lo siguiente:

- Partición en plantillas escalables los diferentes procesos de ensamblado de un producto final.
- Uso de elementos intermedios que garanticen la orientación de los objetos orientados a la disposición de las plantillas.
- Facilidad de cambio y, en la medida de lo posible, utilización de estándares industriales para interfaces clave.

El concepto de diseñar líneas modulares en el sector termosolar, es un intento de combinar las ventajas de la estandarización debido al alto volumen de módulos iguales que se instalan en un parque solar (más de 10.000 unid.) con los conceptos de diseño bajo la personalización, para reutilizar las líneas en diversos parques, y por tanto, diferente diseño de colector.

De este concepto de líneas modulares nace la utilización de un elemento que garantice que los módulos SCE que se trasportan a lo largo de las líneas de ensamblado siempre estén orientados y posicionados de igual modo en cada plantilla de ensamblado. Y que, de igual modo, esta pieza pueda ser utilizada en diferentes parques solares (diferentes modelos de colector), pudiendo así reutilizar los diseños de plantillas. De esta filosofía nace el diseño del "*Universal Traverse*". Un diseño que se adapta a cualquier tipo de colector y garantiza el posicionado de los módulos en los Jig's de ensamblado.

1.5.1. UNIVERSAL TRAVERSE

El concepto básico del "*Universal Traverse*" es una pieza que se fija a las placas externas del colector solar al inicio de la línea de montaje. Este es fijado, una vez que la estructura principal se ensambla en las cabezas de la estructura:

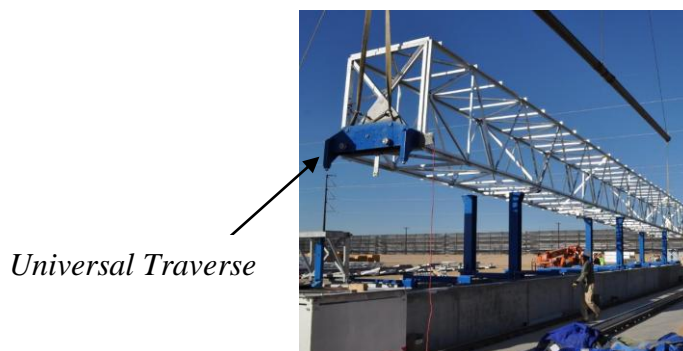


Ilustración 11 Plantilla ensamblado cajas de torsión

Mediante el puente grúa se desplaza al segundo puesto de la línea de ensamblado. Para garantizar el posicionado de la estructura en la siguiente plantilla se dispone de dos columnas situadas en las cabezas de la plantilla. Sobre estas cabezas se disponen dos placas que limitan los grados de libertad, y garantizan el posicionado de la estructura.

Volteador para contrapesados de SCE

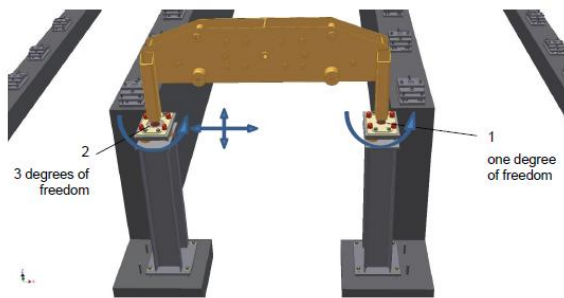


Ilustración 12 Columnas de referencia

El primer soporte monta una placa que tan solo dispone de un grado de libertad (giro sobre el plano horizontal), el otro soporte (2) ofrece 3 grados de libertad (desplazamiento en dos direcciones y giro sobre el plano horizontal).

De este modo la estructura principal con el "*Universal Traverse*" fijado a ella tiene que ser bajado primero al soporte frontal con un grado de libertad, y después al segundo soporte delantero con tres grados de libertad. De este modo, se garantiza la correcta posición de la estructura en las diferentes plantillas de montaje.

El diseño del "*Universal Traverse*" se hace esencial para la reutilización de las plantillas de ensamblaje para los diferentes diseños de colector. Del mismo modo, se hace fundamental para la reutilización del volteador diseñado en el presente proyecto.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VOLTEO

La unidad de giro o volteador se utiliza para la producción de elementos de colectores solares (SCE) y esta específicamente diseñada para girar las unidades de los SCE en las líneas de ensamblaje y medir el equilibrado de los módulos parabólicos previamente a llevarlos al campo solar.

La unidad de giro está diseñada para ser utilizada mediante cualquier puente grúa instalado en las naves de ensamblaje de los módulos SCE. Por tanto, el volteador estará suspendido de una grúa.

La unidad de giro está compuesta por dos equipos, casi idénticos, que conectan el módulo SCE mediante una serie de pernos y permite el desplazamiento y giro de los módulos SCE.

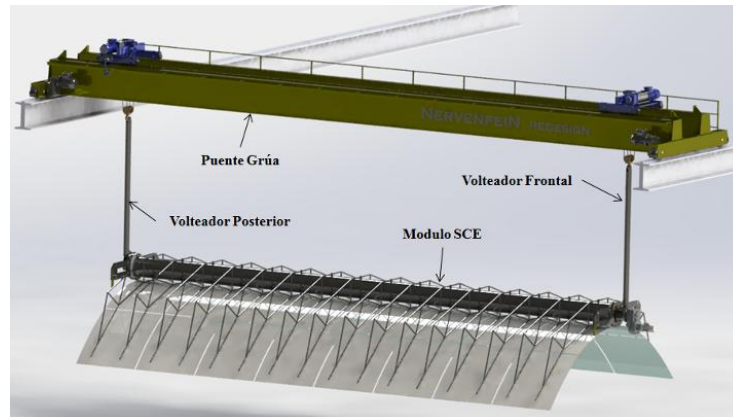


Ilustración 13 Volteador para módulos SCE

La unidad de giro está conectada a los módulos mediante la pieza intermedia "*Universal Traverse*" (descrita en el apartado anterior) y esta, a su vez, al módulo SCE. La unidad de volteador frontal se une mediante 4 tornillos a la parte frontal del módulo SCE y del mismo modo en la brida posterior del módulo SCE se atornilla el volteador posterior.

El volteador está diseñado para realizar un giro mediante un motorreductor eléctrico acoplado al volteador frontal con la capacidad de girar cualquier módulo SCE existente en el mercado. El control de la unidad de giro se realizará mediante un PLC o similar situado en un cuadro de mandos ubicado en el puesto de giro de los módulos. Este PLC gestiona el giro de los módulos SCE, así como los sensores de giro y fuerza integrados en el sistema de volteo. Como requisito del proyecto se diseñará una interface para que todo el proceso se monitorice y sea fácil por parte del operador realizar la adquisición de los datos para realizar el contrapesado de los módulos SCE.

2.1. Descripción General del Volteador

Con el propósito de hacer un volteador que mejore las soluciones existentes en el mercado, se realiza un nuevo diseño completo e innovador. El producto final se ha diseñado con el objetivo de reducir el tiempo ciclo y minimizar la superficie de las naves de ensamblaje. Para ello se ha conseguido diseñar un producto flexible que pueda ser utilizado con el propio puente grúa de la nave sin la necesidad de disponer una estación extra en las líneas de ensamblado.

Por tanto, el dispositivo de contrapesado de los módulos SCE se compone de dos dispositivos de giro. Uno para la parte delantera de la SCE, con motor y sensor de fuerza, y otro similar para la parte trasera de los módulos SCE, sin motor ni sensor de fuerza.

Los dispositivos de giro constan de las siguientes partes principales:

Volteador para contrapesados de SCE

- Viga maestra con punto de fijación de la grúa
- Brazo de medición de fuerza con sensor de fuerza
- Dispositivo de giro con motorreductor (sólo en la parte delantera)

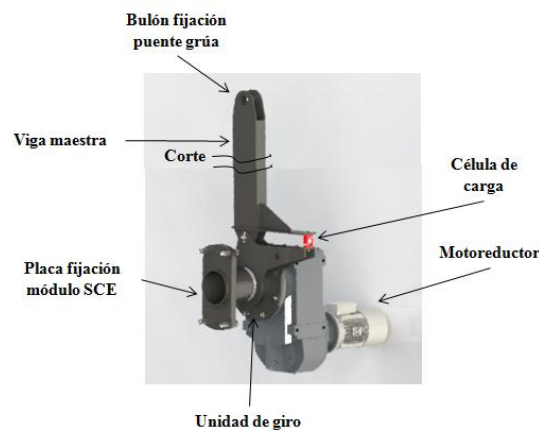


Ilustración 14 Detalle del volteador

Los requisitos de diseño necesarios para el diseño del volteador vienen definidos por las características del módulo más restrictivo existente en el mercado. En la actualidad el módulo SCE más grande diseñado es de un tamaño de 24,5 m. y 9 t. de peso. Podría pensarse que el tamaño de los módulos SCE podría seguir creciendo, pero el mercado muestra que el tamaño óptimo estimado por los diseñadores de los campos solares es de 20 m. y 7 t. de peso. Por ese motivo se toman los valores característicos del módulo de mayor tamaño fabricado hasta la fecha para diseñar el volteador. Así pues, mostramos los datos técnicos finales del volteador diseñado:

DESCRIPCIÓN	VALOR
Velocidad variable	Mín. 0°/s a máx. 0,6°/s
Relación motorreductor	1:4460
Potencia del motor	3,7 kW
Velocidad del motor	1770 RPM
Factor de servicio	1,06
Precisión de giro	0,5 °
Mín. rango de giro	200 °
Máx. Carga de giro total	9000 kg
Máx. Carga un dispositivo de giro	4500 kg
Máx. excentricidad del eje de giro	42 mm
Máx. par de desequilibrio	19000 N·m

En cuanto al tamaño del volteador, no es un condicionante. Los puentes grúas instalados habitualmente en las líneas de ensamblado termosolar suelen estar en rangos superiores a las 12 t. de carga, dejando más de 3 t. de peso para el diseño del volteador. El volumen, tampoco es condicionante de diseño, aunque bien es sabido que a un mayor tamaño del volteador, más material tendrá y por tanto un coste más elevado. Con estos parámetros se muestran las dimensiones finales del volteador:

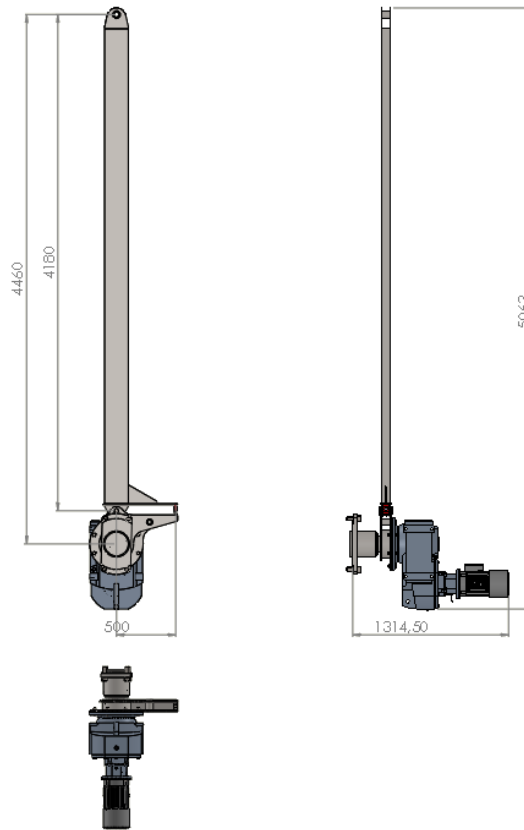


Ilustración 15 Dimensiones generales del volteador

2.2. Procedimiento de Equilibrio en Línea

Para que el seguimiento y el movimiento del lazo de colectores en el campo solar sean fluidos, todos los módulos SCE deben ser equilibrados con la ayuda del sensor de fuerza que está integrado en el interior de la unidad de volteo. Para no incrementar el tiempo ciclo, y debido al alto número de módulos que deben contrapesarse, el procedimiento de equilibrado en línea debe resultar sencillo de ejecutar por los trabajadores, sin posibilidad de error, y que no incremente los tiempo ciclo establecidos de origen.

Vamos a describir brevemente qué pasos deben seguirse para realizar la correcta fijación de la unidad de volteo:

1. Para garantizar que el volteador está correctamente centrado con el eje de giro del módulo SCE, el operador debe insertar un pasador central que posicione el volteador en la parte delantera con el "*Universal traverse*".
2. Una vez posicionado, se fija el volteador mediante cuatro tornillos M24 al "*Universal traverse*" y deben de ser apretados manualmente hasta el máximo.
3. Con todos los elementos fijos, el operador coloca el cable o gancho de la grúa alrededor del punto de fijación del volteador.
4. El módulo SCE está fijado al volteador y puede ser desplazado a la zona de volteo o zona de carga para ser contrapesado.

Estos pasos descritos se aplican en ambos volteadores para la parte frontal y trasera.

Volteador para contrapesados de SCE

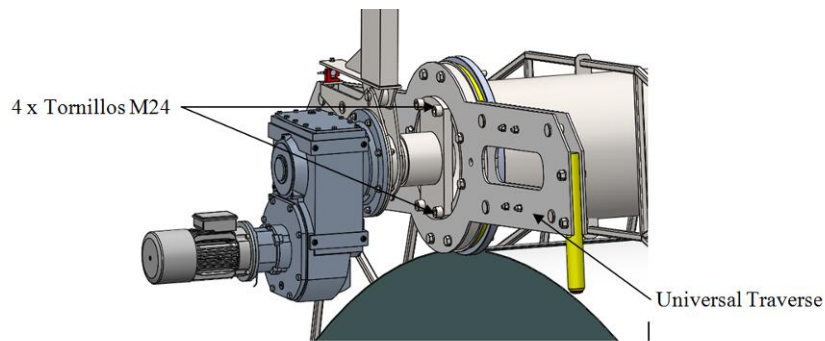


Ilustración 16 Fijación volteador-Universal traverse

Para poder entender el 100% de la operativa de volteo, es necesario entender que en las líneas de ensamblado de los colectores, y más concretamente en la plantilla de espejos, es habitual disponer de unos dispositivos de elevación, que permiten bajar o subir el módulo SCE de la plantilla, elevando unos centímetros sobre el bastidor para facilitar la maniobra al operador de grúa, ya que cualquier balanceo que pueda tener el módulo SCE puede romper los vidrios ya ensamblados en el módulo.

Así pues, después de levantar el SCE con el dispositivo de elevación a su posición máxima, el SCE se levanta de la plantilla de espejos con la grúa y con el uso de la unidad de giro previamente ensamblada el módulo SCE es transportado a la zona de giro, donde el balanceo y el proceso de volteo se completará.

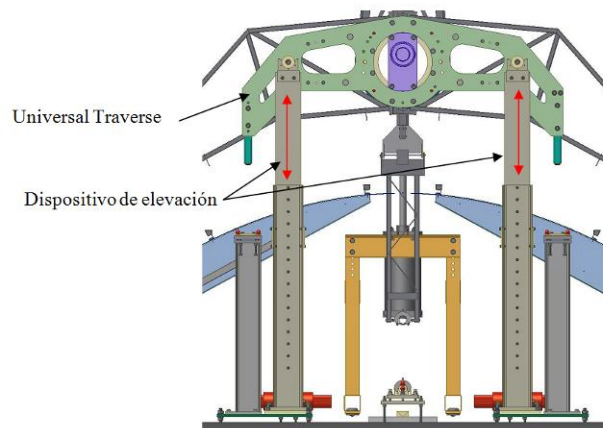


Ilustración 17 Dispositivo de elevación

Después de completar todos los pasos de montaje en la estación de espejos, el SCE está listo para el equilibrado. Luego el proceso de equilibrado se llevará a cabo con los siguientes pasos:

1. El operador de grúa mueve el módulo SCE a la estación de equilibrado.
2. Después de que el movimiento de grúa se haya detenido, el operador del volteador debe girar el módulo SCE a la posición de 270° (todos los espejos se ven a tierra). En este momento, y tras la estabilización de la medida, el software tomará la medida del sensor indicando que se puede proceder a la siguiente medición.
3. El operador debe girar la unidad 90° de modo que el módulo SCE queda con todos los espejos mirando hacia un lado de la nave. Nuevamente, el software tomará la medida del sensor en esta nueva posición.
4. Finalizado el proceso, el software instalado en la CPU del puesto procede a realizar el cálculo de equilibrado. El resultado de la herramienta es el peso y posición recomendados del contrapeso para la unidad de espejos analizada.
5. Cuando se necesiten contrapesos, se deberán fijar en las posiciones mostradas en el manual de instalación del módulo SCE.

- Después de fijar los contrapesos, se debe controlar el equilibrado realizando un nuevo ajuste de proceso de equilibrado siguiendo los pasos 2 a 5.
- Si el equilibrado no indica ningún peso adicional, la SCE está finalmente bien equilibrada.

Tras realizar los pasos descritos en los puntos 1 a 7 el proceso de equilibrado del módulo SCE está terminado y el módulo puede ser transportado al campo solar.

2.3. Sistemas de Control

El sistema de control se compone de dos armarios. Un primer armario de operación, que se utilizará como interface humano para operar el volteador ubicado en la zona de volteo de la nave de ensamblaje. Y un segundo armario de control, que se ubicará en el sistema de volteado, donde se encuentra el PLC junto todo el cableado de tensión necesario para alimentar el proceso.

A continuación, vamos a describir los elementos internos que componen dichos armarios:

2.3.1. ARMARIO DE CONTROL

En el armario de control del producto final se dispondrán todos los elementos necesarios para poder ejecutar la aplicación de contrapesado y permitir la alimentación de todos los sistemas periféricos necesarios para un correcto funcionamiento del sistema de volteo.

Debido a que el producto final está en un entorno industrial, y por tanto con tensiones de 400V, el primer elemento necesario que debe incluir el armario de control es un transformador de 400V a 230V que alimenta a un segundo transformador que convierte la tensión a 24V para alimentar el PLC. Como el sistema de volteo debe permitir el giro en ambas direcciones es necesario que se instale un variador que permita la inversión de los polos del motor DC instalado en motor-reductor. Para poder gestionar tanto las entradas digitales, como las entradas analógicas, se opta por la utilización de PLC con comunicación por puerto serie con el objetivo de enviar los valores de los sensores al PC instalado en el cuadro de operaciones. Así pues, el esquema final del cuadro es similar al mostrado en la Ilustración 18 Diagrama armario de control.

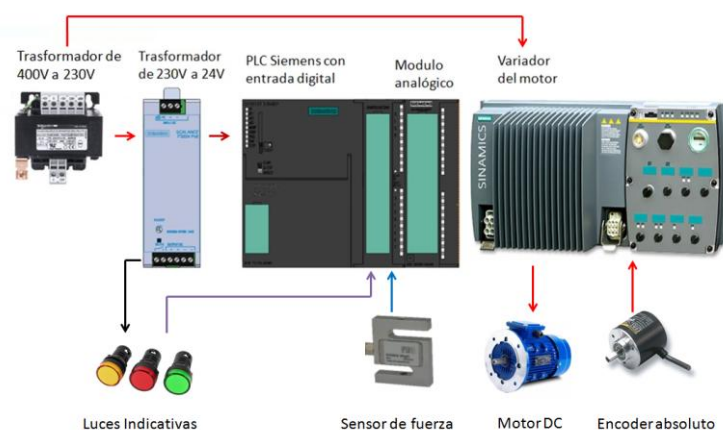


Ilustración 18 Diagrama armario de control

El tipo de hardware que se necesita para realizar el volteo de los módulos SCE, es un hardware muy estandarizado en el sector industrial. Por este motivo existen productos cerrados que permiten ser adaptados a los procesos individuales de cada sector. Existen diversas marcas que pueden dar solución al problema de gestionar la velocidad, posición, y sentido de giro de un motor DC. Sin embargo, y como más adelante justificaremos, hemos optado por un producto

Volteador para contrapesados de SCE

cerrado de moto-reductor con PLC y variador de Siemens, al satisfacer este todas las necesidades.

Concretamente el cuadro de control adosado al volteador se compone del motorreductor SIMOGEAR. Este forma parte del sistema de accionamiento integrado (IDS Integrated Drive System) de Siemens. El enfoque seguido para el diseño de este tipo de trenes de transmisión "completo" se caracteriza particularmente por el concepto de integración. Este tipo de diseños conllevan una mayor, productividad y eficiencia pudiendo ser integrados directamente en los procesos individuales diseñados por cada empresa, tal y como es el volteador.

Es por ello que según ellos mismos indican, *el sistema integrado de trenes IDS es sinónimo de estandarización, para componentes y sistemas adaptados a las necesidades de los clientes. Esto permite un tiempo notablemente más corto para comercializar y un tiempo más corto para obtener ganancias.*

Otra de las ventajas de la utilización de un control IDS, es la facilidad de añadir cualquier elemento periférico y poder ser tratado por el PLC SIMATIC S7. En nuestro caso el único elemento que debe ser programado bajo el lenguaje LOGO es el envío de los valores del sensor de fuerza instalado en el volteador.

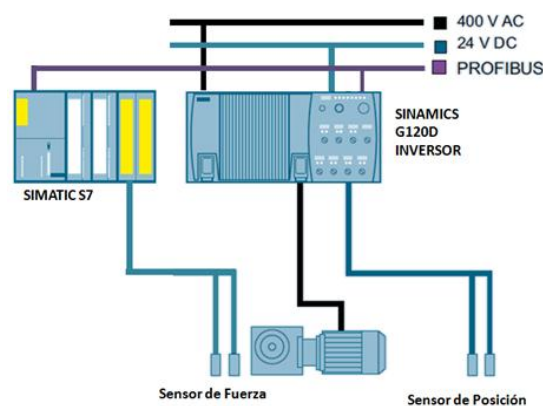


Ilustración 19 Diagrama control IDS

2.3.2. ARMARIO DE OPERACIÓN

El armario de operación deberá instalarse en un cuadro en el que se tenga acceso por parte del operador en la operación de contrapesado. El sistema de control implementado en el producto final para la aplicación de volteador de los módulos SCE será capaz de controlar la velocidad del motor y la posición de giro mediante la aplicación de control.

En el diseño del volteador se utiliza un sensor angular o encoder absoluto para conocer la posición del módulo SCE. Para obtener el par de giro del motor se utiliza un sensor de fuerza que permita la lectura de tracción y comprensión de las reacciones obtenidas en el sistema de giro. Ambos datos deben ser tratados por la aplicación arrojando al usuario un valor de contrapesado que pueda ser fácilmente interpretado por el usuario final de la aplicación. Es por ello que, entre el armario de control y el armario de operaciones, debe existir una comunicación. En nuestro caso esta comunicación se realiza mediante un puerto serie o sistemas profibus de comunicación. Para la lectura de los datos, y siempre dependiendo de las condiciones finales del cliente, el armario de operación dispone de una pantalla de tipo industrial táctil, donde el operador podrá disponer de toda la información útil para el uso del volteador. Adicionalmente el armario de operación dispondrá de una parada de emergencia, así como el interruptor principal de encendido.

Volteador para contrapesados de SCE

Los elementos del armario de control deberán disponer de los siguientes elementos:

ELEMENTO	TIPO	DESCRIPCIÓN
Parada de emergencia	Botón	Después de pulsar el interruptor de emergencia, la unidad de giro se detendrá inmediatamente.
Interruptor principal	Switch	Interruptor de encendido
Interface	Pantalla	Pantalla táctil para el manejo de la aplicación con PC.
Verde	Indicación luminosa	Sistema encendido sin errores
Rojo	Indicación luminosa	Error en el sistema
Amarillo	Indicación luminosa	Alarma en el sistema



Ilustración 20 Armario de operación

Dependiendo del tipo de obra y de las necesidades del usuario final, el armario de operación puede ser sustituido por una pantalla portátil, que reciba los datos enviados por el PLC mediante una conexión WiFi o Bluetooth. Aunque esto no es aconsejable debido a que en los montajes termosolares el tipo de operario que utiliza las diferentes herramientas no suele ser excesivamente cuidadoso, pudiendo perder la pantalla, dañarla e incluso inutilizar el sistema. Es por este motivo que se aconseja un armario para la integración de la pantalla y poder así visualizar la aplicación.

3. MATEMÁTICAS DEL EQUILIBRADO

Este capítulo define las ecuaciones para calcular el momento de desequilibrio y el cálculo preciso para definir la posición de los contrapesos necesarios para los módulos SCE. Este cálculo está integrado en el software de la aplicación descrita en el siguiente capítulo.

Con el objetivo de eliminar las fuerzas generadas por los momentos de inercia provocadas por las cargas excéntricas durante el giro de los colectores, se hace necesario realizar un contrapesado del módulo de espejos SCE logrando un equilibrio óptimo del sistema. Tras la experiencia recogida en diversos parques solares, se ha comprobado que estas masas excéntricas generan una torsión al módulo de espejos que provoca una deformación a lo largo del módulo de espejos, provocando una caída del rendimiento solar del colector.

Esta caída de rendimiento es motivada por la deformación torsional generada a lo largo del eje del colector solar. Para poder entender este fenómeno vamos a intentar explicar de forma sencilla en qué consiste el "*slope error*" de un colector y qué parámetros nos influyen en el equilibrio del colector parabólico.

Como bien se indica en su nombre, un colector solar parabólico consiste en una parábola que concentra la energía solar en un tubo por el que circula un fluido caloportador. Este tubo caloportador debe ubicarse en el foco de la parábola, de esta forma se garantiza de forma geométrica que cualquier rayo que capture la apertura de la parábola y sea paralelo al eje directriz de la misma termine incidiendo en el foco de la parábola y, por tanto, en el tubo caloportador, absorbiendo la energía solar tal y como se muestra en la figura inferior.

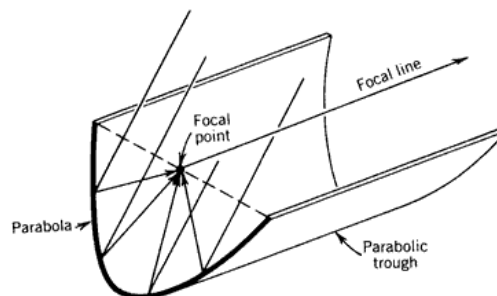


Ilustración 21 Factor de interceptación CCP

Si bien es cierto que son muchos los factores que pueden provocar esta desviación del haz de luz creando pérdidas de rendimiento. En el caso que nos ocupa sólo vamos a analizar el mal equilibrado del colector.

Debido a un mal equilibrado del módulo SCE se generan fuerzas de torsión a lo largo de su eje. Esto provoca un par de vuelco que torsiona la estructura a lo largo de su eje longitudinal. Si analizamos por secciones la deformación que sufre la parábola a lo largo del eje longitudinal nos encontraremos con el fenómeno que pasa a describirse.

La sección más próxima al accionamiento no sufrirá deformación y por tanto se encontrará totalmente enfocada, es decir el eje de la parábola es paralelo al haz del sol y no se tendrá "*slope error*" (Ilustración 22.a). Sin embargo, si analizamos más secciones de la parábola y nos vamos alejando del accionamiento, podremos ver un efecto de torsión a lo largo del eje longitudinal de la estructura, provocando una desviación respecto al enfoque óptimo y, por tanto, una desviación del haz de luz reflejado en el espejo (Ilustración 22.b). Esta desviación provoca que el rayo de luz no incida en el tubo caloportador situado en la focal de la parábola, agravando así el "*slope error*".

Volteador para contrapesados de SCE

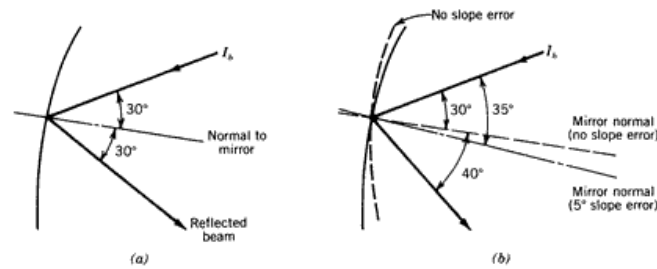


Ilustración 22 Slope Error

Nótese que el "slope error" se multiplica por 2 como resultado de la ley de Snell. En la Ilustración 22.b, hay un error de paralelismo de 5 grados entre el eje de la parábola y el haz de luz. Esto provoca que el haz reflejado se dirija erróneamente hacia la focal de la parábola con una desviación de 10 grados desde la trayectoria reflejada original.

Otro factor a tener en cuenta para entender la importancia del equilibrado es la longitud completa de un colector solar. En la actualidad hay colectores controlados con un único accionamiento de más de 200 metros de longitud. Esto agrava aún más el fenómeno de torsión por un mal equilibrado, ya que la deformación de torsión es proporcional a la longitud que se tenga de colector.

Estudiada la importancia del equilibrado para no aumentar las pérdidas solares de un colector vamos a estudiar cómo se debe equilibrar un módulo SCE.

Podemos asimilar la estructura SCE a un simple eje en rotación. Como se ha descrito en el primer capítulo, el módulo SCE es una estructura que gira en torno a un eje longitudinal permitiendo realizar un seguimiento de los rayos del sol a lo largo de un día. Así pues, el cálculo que debemos efectuar para un correcto equilibrado del módulo SCE debe ser idéntico al realizado para el equilibrado de ejes en la industria. De este modo trataremos de explicar cómo se determina y se diseña el equilibrio estático en los elementos que van a rotar.

El equilibrado tiene la misión de corregir o eliminar fuerzas o momentos de inercia indeseables en el funcionamiento de los ejes. Además, estas fuerzas aumentan los esfuerzos en los componentes y someten a fuerzas variables a los accionamientos de movimiento de los colectores aumentando su consumo y por tanto reduciendo su eficiencia. Aunque para garantizar un buen equilibrado se podrían aumentar los controles de calidad y producir piezas con tolerancias muy ajustadas, generalmente resulta más económico realizar piezas menos precisas y realizarles posteriormente un proceso de equilibrado, siendo esta la principal justificación de esta máquina.

Para garantizar el equilibrado del colector debe realizarse un equilibrado en dos ejes, garantizando que el módulo completo de SCE está totalmente equilibrado y por tanto no se encontrarán deformaciones por torsión una vez que esté en operación en el campo solar. Tal y como explicamos en capítulos anteriores, la aplicación de volteo se realiza con un total de dos paradas donde se adquieren los datos del sensor de fuerza. Estos dos valores de fuerza observados (en posición de 270° y en posición de 180°) se utilizarán para calcular el momento de giro del módulo SCE en ambas posiciones. Este valor de momento fuerza obtenido se utiliza de forma individual para calcular, mediante una serie de ecuaciones, el centro de gravedad para cada módulo SCE desequilibrado.

Gracias a este cálculo podremos conocer con total exactitud el centro de gravedad, y por tanto se puede obtener de forma sencilla la ubicación exacta de los contrapesos necesarios para obtener un valor de equilibrado de ambos ejes. Como bien se ha descrito, el objetivo de este proceso es

Volteador para contrapesados de SCE

mover el centro de gravedad al centro del eje de rotación minimizando las fuerzas y momentos que pueden ocasionar deformaciones en la estructura y un excesivo consumo de los accionamientos.

Entendido el proceso de equilibrado vamos a proceder al estudio de las ecuaciones necesarias para realizar el cálculo de equilibrado de los módulos SCE. En la imagen inferior podemos observar el conjunto de volteador donde se establecen las medidas necesarias para obtener los momentos de disequilibrado del módulo SCE y por tanto las ecuaciones necesarias.

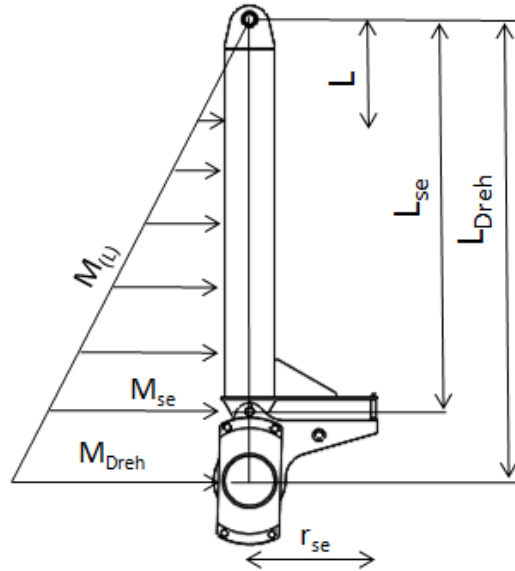


Ilustración 23 Diagrama de esfuerzos para cálculo del par de vuelco

Momento de flexión del brazo de medición con sensor:

$$M_{se} = F_{se} \cdot r_{se} \quad (3.1)$$

donde:

- F_{se} es la fuerza (en Newton) medida con el sensor de fuerza.
- r_{se} la distancia en metros del eje del sensor de fuerza al eje de giro.

Momento de flexión del brazo de medición en cualquier punto del brazo:

$$M_{(L)} = M_{se} \cdot (L / L_{se}) \quad (3.2)$$

donde:

- M_{se} es el momento de flexión del brazo de medición con sensor (3.1).
- L es la distancia al punto deseado de medición.
- L_{se} es la distancia (en metros) del punto de fijación al eje del sensor de fuerza.

Momento de flexión del brazo de medición en el rango de la unidad de giro en el eje de rotación (igual a el momento de par en el SCE):

$$M_{Dreh} = M_{se} \cdot (L_{Dreh} / L_{se}) \quad (3.3)$$

donde:

- M_{se} es el momento de flexión del brazo de medición con sensor (3.1).
- L_{Dreh} es la distancia (en metros) del punto de fijación al eje del módulo SCE.
- L_{se} es la distancia (en metros) del punto de fijación al eje del sensor de fuerza.

Volteador para contrapesados de SCE

Desplazamiento del centro de gravedad en dirección Z:

$$\Delta_{Zs} = M_{Dreh_{180^\circ}} / (m_{SCE} \cdot g) \quad (3.4)$$

donde:

- $M_{Dreh_{180^\circ}}$ es el momento de par en el SCE en la posición de 180° (3.3).
- m_{SCE} es la masa (en Kg) del módulo SCE.
- $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Desplazamiento del centro de gravedad en dirección X:

$$\Delta_{Xs} = M_{Dreh_{270^\circ}} / (m_{SCE} \cdot g) \quad (3.5)$$

donde:

- $M_{Dreh_{270^\circ}}$ es el momento de par en el SCE en la posición de 270° (3.3).
- m_{SCE} es la masa (en Kg) del módulo SCE.
- $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Zs- Coordenada del centro de gravedad del colector en SCE- sistema de coordenadas:

$$Z_s = \Delta_{Zs} + Z_{Dreh} \quad (3.6)$$

donde:

- Δ_{Zs} es el desplazamiento del centro de gravedad en dirección Z (3.4).
- Z_{Dreh} es la medida en el eje Z del centro de gravedad teórico del módulo SCE.

Xs- Coordenada del centro de gravedad del colector en SCE- sistema de coordenadas:

$$X_s = \Delta_{Xs} + X_{Dreh} \quad (3.7)$$

donde:

- Δ_{Xs} es el desplazamiento del centro de gravedad en dirección X (3.5).
- X_{Dreh} es la medida en el eje X del centro de gravedad teórico del módulo SCE.

De este modo obtendremos como resultados de la ecuación 3.6 y 3.7 las coordenadas exactas de dónde se encuentra ubicado el centro de masas del módulo SCE respecto a su centro de giro teórico, y por tanto podremos calcular la posición de los contrapesos para lograr equilibrar el conjunto.

3.1. Cálculo de Contrapesos

Obtenidas las coordenadas del centro de masas, se establece el cálculo necesario para obtener como resultado dónde deben estar ubicados los contrapesos. Este cálculo se llevará a cabo mediante la resolución de la siguiente ecuación:

$$\begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \end{pmatrix} \cdot M = m_1 \cdot \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \end{pmatrix} + m_2 \cdot \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \end{pmatrix} + m_{SCE} \cdot \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

donde:

- m_{SCE} : Masa del colector antes del equilibrado
- m_1 : Masa contrapeso 1
- m_2 : Masa contrapeso 2
- M : Masa total del conjunto

- Y_A, X_A :Coordenadas del punto de equilibrio
- Y_1, X_1 : Posición del contrapeso 1
- Y_2, X_2 : Posición del contrapeso 2
- Y_S, X_S : Centro de gravedad antes de equilibrado

Como resultado de la ecuación 3.8 y conocidas las coordenadas del punto de equilibrio (correspondiente con el eje de giro), obtendremos las posiciones de los contrapesos para equilibrar en ambos el eje el módulo SCE.

Sin embargo, suele ser muy costoso conseguir contrapesar un módulo SCE de manera que no genere ningún esfuerzo de torsión. Como el peso de los contrapesos no es un valor fijo, ya que puede variar su masa, ya bien sean estos de un perfil estándar tipo U o bloques de hormigón, y su posición en el módulo SCE no puede ser medida con exactitud ya que sería muy complejo medir al milímetro en estructuras tan complejas. Por ello es habitual dejar un pequeño rango de aceptación del equilibrado del colector. Tras los estudios realizados por órganos reconocidos como la PSA (Plataforma Solar de Almería) o el DLR (Institute of Solar Research) un rango válido de contrapesado es disponer de valores inferiores a 400 N·m para M_{Dreh} (3.3).

4. DISEÑO MECÁNICO

Con el objetivo de realizar un volteador que pueda ser utilizado en diversas plantas termosolares, el diseño de este debe soportar los esfuerzos más exigentes tanto a nivel estático como dinámico que se puedan encontrar al voltear y contrapesar un módulo SCE. Por ello, antes de realizar el diseño mecánico, es preciso conocer el mercado actual de los modelos de módulos SCE que existen y la tendencia que el mercado tiene en cuanto a sus dimensiones.

Como ya hemos visto en apartados anteriores, dependiendo de la filosofía seguida por los diferentes diseñadores, los colectores tienen diversas soluciones para intentar abaratar los costes de las plantas termosolares mejorando las eficiencias ópticas globales del lazo captador. Es por ello que existen diferentes tamaños, diferentes estructuras principales y diferentes filosofías de contrapesado. Como es lógico, cada tipo de diseño va a generar diferentes esfuerzos sobre los elementos del volteador. Es por ello que vamos a realizar un pequeño análisis de los diferentes modelos que podemos encontrar en la actualidad y estudiar los diferentes esfuerzos que puedan generar sobre el volteador.

Con la finalidad de saber cuáles son los esfuerzos más restrictivos que podemos encontrar en el volteador, debemos conocer con certeza las estructuras del mercado, no siendo la estructura de mayor tamaño la que genere los mayores esfuerzos sobre los accionamientos o elementos del volteador. Así pues, realizaremos un análisis en función del tamaño/peso y de la ubicación del centro de masas en la peor circunstancia. Este análisis nos dará como resultado los esfuerzos necesarios con los que debemos diseñar. Para no extenderse mucho en este apartado analizaremos las estructuras más significativas del mercado.

EuroTrough ET-100 y ET-150:

Diseñado por un consorcio de empresas europeas junto con instituciones gubernamentales se desarrolla el EuroTrough ET-100 entre 1998 y 2002, y posteriormente el EuroTrough ET-150, 2003 a 2007. Ambas estructuras son similares en cuanto a su diseño, pero la principal diferencia entre ambas es la longitud del lazo de colectores. El primer diseño tiene una longitud de 100 m y el segundo diseño de 150 m. Esta modificación es debida a un intento de ahorro de material en comparación con el primero, al disponer más módulos SCE por un mismo accionamiento; esto lleva a un ahorro de cableado, accionamientos, controles... y por tanto un ahorro de costes por una misma unidad de superficie espejada. Este tipo de colector utiliza como estructura principal una caja de torsión.

El diseño final del ET 150, consiste en seis módulos conectados a cada lado de la torre de accionamiento, es decir el conjunto del lazo contiene 12 módulos. La longitud de cada módulo es de 12 metros y 5,7 metros de apertura de parábola, con un peso cercano a las 4t. El centro de gravedad viene por diseño en el centro de giro.



Ilustración 24_EuroTrough ET-100 y ET-150

Volteador para contrapesados de SCE

SENER: Senertrough:

Con una parábola de espejos igual que la diseñada en el colector ET-150, la empresa española Sener modifica la estructura principal de soporte por un tubo helicoidal. De esta manera se elimina la caja de torsión en un intento de abaratar los costes de fabricación. Con este nuevo diseño de tubo de torsión, se elimina una plantilla en el montaje, y la fabricación de todos los elementos que componen la caja de torsión

Un módulo Senertrough tiene una longitud de 12 m y un ancho de apertura de 5,7. El conjunto de colectores tiene una longitud de 150 m compuesto por 12 módulos. El peso de cada módulo SCE es cercano a las 3,5 t. El centro de gravedad viene por diseño en el centro de giro.



Ilustración 25 Senertrough

STSolar: TCP-200

De nuevo una empresa española desarrolla un nuevo tipo de estructura. Esta vez se produce un salto en las dimensiones del módulo, y de la filosofía de contrapesado. Continuando con el diseño introducido por SENER de tubo de torsión, se establece el centro de giro en el eje de dicho tubo. Para contrapesar las masas se opta por la utilización de dos contrapesos en la parte inferior del tubo, que permite una mejor regulación.

Este colector es uno de los primeros diseños con un ancho de apertura más grande que los habituales. El tamaño de los módulos SCE diseñados por STSolar incrementan su longitud a 24 metros, con una apertura de parábola de 7,4 metros. y ascendiendo su peso hasta las 9 t. La longitud del lazo como indica su nombre se eleva a los 200 metros.



Ilustración 26 TCP-200

TSK-Flagsol: Heliotrough

Al igual que en el caso de Senertrough, TSK-Flagsol ha optado en el diseño del Heliotrough en utilizar un tubo de torsión como elemento de estructura principal. Pero en este caso han continuado con la filosofía de diseño del TCP-200 y han optado por disponer el centro de masas en el eje de giro del colector con contrapesos de hormigón. Por el contrario, la longitud de cada módulo tiene una longitud de 19 m. La longitud total del conjunto de colectores es de 190 m y está compuesto de 10 módulos. El peso total del conjunto es próximo a las 8 t. con una apertura de 7,4 metros.



Ilustración 27 Heliotrough

A modo de resumen mostramos la siguiente tabla en la que aparecen las características principales de los colectores solares más importantes y utilizados en las centrales termosolares.

Colector	Apertura (m)	Longitud Módulo (m)	Longitud Conjunto (m)	Masa (Kg)	Centro de masas
EuroTrough	5,75	12	100-150	≈ 4.000	En el eje por diseño
SenerTrough	5,75	12	150	≈ 3.500	En el eje por diseño
TCP-200	7,4	24	200	≈ 9.000	Contrapeso hormigón
HelioTrough	7,4	20	191	≈ 8.000	Contrapeso hormigón

4.1. Análisis de Esfuerzos

Para el análisis de los esfuerzos de los elementos del volteador, debemos seleccionar el colector que mayores cargas genere sobre nuestro sistema. Atendiendo a la tabla anterior podemos concluir que el colector de mayor tamaño existente en el mercado es el TCP-200, con sus 24 metros de longitud y casi 9.000 Kg es el módulo SCE que más va a solicitar a nuestro volteador.

Otro de los motivos por lo que diseñar el volteador para este tipo de módulo SCE no es otro que su diseño de contrapesado. Este tipo de colectores de última generación, contrapesa sus diseños con grandes bloques de hormigón para desplazar el centro de masas al eje del tubo de torsión. La gran motivación de realizar este tipo de diseños es que no tiene espacios intermedios entre los pilares situados en el campo solar. La superficie del espejo cubre totalmente la estructura portante, lo que permite una mayor eficiencia del uso del suelo.

Volteador para contrapesados de SCE

Un condicionante de diseño impuesto por la empresa para el sistema de volteo, es permitir bajo cualquier circunstancia voltear al módulo SCE. Como ya hemos descrito en apartados anteriores, las líneas de ensamblado montan el colector de forma inversa, con los espejos boca abajo. Sin embargo, cuando se trasportan al campo solar, los módulos SCE se trasportan con los espejos mirando al cenit, boca arriba. Esto quiere decir, que el volteador debe disponer de suficiente potencia como para voltear los módulos sin los contrapesos instalados.

Un ejemplo de voltear el colector sin contrapesos, puede venir motivado por algún tipo de error en el ensamblado del módulo en al línea. El tipo de fallo o tara en la fabricación de los materiales puede exigir retirar de la línea el módulo SCE sin contrapesos. Para ello es necesario voltear el colector y disponerlo en el tráiler de transporte.

Con estos condicionantes, vamos realizar el estudio de esfuerzos del volteador:

El módulo TCP-200 está diseñado de tal modo que los centros de masas con los contrapesos instalados coincidan con el eje de torsión, y por tanto con su centro de giro. La peor situación de esfuerzos para el motor, coincidirá cuando el volteador no disponga de estos contrapesos, puesto que su centro de masas estará desplazado y, por tanto, generando el mayor par de giro para los componentes del motor.

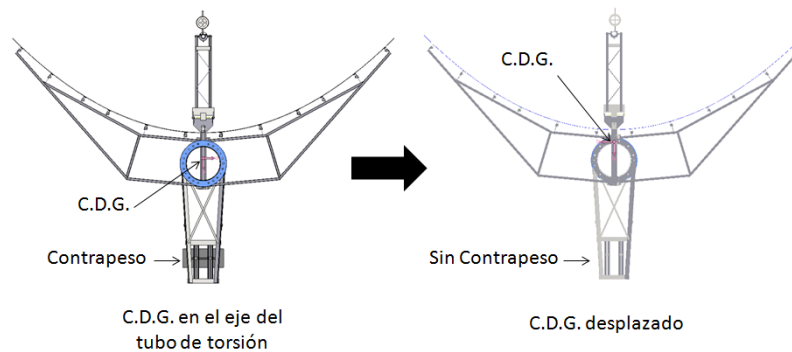


Ilustración 28 Centro de gravedad de un CCP

Así pues, si obtenemos el centro de masas del conjunto del módulo SCE sin contrapesos respecto al eje de giro del volteador, obtendremos el par de giro necesario del motorreductor. Tal y como muestra la Ilustración 28 Centro de gravedad de un CCP, al retirar los contrapesos el centro de masas se desplaza verticalmente hacia la cara superior del colector.

Con los programas de diseño actuales obtener esta distancia es sencillo, ya que con una modelización del módulo en 3D obtendremos la distancia del centro de masas respecto al centro del eje de giro. El resultado de este análisis nos da como distancia 0,2 m. El peso total del colector es próximo a las 9 t. de peso, pero en este caso debemos de restar las 2 t. del peso de los contrapesos, por lo que el peso del módulo es inferior a las 7 t.

Si multiplicamos la masa por la distancia que existe entre el centro de giro y el centro de masas obtendremos el momento de giro o par necesario para el motorreductor:

$$Par_{mr} = M_{SCE_{nc}} \cdot g \cdot L_{CDM_{CDG}} \quad (4.1)$$

donde:

- $M_{SCE_{nc}}$ es la masa del colector sin contrapesos, inferior a 7 t.

- L_{CDM_CDG} es la distancia que existe del centro de masas al eje de giro, 0,2 metros.
- $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Si sustituimos en la ecuación 4.1 los términos obtendremos como resultado el par para el motor reductor:

$$\text{Par necesario volteador} = 13.720 \text{ N}\cdot\text{m.}$$

El valor obtenido para el par de giro, es un valor elevado, pero totalmente necesario por el condicionante del diseño del colector. Muchos han sido los casos en los que las líneas de montaje de colectores se han visto afectadas por paradas motivadas por no conformidades en los materiales, haciendo que el colector tenga que ser retirado de la línea. Previamente al diseño del producto aquí diseñado, esta tarea era lenta paralizando las líneas con el sobre coste que esto supone.

4.2. Velocidad de Giro

Otro factor importante en el diseño mecánico de los elementos es la velocidad máxima y mínima con la que se debe voltear el módulo. Este punto puede estar limitado por diferentes condicionantes e incluso ser objeto de discusión. Es por ello que en este apartado vamos a establecer de la mejor manera los criterios de velocidad, atendiendo a razones lógicas de diseño adaptadas a la necesidad específica del volteador.

Debido a la envergadura de un módulo colector, la velocidad de giro debe ser lo más baja posible, con el objetivo de no crear inercias innecesarias, y que en caso de un paro por emergencia provoquen la rotura de los elementos. Del mismo modo, es aconsejable que la velocidad de rotación sea muy baja debido a que es una maquina que va estar trabajando en un entorno en el cual puede existir una interferencia humana. Minimizando las velocidades de rotación se minimizan los accidentes.

Sin embargo, debe de existir una velocidad óptima de giro. Esta es un compendio entre la velocidad que un motorreductor comercial permita, pero no afecte al tiempo ciclo del montaje del colector. Disponer de los tiempo ciclo de producción de los módulos SCE es sin duda complejo y uno de los secretos mejor guardados del sector. Sin embargo, hablando con diferentes expertos de la empresa **ImEnergy**, han aconsejado que tiempo ciclos inferiores a los 40 min. por línea son difíciles de alcanzar.

Si establecemos el máximo tiempo que se dispone para realizar el ciclo completo de volteo desde el izado desde la plantilla de espejos, hasta depositarlo en el tráiler de transportes en 40 min. podremos obtener la velocidad mínima de giro óptima.

Atendiendo a los pasos descritos en el capítulo 2, que conlleva el ciclo completo de volteo y contrapesado, podemos establecer el tiempo de cada uno de ellos, obteniendo como resultado el tiempo mínimo necesario para realizar la operación de volteo. Así pues, si retomamos los 7 pasos de equilibrado tendremos:

- PASO 1: Movimiento del SCE de la plantilla de espejos a la zona de volteo.
- PASO 2 y 3: Giro del módulo SCE de 270° a 90 grados
- PASO 4 y 5: Calculo del contrapesado Posicionar los contrapesos en los puntos indicados
- PASO 6: Comprobación del equilibrado. Posible repetir paso del 2 al 5
- PASO 7: Fijación en el remolque para su transporte

Volteador para contrapesados de SCE

Si asignamos tiempo a cada uno de ellos, obteniendo un tiempo ciclo acumulado inferior a 40 min. podremos asegurar que el tiempo asignado para el volteo, y por tanto, la velocidad del motorreductor son adecuadas:

<i>OPERACIÓN</i>	<i>TIEMPO OPERACIÓN</i>	<i>ACUMULADO</i>
Paso 1	3,5 min.	3,5 min.
Paso 2 / 3	5 min.	8,5 min.
Paso 4 / 5	11,5 min,	20 min.
Paso 6	5 min.	25 min.
Repetir de 2 a 6	9,5 min	34,5 min.
Paso 7	4,5 min,	29,5 min. 40 min.

NOTA:

La asignación de los tiempos expuestos en la tabla ha sido un consenso realizado con el tutor del proyecto.

De este modo, establecemos que el tiempo máximo que tenemos para asignar los volteos del colector no deben de superar los 5 min. de tiempo. Como el máximo recorrido angular que el módulo SCE debe recorrer no supera los 180° tendremos la velocidad mínima del motorreductor:

$$Velocidad\ giro = 180^\circ / 5\ min. = 36^\circ / min. \Rightarrow 0,1\ rev^{-1} \quad (4.2)$$

Obtenidos los esfuerzos y velocidades de giro, se puede seleccionar el tipo de motorreductor necesario que satisfaga estos dos requisitos. El motorreductor es el elemento que definirá tanto el diseño mecánico, como electrónico, por ello se hace indispensable comenzar por su selección

5. JUSTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS

A lo largo de los anteriores capítulos se han analizado las diferentes necesidades que requiere el producto a diseñar. El análisis realizado define tanto los elementos necesarios para ejecutar el control, el software, como los elementos mecánicos que debe incluir el producto final desarrollado.

Muchos son los fabricantes que podemos encontrar en el mercado que puedan satisfacer las necesidades finales que requiere el producto diseñado, sin embargo a lo largo del capítulo se va a justificar la elección de los elementos con los que finalmente se ha producido el volteador de módulos SCE.

Para esta selección de componentes se ha intentado seguir los criterios de diseño habituales en el sector, buscando el máximo compromiso entre eficiencia y coste, siempre y cuando las características concretas de cada elemento cumplan los requisitos.

A continuación se detalla cada uno de los elementos seleccionados:

5.1. Motorreductor

Para la selección del motorreductor se ha barajado una amplia gama de motorreductores, y se ha seleccionado un producto óptimo para las necesidades del diseño final del producto de volteo. El listado de las compañías consultadas es la siguiente:

- Maxxdrive
- Unicase
- Nordbloc
- TGB
- Tsubaki
- Siemens

En el desarrollo del volteador de módulos SCE el motorreductor es un elemento clave para garantizar el éxito del producto. Es por ello que en la elección del motorreductor se ha puesto especial énfasis en la elección de una caja reductora con unas propiedades bien equilibradas.

Para la elección del producto final se han buscado el equilibrio entre las siguientes características:

- Par de salida máximo
- Fuerza radial admisible
- Diámetro del eje de salida
- Vida útil del rodamiento
- Rigidez de la carcasa
- Fiabilidad del engranaje (resistencia a la fatiga)
- Resistencia del eje (resistencia a la fatiga)

Pero sin duda dos de los requisitos esenciales para la selección del motorreductor son su elevado par de giro ($\approx 14 \text{ kN}\cdot\text{m}$), y una precisión de al menos 0,5 grados. Esto hace que muchas de las compañías consultadas quedaran descartas por la restricción que provoca el combinar un alto par de giro con una precisión de medio grado. Es por ello que finalmente se opta por un motorreductor de la gama SIMOGEAR de Siemens.

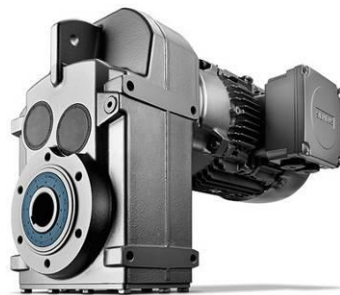


Ilustración 29 Motorreductor Siemens

El amplio catálogo de la serie SIMOGEAR facilita disponer de un motorreductor flexible que pueda ser adaptado a los diferentes proyectos. En caso de disponer de un colector de menor tamaño que el seleccionado en este proyecto puede realizarse una adaptación fácil con una reducción directa del coste debido al menor tamaño del motorreductor.

Otro motivo de la elección de un motorreductor de SIMOGEAR es su alta eficiencia respecto al resto de suministradores. Esta alta eficiencia permite disponer de un diseño mucho más compacto tanto en la elección del motorreductor como de sus periféricos, logrando un rápido retorno de la inversión realizada.

Este especial énfasis mostrado en el desarrollo de la caja reductora SIMOGEAR para lograr una alta eficiencia se plasma en la utilización de tan solo dos etapas en la reducción. Al disponer de un diseño de piñón directo en la primera etapa de la caja de reducción, se consigue una relación de transmisión más alta en comparación con el piñón deslizante o tornillo sin fin utilizado por otros fabricantes. Esto significa, que el diseño de piñón directo permite utilizar un menor número de etapas, y por tanto una mayor eficiencia. En lugar de cajas de engranajes de 3 etapas con un rendimiento de aprox. 94 %, con un diseño de eje directo y una caja helicoidal de 2 etapas Siemens garantiza un alto rendimiento de ≥ 96 %.

Otra ventaja de este diseño es la alta gama de relaciones de transmisión que puede disponer el reductor mecánico, teniendo la ventaja anteriormente mencionada, de disponer de varias relaciones con un mismo diseño pudiendo definirse el motorreductor como un sistema modular armoniosamente seleccionado con el resto de elementos del volteador.

Como última ventaja y no menos importante, es el diseño de la caja exterior del motorreductor. Al disponer de un diseño extremadamente compacto y ligero facilita un manejo e instalación más sencillos que el resto de fabricantes. Al disponer de una placa de cojinete integrada en lugar de una placa adaptadora, se reduce el peso y el espacio requerido para ser instalado en el volteador. Además, se reducen las interfaces y las juntas de estanqueidad al disponer de una placa de cojinete integrada.

Para la selección adecuada del motorreductor, Siemens dispone de un catálogo on-line que permite fácilmente seleccionar el tipo de motorreductor que cumpla las características. En nuestro caso, por tipo de diseño hemos seleccionado una caja de reducción de ejes paralelos, que disponga de un par dinámico superior a 14 kN·m con una velocidad de giro lo más próxima a 0,1 rev/min. Como resultado, con esta configuración encontramos el siguiente producto:

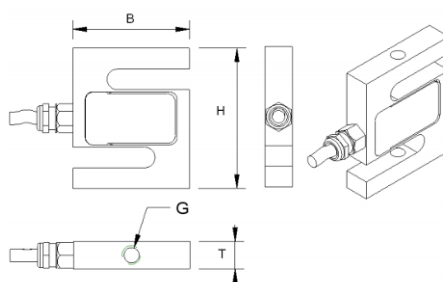
DATOS BÁSICOS DE MOTORREDUCTORES

Designación de tipo:	SIMOGEARFDAZ189-Z69-LE112ZMKB4PM
Tipo de reductor:	Reductor de ejes paralelos
Aplicación:	Estándar
Relación de transmisión:	1444
Número de dientes:	46381621 // 32130
Factor de servicio:	1,32
Par nominal:	19000 N·m
Par de salida:	35705 N·m
Velocidad de salida:	1,0 r/min
Temperatura ambiente:	-15 ... +40°C
Especificación:	CE (Europa)
Peso sin aceite:	673,0 kg
Cantidad de aceite:	64 L.

5.2. Dispositivos de Medición de Fuerza

El sensor de fuerza se monta en el interior del volteador para medir las reacciones del motorreductor al realizar el giro del colector. Este sensor de fuerza siempre estará montado en el volteador, salvo una excepción. En caso de que un módulo SCE se tenga que retirar de la línea sin los contrapesos puestos, y por tanto el motor ejerza el máximo par de giro, se deben instalar los bulones de seguridad y retirar el sensor de fuerza para que no sufra daños. Así pues, la fuerza se mide con un sensor de fuerza de un eje que permita disponer del rango y la resolución suficientes para realizar una medición exacta. Este sensor está conectado al módulo analógico del PLC del armario de control, que gestiona y envía la señal al PC para poder trabajar con el dato leído.

El sensor de fuerza y el dispositivo de medición se muestran en la siguiente figura.



Nominal load	B	H	T	G
5 t	74,7	99,1	30,7	M20 x 1,5

Ilustración 30 Sensor de fuerza

El sensor de fuerza KD9363S se utiliza para mediciones de fuerza de tracción y de compresión. Esto hace ideal este tipo de sensor al permitir con un único elemento medir los pares de reacción del volteador en ambos sentidos.

El sensor de fuerza KD9363S del tipo de ejecución "C3" cumple los estrictos requisitos europeos para su uso en básculas de calibración obligatoria. Este tipo de sensores son utilizados en varios campos industriales, siendo muy comunes para medir reacciones en bancos de pruebas al disponer de una alta precisión 0,02%.

	Precision
Precisión nominal	% 0,1
Desviación de linealidad	%FS 0,02
Error de anulación	%FS 0,02

5.3. Variador de Frecuencia

La selección del variador de frecuencia o driver para conseguir el control del motor ha resultado sencilla. Como más adelante se explica, el motorreductor SIMOGEAR pertenece al sistema integrado IDS de Siemens, por lo que con la selección del motorreductor y junto con el controlador lógico, la propia casa dispone de una selección de variadores que más se adecuan a la combinación seleccionada de PLC-MOTOR.

En nuestro caso el driver seleccionado es un Sinamics G120-d:



Ilustración 31 Variador de frecuencia

Una de las ventajas que dispone este tipo de drivers es que dispone de las entradas y salidas digitales incorporadas y por tanto el variador permite tener un simple cableado directo hacia los sensores y actuadores. Otra ventaja es que las señales de entrada pueden tener un efecto directo sobre el variador, desencadenando reacciones locales autónomas, o pueden transferirse vía PROFIBUS/PROFINET al control central para su procesamiento a nivel de sistema completo.

Mediante el software LOGO de la propia casa Siemens es posible definir las reacciones locales autónomas del variador. De este modo se pueden establecer acciones directas como la gestión de la velocidad y posición del motor, sin necesidad de transmitir los datos al PLC local. Esta programación viene predefinida en el sistema IDS, pudiendo variar pequeños parámetros y mejorar el comportamiento del sistema motorreductor

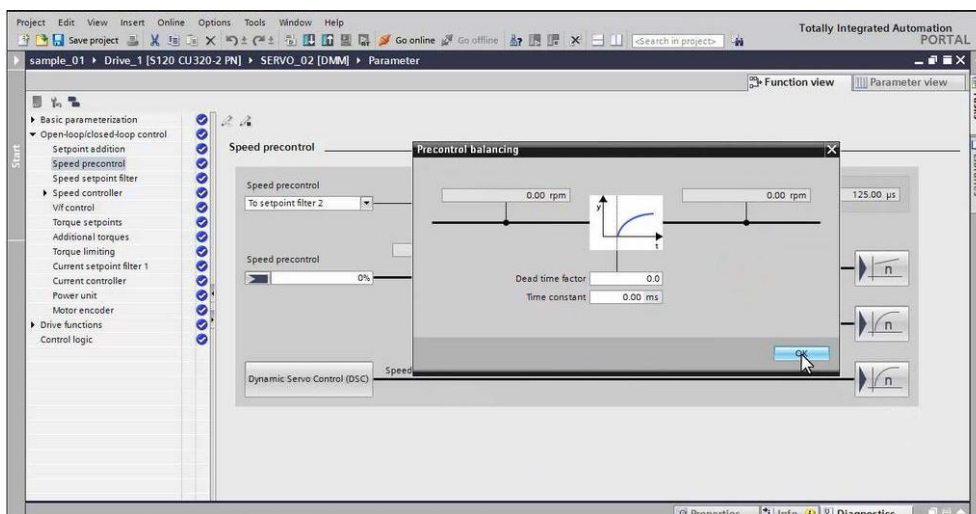


Ilustración 32 Control Driver

El resumen de los datos técnicos del driver son los siguientes:

<i>SINAMICS G120D</i>	<i>Resumen de datos técnicos</i>
Rango de tensión y potencia	AC 380V - 3AC 400V +10% -15% - 0,75 kW a 4,5 kW
Tipos de regulación	Control por U/F, FCC (regulación de flujo-corriente), regulación vectorial sin necesidad de sensor de velocidad, regulación vectorial con sensor de velocidad (encóder)

5.4. Controlador Lógico Programable (PLC)

Para la elección del control lógico programable (Programmable Logic Controller), PLC en adelante, se opta por un módulo de Siemens S7. Esta elección es debido a que es un proyecto realizado para la empresa **ImEnergy** y se hace indispensable la utilización de un PLC de la marca Siemens. Al disponer la empresa de licencia para el desarrollo del lenguaje bajo LOGO, es un requisito indispensable.

Los PLC SIMATIC están considerados en la actualidad el número uno mundial en el terreno de la automatización. Debido a su gran versatilidad y al estar integrados con muchos de los elementos utilizados en la industria se adaptan para la realización del volteador.

La realización de un software eficiente es imprescindible para el correcto funcionamiento del sistema proporcionando una funcionalidad durante todo el ciclo de la maquina. Para realizar el control se hace esencial comenzar con una buena planificación y concepción del sistema, continuando con la configuración y programación para terminar con la puesta en marcha y el funcionamiento cotidiano del sistema volteador.

La ventaja de la utilización de un PLC SIMATIC son las funciones integradas de que dispone, como son el contaje, la medición, el posicionamiento, la regulación y control de sistemas o control de movimiento (Motion Control). Estas funciones integradas permiten disponer de bloques o tareas sin necesidad de realizar grandes códigos de programación. Esto supone una gran ventaja, ya que permite combinar varias tareas de forma simple, confortable y homogénea. Estas tareas de parametrización y programación se realizan bajo entorno de STEP 7 en LOGO. Estas herramientas descritas se estructuran bajo un sistema básico homogéneo que ofrece interfaces abiertas, con la posibilidad de crear bloques personalizados y, en consecuencia, permiten ahorrar tiempo.

Otra ventaja de la utilización de SIMATIC, es que permite configurar y programar no sólo PLCs, sino también sistemas de automatización basados en PC y automatización embebida SIMATIC, lo que lo hace ideal para el diseño del volteador. De este modo disponemos de la libertad para desarrollar un software bajo un entorno que conozcamos, en nuestro caso bajo la plataforma QT Creator, mediante programación orientada a objeto. Esta configuración mixta es debido al estándar mundial de programación que utiliza SIMATIC ya que esta bajo el estándar de norma IEC 61131-3. La norma internacional IEC 61131 está considerada como el estándar mundial de los controles lógicos programables. Se ha adoptado como norma europea y norma alemana con la denominación DIN EN 61131.

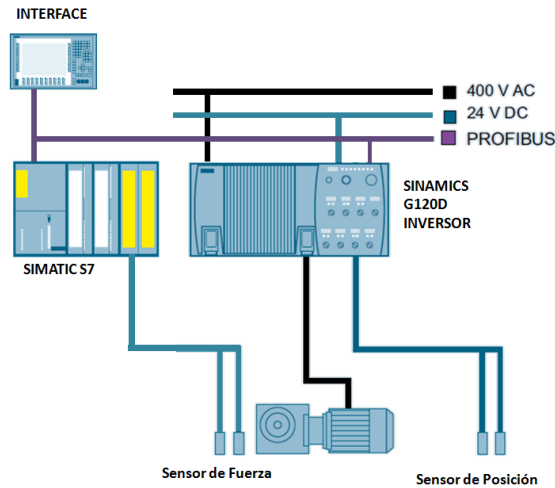


Ilustración 33 Diagramas de comunicación WinCC

5.5. IDS de Siemens

En la industria existen innumerables aplicaciones que disponen de sistemas que trabajan con motores que deben reaccionar a su entorno bajo unos condicionantes específicos. Ejemplos de la utilización de motores que requieren un control se pueden encontrar en cualquier tipo de fábrica, líneas de ensamblaje, sistemas de producción, etc... Todos estos motores trabajan bajo un sistema de control lógico, y los cuales deben controlar ciertos parámetros habituales como posición, velocidad de giro, etc... Por este motivo Siemens ha desarrollado un sistema de accionamiento integrado denominado IDS de Siemens (Integrated Drive System).

Este sistema de control integrado junto a la utilización de un Simatic con configuración mixta permite disponer de una potente combinación para realizar el diseño del volteador. Debido a que los motorreductores SIMOGEAR forman parte del sistema IDS de Siemens, disponemos de un producto cerrado de PLC, Control, y Motorreductor, que nos permite realizar el control de velocidad y posición de manera sencilla a través de una comunicación directa entre un software ejecutado en un PC y el propio PLC.

De este modo tendremos que los componentes de motorreductor, sensor de fuerza, variador/driver, PLC y PC están armonizados y coordinados entre sí con interfaces estándar y sistemas de comunicación PROFIBUS. Por ello la utilización del Integrated Drive System (IDS) de Siemens permite una reducción de los costes de desarrollo, instalación y puesta en marcha del volteador, aparte de disponer de un producto que aumenta al mismo tiempo la flexibilidad y la disponibilidad del sistema debido a la utilización de estándares.

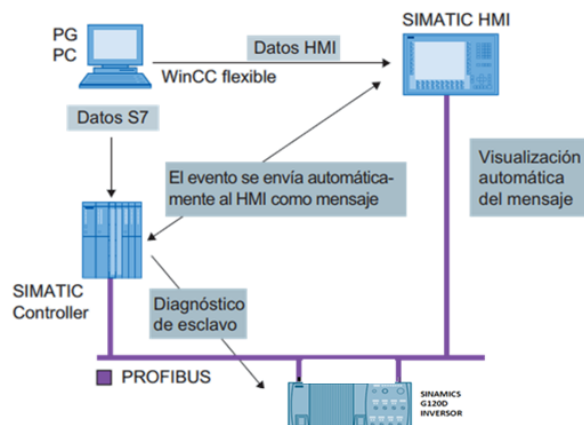


Ilustración 34 Diagrama IDS

De este modo dispondremos de un paquete completo que se ubica en el armario de control, cuyo esquema de funcionamiento es similar al mostrado en la Ilustración 34 Diagrama IDS.

6. DISEÑO DEL INTERFACE

Para realizar el control del todo el sistema, y con el objetivo de realizar un interface entre el sistema de control de los motores y el operador, se opta por realizar una pequeña APP que permita identificar todos los valores de los sensores y disponga de un control sencillo que pueda ser utilizado sin una gran formación por parte de los operarios.

Gracias a la flexibilidad del sistema IDS de permitir una comunicación con otros sistemas, como puede ser nuestra aplicación, podemos realizar el control bajo una aplicación desarrollada en otro lenguaje. Esta comunicación puede realizarse mediante el propio sistema PROFIBUS del sistema IDS, Ethernet, o puerto serie. En el mundo industrial suele utilizarse un sistema de comunicación por Ethernet, debido en parte por su uso extendido y la rapidez de este sistema.

Para realizar la comunicación, se necesita configurar el acceso a red local del PLC, asegurarse de que los adaptadores en Virtual Box están como adaptador puente del PLC. Tras esto, hay que conectarse a la misma red, por medio de un cable Ethernet o cable de red directo. Una vez se reconoce la red y qué adaptador de red se usa, se debe asignar esa dirección MAC del adaptador al configurarse la conexión. La APP, tiene la IP: 192.168.0.108, como configuración estática. Mientras que el PLC tiene la IP: 192.168.0.109, también como estática. Para la correcta comunicación se debe asegurar que la máscara de red es 255.255.255.0 o 24; como no vamos a acceder a internet, podemos no realizar la configuración de la puerta de enlace.

Teniendo en cuenta estos parámetros de conexión para la comunicación entre el PLC y la APP, se desarrolla una aplicación con una Interface Gráfica de Usuario (GUI por sus siglas en inglés), bajo programación orientada a objeto. Para ello se utiliza un software de código abierto como es QT Creator. Qt Creator es un IDE multi-plataforma programado en C++, Java Script y QML creado por Trolltech el cual es parte de SDK para el desarrollo de aplicaciones con las bibliotecas Qt, lo que facilita su programación orientada objeto obteniendo muchas funciones de las mencionadas bibliotecas.

Como ya hemos visto, el tipo de conexión se realiza mediante una red local, por lo que debemos realizar los protocolos necesarios para enlazar la comunicación entre el PLC y nuestra APP. Para ello QT Creator cuenta con una serie de bibliotecas que, junto con la programación orientada a objeto, facilita las tareas. La clase *QUdpSocket* proporciona un socket UDP. UDP (User Datagram Protocol) es un protocolo liviano, orientado a datagramas y sin conexión externa a internet, como es nuestro caso. Se puede usar cuando la confiabilidad no es importante y se trata en un sistema local de red. *QUdpSocket* es una subclase de *QAbstractSocket* que permite enviar y recibir datagramas UDP.

La forma más común de usar esta clase es enlazar a una dirección y puerto usando *bind()* con los datos de IP mencionados más arriba. La clase *QUdpSocket* dispone de una serie de objetos predefinidos que facilitan la comunicación entre ambos elementos. Así pues, para enviar una señal con contenido, tan solo debemos llamar a *writeDatagram()*. En caso que se quiera recibir una señal disponemos de los objeto *readDatagram()* / *receiveDatagram()*. El funcionamiento del socket emite la señal *bytesWritten()* cada vez que se escribe un datagrama en la red, por lo que dispondremos de una señal *readyRead()* que se emite cada vez que llegan los datagramas. Esto permite que el sistema de comunicación siempre esté en standby hasta recibir un datagrama, lo que activará el socket que ejecute una acción.

Volteador para contrapesados de SCE

Otra de las clases utilizadas en el tratamiento de datagramas es `pendingDatagramSize()`. Este objeto permite obtener el tamaño del primer datagrama enviado, por lo que en todo momento se sabrá el tamaño del mensaje recibido, sabiendo si ha llegado completo o parcialmente.

Finalmente otra clase de tratamiento de datagramas, es la posibilidad de extraer contenido del mensaje recibido. Así pues, por ejemplo, en caso de que queramos comprobar un texto almacenado en la variable `Text` debemos llamar a la clase `Text.startsWith()`. Para obtener la sección de un texto contenido por ejemplo entre puntos (:) debemos llamar a la clase `Text.section(":",1,1)`, que almacenara el contenido después de los puntos.

Explicado el sistema de comunicación entre el PLC y nuestra aplicación, vamos a describir la interface diseñada para el manejo del volteador.

Como parte de innovación de este proyecto, se pretende disponer de una interface amigable para el manejo del volteador, capaz de ser usada por cualquier operario. Es por ello que la aplicación debe ser sencilla y útil. Actualmente no existe ningún tipo de aplicación que permita calcular de forma directa el contrapesado en los diferentes ensamblajes de colectores, tan solo se dispone de una célula de carga con un pequeño display. El operario debe introducir este dato en una hoja de cálculo que arroje los resultados de contrapeso. Sin duda este sistema para calcular el contrapesado de los modulo puede ser eficaz, pero no es muy armonioso ni está integrado en el sistema. Es por ello que se desarrolla esta aplicación.

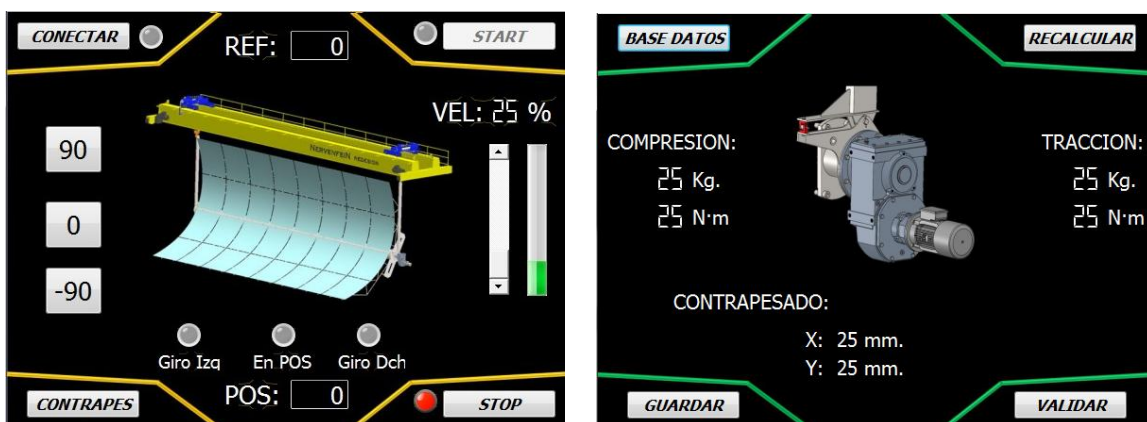


Ilustración 35 Ventanas APP

Como se ve en la Ilustración 35 Ventanas APP, la aplicación tan solo dispone de dos sencillas ventanas. La ventana de inicio, situada a la izquierda de la imagen, y la ventana de contrapesado situada a la derecha de la imagen.

En la ventana de inicio disponemos de un total de 4 botones principales (en las esquinas) tres botones de control (-90 ,0 ,90) y una barra de selección de velocidad. Las principales funciones de los botones son:

- **Conectar:** Tras pulsar el botón conectar, la aplicación comprueba que el PLC está conectado y que las IP configuradas son correctas. En caso de no encontrarse el PLC conectado, la APP emitirá un mensaje.
- **Start:** Solo cuando el PLC y la APP tengan comunicación, se activa el botón Start. Al pulsar el operador el botón, se comenzará la comunicación y se tendrá lectura del

Volteador para contrapesados de SCE

encoder. Nuevamente en caso de algún error en la comunicación la APP emitirá un mensaje con el código de error.

- **Stop:** El botón de Stop, manda una señal de parada. Esto provocará que el motor deje de girar en cualquier circunstancia. Este botón no es una parada de emergencia
- **Contrapeso:** Abre la ventana de contrapesado de la aplicación. Una vez abierta la ventana de contrapesado los botones de control quedan anulados, quedando el módulo SCE en la posición que se encuentre.
- **Botones de control:** Los botones de control tienen como única consigna establecer la referencia que el motor debe alcanzar. Así pues, tan solo se dispone de tres botones para las posiciones de análisis del contrapesado.
- **Selector de velocidad:** El selector de velocidad dispone de 4 posiciones, muy lento, lento, rápido, muy rápido. Estos cuatro estados corresponden a un valor del 25, 50, 75, 100 % de la velocidad total del motor.

Como elementos de información, en la ventana de inicio, en la zona superior se dispone de un display que indica la referencia seleccionada, mientras que en el display inferior indica la posición absoluta en la que se encuentra el eje del motor. Finalmente, encima del display de posición se encuentran 3 LEDs que indican el sentido de giro del motor.

En la ventana de contrapesado, y siguiendo el mismo estilo que antes, disponemos de un total de 4 botones principales (en las esquinas). Las principales funciones de los botones son:

- **Base de datos:** El botón abre la base de datos donde se almacenan los valores de contrapesado de todos los módulos.
- **Recalcular:** En caso de ser necesario recalcular el contrapesado del motor, este botón nos devuelve a la pantalla de inicio para controlar el motor.
- **Validar:** Cuando se valida la medición, la aplicación arroja los valores Xa e Ya de la posición de los contrapesos.
- **Guardar:** Guarda en la base de datos los valores de contrapesado del colector.

Como elementos de información, el operador podrá visualizar los valores leídos del sensor de fuerza, el par de giro de reacción del motor, y los valores de contrapesados Xa e Ya, correspondientes al resultado de la ecuación 3.8 del apartado 3.

A continuación se muestra la codificación utilizada para realizar la comunicación entre el PLC y la APP.

Comando	Código	Acción
Conectar	0s000	Establece conexión con el PLC
Error en conexión	0s100	Recibe el comando. Ver manual PLC para cadena de errores
Comunicación	0c000	Establece comunicación entre PLC y aplicación
Error en comunicación	0c100	Recibe el comando. Ver manual PLC para cadena de errores
Conexión motores	0p000	Verifica operación motores

Volteador para contrapesados de SCE

Error en motores	0p100	Recibe el comando. Ver manual PLC para cadena de errores
Envío pos -90°	0p2x0	Envía el comando 0p2x0 donde la x es el valor del PWM de 1 a 4 (1 -> 25% hasta 4 -> 100%)
Envío pos 90°	0p2x1	Envía el comando 0p2x1 donde la x es el valor del PWM de 1 a 4 (1 -> 25% hasta 4 -> 100%)
Envío pos 0°	0p2x2	Envía el comando 0p2x2 donde la x es el valor del PWM de 1 a 4 (1 -> 25% hasta 4 -> 100%)
Lectura posición	Pos:xxx	Tratamiento del mensaje recibido; si comienza con Pos: extraigo el numero xxx
Solicita posición	SendPos	Se envía el datagrama con "SendPos" para que el PLC envíe "Pos:xxx"
Lectura del sensor	Sen:xxx	Tratamiento del mensaje recibido; si comienza con Sen: extraigo el numero xxx
Solicita peso sensor	SendSen	Se envía el datagrama con "SendSen" para que el PLC envíe "Sen:xxx"
Envío parada emergencia	STOP	Envía la cadena "STOP" para que el PLC active la parada de emergencia

Tras conocer la funcionalidad de la APP, así como las diferentes clases para el tratamiento de datagramas para la comunicación, se define el esquema lógico de funcionamiento de la aplicación:

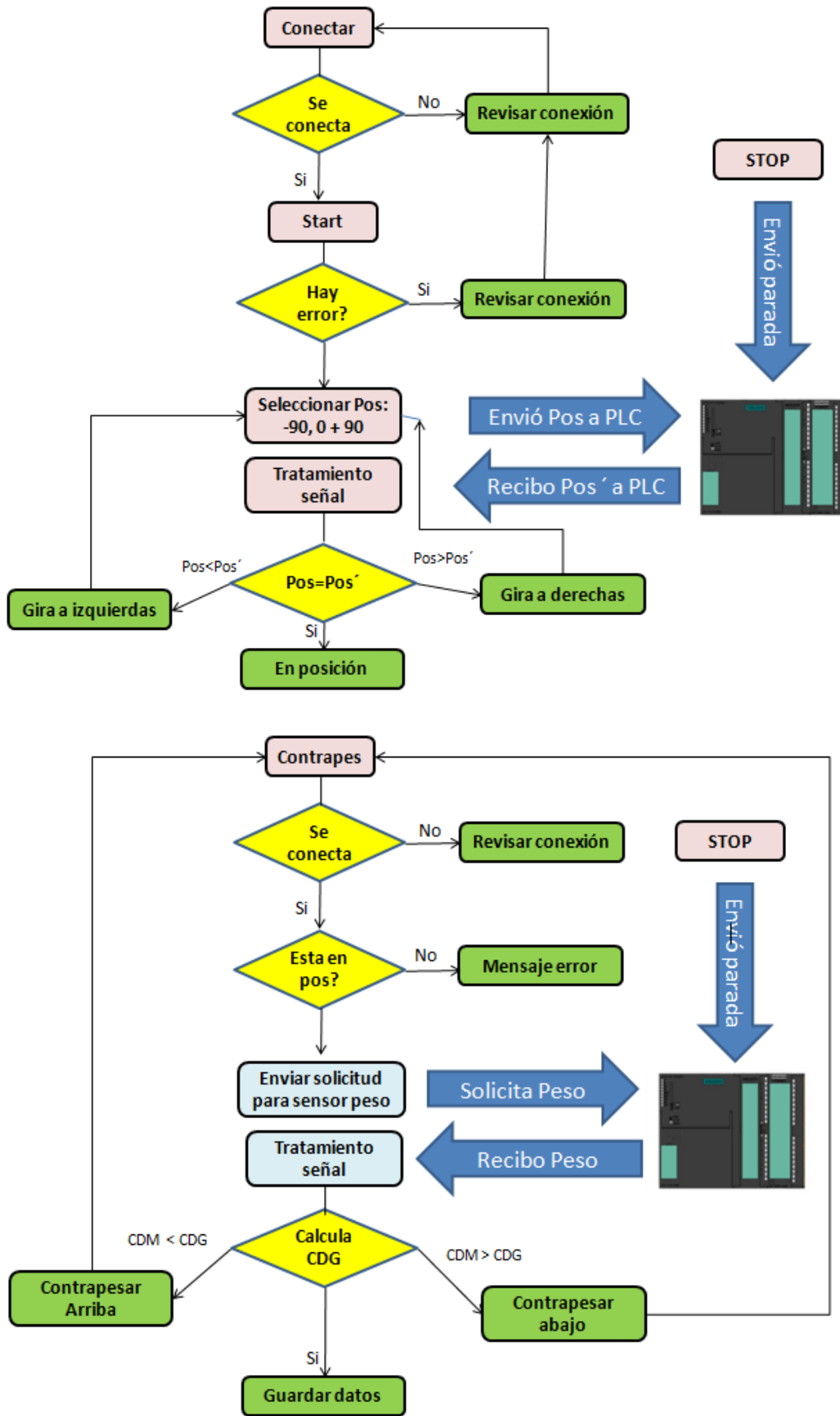


Ilustración 36 Esquema lógico APP

7. IMPLEMENTACIÓN DEL DEMOSTRADOR

Para complementar el proyecto descrito en los capítulos anteriores, se decide realizar un demostrador que permita evaluar de forma sencilla la aplicación del producto diseñado. La realización del demostrador se ha realizado bajo una filosofía de mínimo coste. Por ello los materiales utilizados son materiales reutilizados de otras aplicaciones, pero que cumplen con el objetivo final. Es por ello que en este apartado se pueden seleccionar otros elementos que sean más acordes a la aplicación desarrollada, pero debe comprenderse que el demostrador se realiza para crear un modelo que permita ver la utilidad del producto.

A diferencia del producto final, el volteador de demostración, no se realiza sobre un puente grúa que permita su desplazamiento, sino que se opta por montar el volteador sobre dos pilares en los que descansa el módulo SCE. De este modo, el volteador está fijo en cada una de las cabezas del módulo, permitiendo así su volteo.



Ilustración 37 Maqueta demostrador

En cuanto a los pilares y la base, se han realizado en madera y se unen entre ellos mediante dos escuadras metálicas, atornilladas. Para simular los espejos del módulo SCE, se opta por utilizar un canalón de PVC. Para la estructura metálica del módulo SCE, se opta por un modelo de tubo de torsión frente al modelo de caja de torsión. El motivo de esta elección no es otro que una simple varilla de M6 permite simular el tubo de torsión frente a la complejidad de realizar una caja de torsión. El sistema de contrapesado, está diseñado con dos pesos de plomo sujetos por una varilla que permite su regulación en altura, y por tanto equilibrar el módulo. Finalmente, el tubo de vacío, se simula de nuevo con una varilla, en este caso de M4. El peso del conjunto completo del módulo SCE no supera el kilogramo.

En cuanto a la parte mecánica, los pilares montan dos rodamientos de giro. Estos rodamientos tienen un diámetro interior de 6 mm, y un diámetro exterior de 20mm. Finalmente el motor utilizado es un motorreductor que otorga un máximo de de 36 Kg·cm a 5 rpm. Tanto los rodamientos como el motor son reutilizados de otra aplicación, lo que definirá en gran parte la elección del resto de componentes de la maqueta

Descrita la maqueta, vamos a describir los sistemas electrónico-mecánicos utilizados en el demostrador, y cuáles de ellos equivalen al producto final diseñado. Es por ello que vamos a realizar una comparación de cada uno de ellos.

Volteador para contrapesados de SCE

7.1. Elementos Homólogos de la Maqueta

Debido a que los elementos seleccionados para el producto final son de un uso industrial, se hace imposible su utilización en el demostrador fabricado para este proyecto. Es por este motivo que se opta por la utilización de elementos electrónicos y mecánicos acordes al tamaño de la maqueta realizada. No obstante, se ha intentado realizar un esquema de conexión muy similar al realizado en el producto final. De este modo vamos a realizar una comparación de cada elemento utilizado pudiendo ver la similitud existente entre los dos modelos, tanto en el producto final como en la maqueta.

Para comprender de forma gráfica y sencilla cuáles son las similitudes entre el producto final y la maqueta en el apartado electro-mecánico, se muestra la siguiente imagen, donde podemos ver los dos esquemas de que componen cada sistema (Ilustración 38 Volteador con control IDS, Ilustración 39 Volteador con control Arduino).

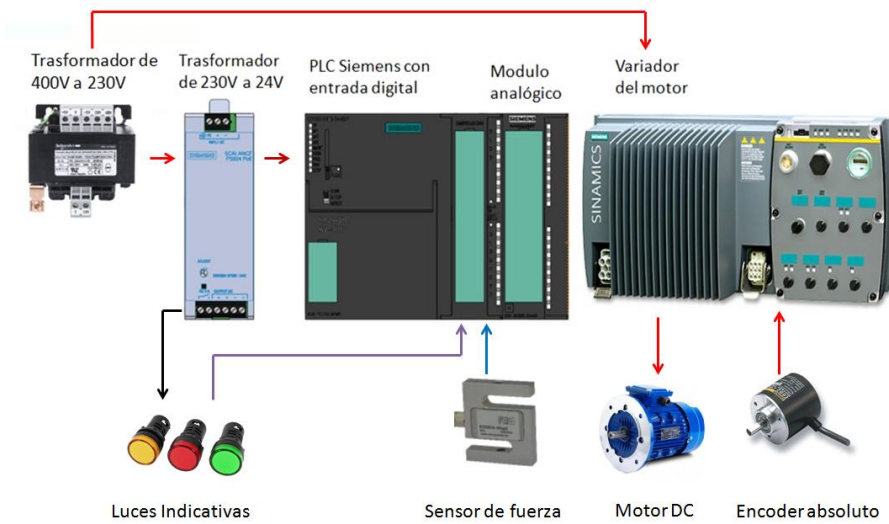


Ilustración 38 Volteador con control IDS

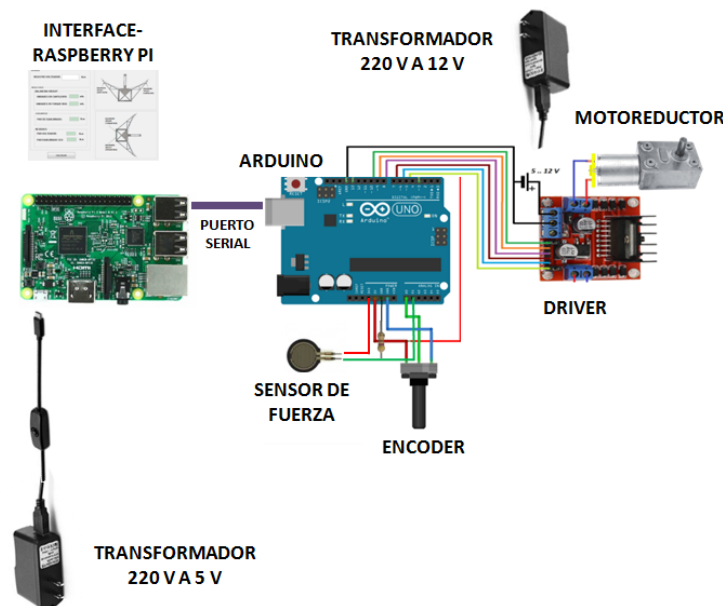
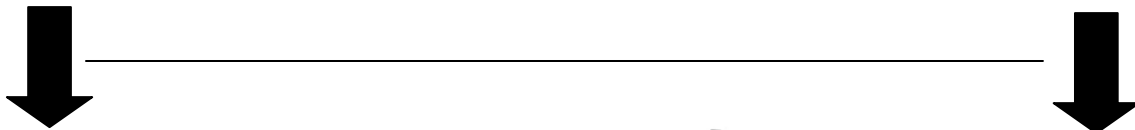


Ilustración 39 Volteador con control Arduino

Tal y como se muestra en la imagen superior, cada uno de los elementos del producto final dispone de un elemento homólogo en la maqueta. Gracias a ello con pequeñas modificaciones en la parte lógica del controlador, y tan solo adaptando el protocolo de comunicación de Profibus al protocolo puerto serie, podemos ver en funcionamiento el volteador de módulos SCE.

Así pues, analizamos las similitudes entre los elementos:

TRANSFORMADORES:

Se utilizan dos transformadores al igual que en la aplicación industrial. En este caso la transformación de voltaje se realiza con un transformadores de 220V a 12V para el motor DC. Para la alimentación del Arduino y Raspberry Pi se utiliza el propio transformador que suministra el fabricante de 220V a 5V.

CPU:

En cuanto a la CPU, se ha sustituido por una pequeña Raspberry Pi que, aunque con mucha menos potencia de procesamiento, nos permite correr la aplicación para disponer de un interface con el operador.

CONTROL LOGICO PROGRAMABLE:

El control lógico de Simatic, es sustituido por una placa microcontrolador de bajo coste como es Arduino. Al igual que el PLC SIMATIC S7 de Siemens, el Arduino debe gestionar el motor y los sensores analógicos de forma eficiente. En el caso del volteador real, todo este control es gestionado mediante el control IDS, pero en nuestro caso debemos realizar nosotros dicho control.

VARIADOR DE POTENCIA:

De igual modo que para el producto final, se debe disponer de un variador de potencia que permita tanto el cambio de giro del motor DC como regular su velocidad. En nuestro caso se opta por un driver de 25W. Una salvedad es que el variador de potencia utilizado en la maqueta no dispone de control, por lo que toda la gestión de posición velocidad y control debe realizarse desde el procesamiento del Arduino

MOTORREDUCTOR:

El motoreductor utilizado en la maqueta consiste en un motor DC acoplado a una caja de engranajes con 6 etapas. El esquema de montaje es muy similar al utilizado en el producto final, con las evidentes diferencias entre rendimiento y prestaciones.


SENSORES:

En cuanto a los sensores utilizados, se opta por un potenciómetro variable como encoder. Ciertamente existen sensores que permiten realizar una lectura de posición con mayor precisión y fiabilidad, e incluso se podría haber utilizado un motor paso a paso con el encoder integrado, facilitando mucho tanto el código final como la instalación. Pero para nuestro caso y con la filosofía de bajo coste se opta por la utilización de un potenciómetro variable debido a la selección del motor.

Finalmente, para el sensor de fuerza, se opta por un sensor tipo FSR. De igual modo que en el caso del encoder, existen sensores de fuerza que facilitarían la integración en la maqueta y el código de Arduino, pero en nuestro caso seleccionamos dos sensores de fuerza FSR, uno para la tracción y otro para compresión que han sido adaptados para poder ser utilizados como "básculas" que nos traduzcan la presión en kilogramos. En el próximo apartado describiremos su utilización.

Volteador para contrapesados de SCE

En la siguiente tabla se muestra cada elemento seleccionado y sus principales características:

VOLTEADOR CONTRAPESADOS SCE	MAQUETA PRESENTACIÓN
<u>TRANSFORMADOR</u>	<u>TRANSFORMADOR</u>
<p>Tensión nominal primario 480V ac Tensión nominal secundario 240V ac Potencia nominal 500VA</p>	<p>Tensión nominal primario 220V ac Tensión nominal secundario 5V dc Potencia nominal 1,5 VA</p>
	
<u>TRANSFORMADOR</u>	<u>TRANSFORMADOR</u>
<p>Tensión nominal primario 480V ac Tensión nominal secundario 240V ac Potencia nominal 16VA</p>	<p>Tensión nominal primario 220V ac Tensión nominal secundario 12V dc Potencia nominal 2,5VA</p>
	
<u>CPU</u>	<u>RASPBERRY 3</u>
<p>2.2 Ghz 4 Gb RAM Pantalla integrada</p>	<p>1.2 Ghz 1 Gb RAM</p>
	
<u>SIMATIC S7</u>	<u>MICROCONTROLADOR</u>
<p>1211 C Voltaje de operación 24V Pines digital. 14 Pines analógica. 2 Corriente continua por pin IO 300 mA Memoria Flash 1024 KB SRAM 6 KB EEPROM 4 KB Frecuencia de reloj 100 KHz</p>	<p>Atmega328 Voltaje de operación 5V Pines digital. 14 Pines analógica. 6 Corriente continua por pin IO 40 mA Memoria Flash 32 KB SRAM 2 KB EEPROM 1 KB Frecuencia de reloj 16 MHz</p>
	
<u>ETAPA DE POTENCIA</u>	<u>ETAPA DE POTENCIA</u>
<p>SINAMICS G120D Vmax. excitación: 400V V. lógico : 24V Imax excitación : 19A Potencia max : 4,5KW</p>	<p>Vmax. excitación: 35V V. lógico : 5V Imax excitación : 2A Potencia max : 25W</p>
	
<u>SIMOGEAR FD149</u>	<u>MOTORREDUCTOR</u>
<p>Voltaje: DC400V Velocidad: 1 rpm Par: 19000 N·m, Potencia: 4 KW, Relación de reducción: 1: 1444</p>	<p>Voltaje: DC12V Velocidad: 5 rpm Par: 36.4 kg.cm, Potencia: 10 W, Relación de reducción: 1: 972</p>
	
<u>SENSOR</u>	<u>SENSOR</u>
<p>KD9363s Rango 50Kg a 5000Kg Repetitividad 0,1% Tª Trabajo -10° a 70°C</p>	<p>FSR 0,2" Rango 100g a 10000g Repetitividad 15% Tª Trabajo -30° a 70°C</p>
	
<u>ENCODER</u>	<u>ENCODER</u>
<p>Integrado en Simogear Resolucion < 0,5°</p>	<p>Potenciometro regulable utilizado como encoder</p>
	

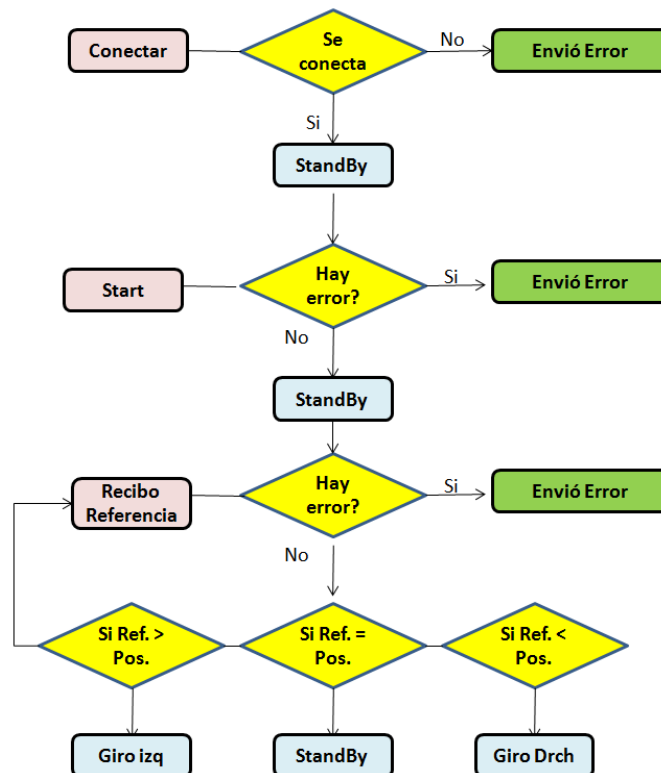
7.2. Lógica Arduino

La programación lógica compilada en la placa Arduino, realiza las mismas funciones que la lógica programada en el PLC del producto final. Pero sin duda, la programación realizada para el demostrador es mucho más sencilla, con un menor número de protocolos (códigos de fallos esencialmente) y sin muchas de las funciones de seguridad realizadas bajo Logo para el PLC. Por otra parte, en la aplicación desarrollada se han realizado pequeñas modificaciones, esencialmente en la codificación del envío de los datagramas y en la lectura de los sensores de fuerza. En el caso del producto final tan solo se dispone de un sensor que mide tracción y presión, por los dos sensores utilizados por la maqueta que solo miden presión. En cuanto el tipo de conexión del PC con el Arduino, se realiza mediante el puerto serie, por lo que no es necesario generar una red local.

A continuación se muestra la codificación utilizada para realizar la comunicación entre el Arduino y la APP que, como se ve, es mucho más sencilla que la utilizada con la comunicación del PLC.

Código	Acción
E	Referencia de posición igual -90°
O	Referencia de posición igual 90°
N	Referencia de posición igual 0°
S	Parada de motores, PWM 0
W	Referencia del PWM = 25
R	Referencia del PWM = 50
S	Referencia del PWM = 75
T	Referencia del PWM = 100
A	Envía el valor de los sensores de fuerza

Tras conocer la funcionalidad de la base de comunicación, se define el esquema lógico de funcionamiento del Arduino:



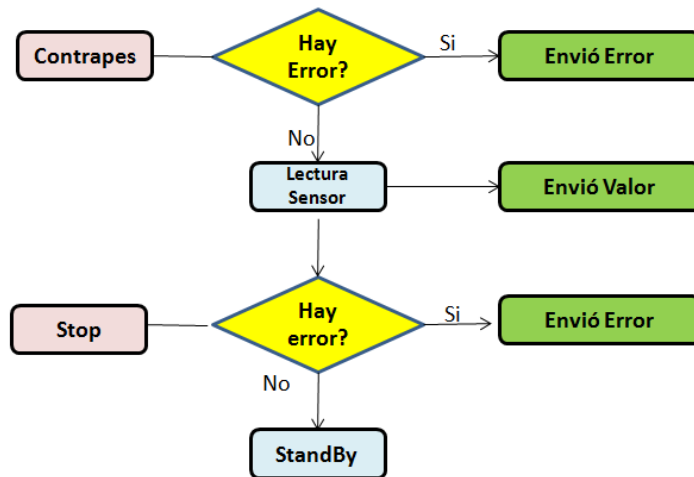


Ilustración 40 Esquema lógico Arduino

7.3. Medida de la Posición del Motor

A diferencia del sistema IDS, en el cual el sensor de posición viene integrado con la caja reductora Simogear, y gestionada por el variador, nosotros debemos acoplar un medidor de posición angular al sistema. En la maqueta se opta por unir el sensor al propio eje del modulo SCE. Es por ello que el sensor de posición se acopla al eje de giro mediante un acoplador de 6 mm. de diámetro.

Para obtener la lectura de posición angular a tiempo real del módulo SCE, en el demostrador se opta por la utilización de una resistencia variable, que por medio de un simple cálculo nos permita obtener la posición absoluta angular en cada instante de tiempo.

Un potenciómetro se puede definir como una resistencia variable, que según vayamos modificando su posición modifica el valor de voltaje leído en nuestra entrada analógica. Así pues, cuando el potenciómetro esté en uno de sus extremos obtendremos como lectura el máximo voltaje aplicado al potenciómetro. Por el contrario, si lo tenemos en el extremo opuesto, obtendremos una lectura de 0 voltios. Como el potenciómetro utilizado tiene un comportamiento lineal, en una posición intermedia obtendremos una lectura proporcional a la fracción del voltaje de entrada en función de la posición en la que se encuentre. Se forma así un divisor de tensión que, convenientemente conectado al eje del motor, permite determinar la posición del mismo.

En la actualidad existen diversos tipos de potenciómetros en función de su comportamiento. Los más comunes en el mercado son de variación lineal (la resistencia es directamente proporcional al ángulo de giro) y de variación logarítmica (la resistencia depende logarítmicamente del ángulo de giro).



Ilustración 41 Potenciómetros

En nuestro caso, por sencillez y coste se utiliza un potenciómetro lineal. Más concretamente utilizaremos un potenciómetro de 10 k Ω .

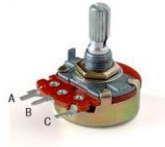


Ilustración 42 Potenciómetro 10 k Ω .

Debe tenerse en cuenta que habitualmente los potenciómetros no giran 360°, sino que tan solo disponen de un giro de unos 220°. Para nuestro caso no es problema debido a que el demostrador debe permitir un rango de giro de 200°. De este modo la selección de este tipo de potenciómetro como encoder absoluto es factible para nuestra maqueta.

7.3.1. CONEXIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL POTENCIÓMETRO:

La placa utilizada en el proyecto es una Arduino UNO, que dispone de un total de 6 pines analógicos numerados desde A0 hasta A5. El uso común de las entradas analógicas es la lectura de datos de dispositivos. Las entradas analógicas de la placa Arduino tienen una resolución de 10 bits, por lo que implica que se dispone de un total de 1024 valores diferentes de lectura. Disponer de una escala de lectura de 1024 valores quiere decir que la placa Arduino puede detectar variaciones de un rango de tensiones desde 0V hasta 5V (voltaje de alimentación) detectando variaciones de voltaje de 0.004V (5/1024). Al tratarse de un potenciómetro lineal, podemos asegurar que, cuando nos encontremos con el potenciómetro en su resistencia mínima, llevará a la entrada analógica una tensión de 5 V y, por tanto, obtendremos una lectura de 1023; en caso contrario, cuando el potenciómetro se encuentra en su resistencia máxima, la tensión detectada a la entrada es de 0 V, que se hace corresponder a un valor de 0.

Sin embargo, tal y como hemos mencionado, nuestra aplicación necesita obtener una lectura angular, por lo que debemos transformar los valores leídos en la entrada analógica a grados de posición angular. Es por ello que se hace necesario utilizar la función de mapeado propia de lenguaje del Arduino. Esta función nos permite realizar una equivalencia directa (una regla de tres) de forma sencilla. La conversión que debemos realizar es sencilla, pues sabemos que el máximo ángulo que gira el potenciómetro es 220°, y que la máxima lectura obtenida es de 1023 bits. Al tener un comportamiento lineal, nos encontramos que 0° corresponden que una lectura de 0 divisiones, y los 220° corresponden con 1023. Quedando del siguiente modo el código:

$$pos_grados = map(lecturaanalogica, 0, 220, 0, 1023);$$

La función pre-programada de Arduino almacenara directamente en la variable *pos_grados* la posición absoluta del potenciómetro. De este modo la maqueta dispone de un encoder absoluto que permite conocer la posición absoluta en cualquier momento de giro.

El esquema de conexión del potenciómetro a la placa Arduino se realiza de forma directa. A través de la salida de 5V de la propia placa se alimenta el sensor. La tensión obtenida del potenciómetro debe conectarse a la entrada analógica de la placa para poder procesar los valores. El conexionado final queda según el siguiente esquema:

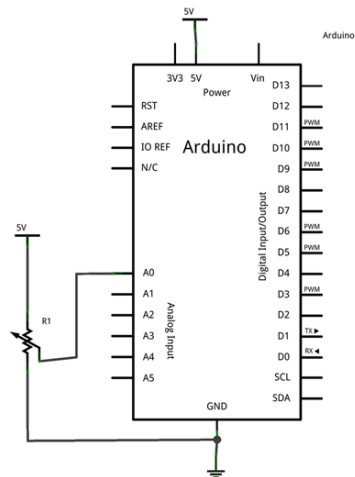


Ilustración 43 Esquema conexión potenciómetro

7.4. Funcionamiento del Sensor de Fuerza

Con la filosofía de realizar una maqueta de bajo coste, no se opta por la utilización de un sensor de fuerza al uso. El coste de estos sensores puede oscilar en los 15€ por lo que se opta por la utilización de un sensor de bajo coste (0,80€). Sin duda esta decisión perjudica tanto a la ejecución del software, debido a que es mucho más complejo de tratar a nivel de código, como a la precisión de la medición. Sin embargo, la idea de realizar una maqueta no es alcanzar un equilibrado preciso, sino disponer de un demostrador que permita comprobar la utilización de la aplicación, y poder entender la funcionalidad del producto final, que sí es 100% funcional, preciso y acorde a las necesidades exigidas.

El sensor de fuerza o FSR es un sensor muy utilizado para los proyectos en Arduino siendo suministrados en los propios kit de iniciación. Su principal utilización es como detector de un contacto, o lo que es lo mismo, una diferencia de presión sobre la membrana del sensor. Pero su uso no es recomendado como sensor de fuerza, ya que la precisión y la linealidad del sensor no son apropiadas para ello.

El funcionamiento básico del sensor es mediante una membrana que, al detectar una flexión, y por tanto una deformación, cambia la resistencia interna del sensor. Básicamente se trata de una membrana piezoeléctrica. El sensor está fabricado mediante 2 capas separadas por un espaciador, al detectar una presión se activan más puntos del elemento activo del semiconductor disminuyendo su resistencia. Según los datos del fabricante cuando el sensor esta en reposo (no es presionado) su resistencia es de aproximadamente 20 MΩ. Aunque tras realizar varias mediciones este valor puede bajar a los 18 MΩ. Así pues, en función de la presión que se ejerza sobre la membrana el sensor modifica su resistencia. A través de nuestra entrada analógica de Arduino podremos obtener una lectura de la variación del voltaje de entrada, y por tanto podremos ponderar los valores obtenidos a un equivalente de fuerza

Las ventajas de utilizar un sensor FSR es sin duda su bajo coste. Además, este tipo de sensor tiene unos terminales de dos puntas que se pueden soldar cómodamente e integrar en nuestra placa de Arduino. Otra de las ventajas que tiene este tipo de sensores es su bajo consumo ya que utiliza menos de 1 mA de corriente, pudiendo usar cualquier tipo de fuente. En resumen, con este dispositivo podemos medir una fuerza proporcional a la presión generada sobre el sensor a un bajo coste. Por el contrario, tiene una serie de desventajas, principalmente asociadas a la

precisión de la medición. Es por ello que a la hora de realizar el equilibrado del módulo SCE en la maqueta, solo debemos esperar un "rango" de respuesta, y no una alta precisión de equilibrado.

Tal y como ya hemos dicho, el sensor cambia su resistencia con respecto a la presión ejercida sobre la membrana. Cuando no existe presión sobre el sensor, consideramos a esta como una resistencia infinita, circuito abierto. Sin embargo, al ejercer presión sobre las membranas estas modifican su conductividad y disminuye la resistencia. De las hojas de características del sensor podemos obtener el grafico que indica aproximadamente la variación de la resistencia respecto a la fuerza ejercida sobre el sensor.

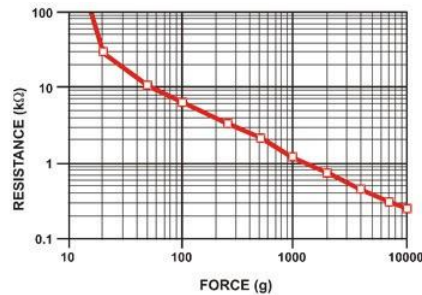


Ilustración 44 Grafica Resistencia vs. Fuerza

Por otro lado, cabe mencionar que la Ilustración 44 Grafica Resistencia vs. Fuerza, es una grafica logarítmica en ambos ejes, por lo que, aunque parezca que tiene la apariencia de una recta, el dispositivo no se comporta como tal. Por ese motivo, se han realizado diversas pruebas para obtener el tarado del sensor. Los datos obtenidos se muestran a continuación en una tabla con valores tomados.

Fuerza (N)	Resistencia Sensor	Voltaje proporcionado por el sensor
Ninguno	Infinito	0V
5 N	30 KΩ	1,3 V
10 N	6 KΩ	3,1 V
15 N	1 KΩ	4,5 V
20 N	250 Ω	5 V

Tras realizar las diferentes pruebas, podemos concluir que, aunque el sensor no disponga de un comportamiento lineal en el rango completo de medidas, en el rango de medidas analizado tiene un comportamiento "bastante lineal". Es por ello que trataremos los datos obtenidos como lineales.

El esquema utilizado para el conexionado del sensor FSR es sencillo. Se conecta una de las patillas del sensor al voltaje de 5V de nuestra placa de Arduino y, para cerrar el circuito, se conecta en el otro pin una resistencia *pull-down* a tierra. Finalmente, y para poder medir la variación de resistencia del sensor, se conecta una de las entradas analógicas de la placa Arduino entre la resistencia *pull-down* y la variable del FRS. En la Ilustración 45 Esquema de conexión sensor FSR, se muestra el esquema de conexionado utilizado.

Volteador para contrapesados de SCE

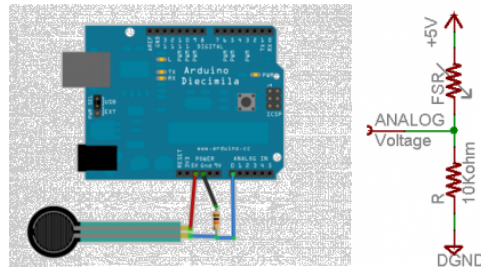


Ilustración 45 Esquema de conexión sensor FSR

El tipo de conexionado *pull-down* funciona del siguiente modo. A medida que la resistencia del FSR disminuye, la resistencia total del sensor y la resistencia *pull-down* disminuye desde 100k ohmios a 10K ohmios. Esto significa que la corriente que pasa a través de ambas resistencias aumenta, lo que a su vez provoca que el voltaje de la resistencia de 10K aumente.

Para obtener los valores de la tabla superior, y con la lectura del voltaje analógico leído en la placa de Arduino (bajo una aproximación, debido a la baja repetitividad del sensor) se pueden obtener los valores de resistencia del sensor FSR con la siguiente ecuación:

$$V_o = V_{cc} \cdot (R / (R + FSR)) \quad (7.1)$$

donde:

- V_o : Voltaje leído en la entrada analógica del Arduino
- V_{cc} : Voltaje de alimentación del sensor FSR
- R : Resistencia *pull-down*
- FSR : Resistencia interna del sensor FSR

Como hemos mencionado, podemos considerar el sensor FSR como lineal en el rango de medidas de trabajo. Así pues, haciendo esta aproximación se puede usar la función de mapeado al igual que en sensor de posición. Donde el rango de trabajo corresponde con 0 bits a 0 gr y 1023 con 2000 gr. Quedando del siguiente modo la función:

$$outputComp = map(CompValue, 0, 1023, 0, 2000);$$

La función pre-programada de Arduino almacenará directamente en la variable *outputComp* el valor de fuerza leído del sensor FSR.

7.5. Funcionamiento del Driver del Motor

Para poder controlar el motor DC se opta por la utilización de un controlador de motor de igual modo que en el producto final. Este controlador debe permitir el cambio de sentido de giro, así como controlar la velocidad de giro.

La utilización de un motor de corriente continua tiene la ventaja de tener un precio más contenido que un motor paso a paso o de inducción. Por ese motivo, la utilización de un driver que controle los motores de continua se está extendiendo. Para la realización de la maqueta se opta por un controlador L298N Motor Driver. Este controlador es muy utilizado con las placas de Arduino, por su bajo precio (8€) y su versatilidad. Este tipo de controlador permite controlar

Volteador para contrapesados de SCE

dos motores de corriente continua o un motor paso a paso bipolar de hasta 2 A. Para el caso que nos aplica, vamos a ver su funcionalidad y conexionado.

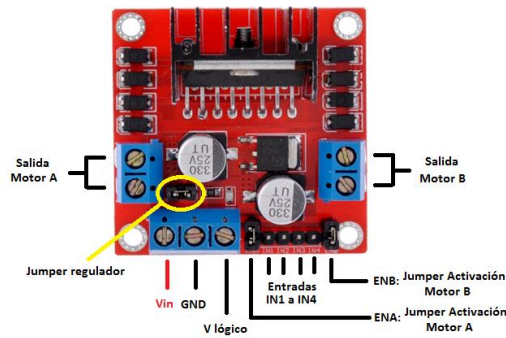


Ilustración 46 Driver L298N

El controlador L298N es un módulo integrado que dispone de todos los componentes necesarios para hacer funcionar, sin necesidad de elementos adicionales, a dos motores. El módulo integra entre otros elementos dos diodos de protección y un regulador LM7805 que suministra 5V a la parte lógica del integrado L298N. Adicionalmente dispone de jumpers de selección para habilitar cada una de las salidas de los dos motores que controla el módulo (A y B). La salida del motor A está conformada por OUT1 y OUT2, al igual que la salida del motor B por OUT3 y OUT4. Los pines que habilitan la utilización de los módulos para los motores son ENA y ENB respectivamente.

En cuanto a la alimentación del dispositivo, cuenta con una entrada para la tensión **Vin**. Esta admite tensiones entre 3V y 35V, y justo a la derecha de la entrada de tensión se ubica la conexión a tierra o GND. Por último, se encuentra la tercera conexión de la regleta que corresponde con la alimentación del voltaje lógico. Esta puede funcionar de dos maneras.

- Si el jumper de regulación (justo encima de la regleta de alimentación) está cerrado, debemos de alimentar el módulo con una tensión V_{in} inferior a 12V. De este modo activamos el regulador de tensión L298N y dispondremos de una salida de voltaje lógico de 5V para lo que necesitemos.
- En caso contrario, si alimentamos con tensiones superiores a 12 V, el jumper de regulación debe estar abierto, y perderemos la alimentación lógica del regulador, por lo que deberemos alimentar a este con 5V.

Los pines de control para los motores A y B corresponden con los pines IN1 al IN4. Los pines IN1 y IN2 corresponden al motor A, su funcionamiento es tal que si IN1 está activo (HIGH) e IN2 inactivo (LOW) el motor gira en un sentido, sin embargo, si se invierte su estado (IN1, LOW; IN2, HIGH) se invierte también el sentido de giro del motor. De igual modo sucede para el motor B con los pines IN3 y IN4. Este funcionamiento responde al esquema de funcionamiento de un puente en H como el mostrado en la figura.

Volteador para contrapesados de SCE

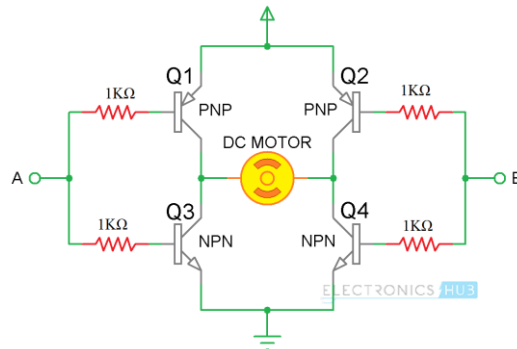


Ilustración 47 Puente en H

Finalmente, y en caso de querer controlar la velocidad de giro, debemos utilizar los jumpers ENA y ENB respectivamente para los motores A y B. Para controlar la velocidad debemos generar una señal PWM en nuestro controlador de forma que la tensión promedio aplicada regula la velocidad de giro del motor. Recordemos que un PWM se expresa generalmente en porcentaje y la siguiente figura representa diferentes señales de PWM de una alimentación de 12V con diferentes ciclos de trabajo de 0%, 25%, 50%, 75% y 100% respectivamente.

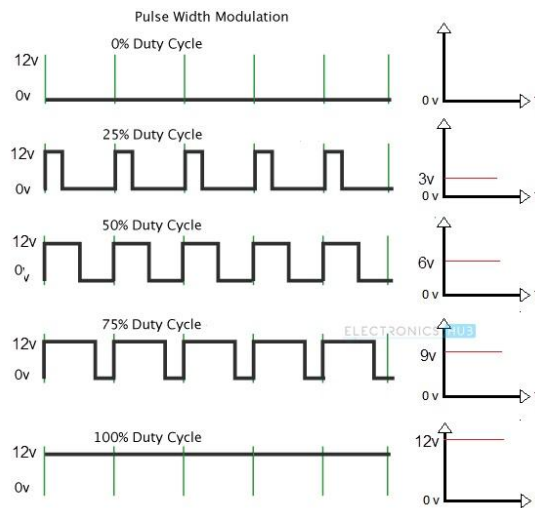


Ilustración 48 Señales PWM

A continuación mostramos el esquema de conexionado del módulo y el motor DC utilizado en el demostrador.

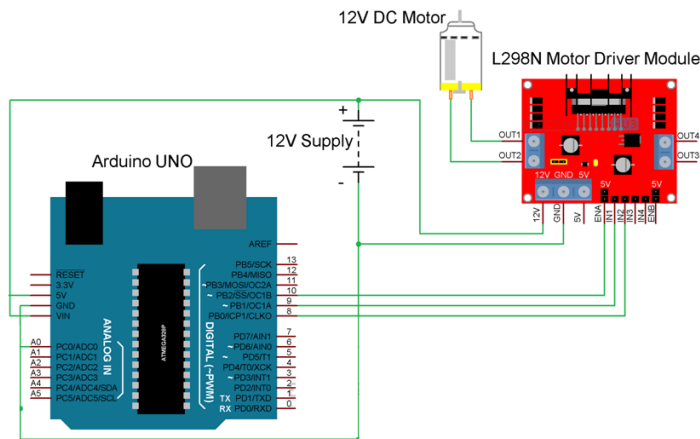


Ilustración 49 Conexionado L298N Motor Drive

Volteador para contrapesados de SCE

Los pines 8 y 9 del Arduino están conectados a las entradas del puente en H del módulo y controlan el sentido de giro del motor, mientras que el pin 10 del Arduino es el encargado de generar el PWM que controla la velocidad de giro del motor.

8. CONCLUSIONES

Tras realizar el diseño y la producción del volteador descrito en este proyecto se enumeran las diferentes conclusiones:

1. El producto final diseñado para voltear y contrapesar los colectores permite a la empresa **ImEnergy** disponer de un producto flexible y adaptable a los diferentes módulos SCE existentes en el mercado.
2. La integración del volteador en el puente grúa, permite disponer de diseños de naves de ensamblado más reducidos, ya que se elimina una estación de ensamblado.
3. Al seleccionar un motorreductor que permite voltear y retirar los módulos SCE de las plantillas de ensamblado, se reducen los tiempos de parada de línea debidos a los posibles errores en el suministro de la estructura.
4. La creación de una aplicación, facilita el control de del volteador, pudiendo ser utilizada por cualquier usuario, sin tener ningún conocimiento previo.
5. La aplicación generada permite almacenar los valores de contrapesado de cada colector, facilitando las labores de calidad y trazabilidad, y por tanto aumentando los beneficios de la empresa.
6. Al integrar en el producto final el sistema IDS de Siemens, se dispone de un producto fácilmente modulable con las ventajas que ello con lleva.

A continuación se muestran diversas imágenes del primer prototipo instalado del volteador con resultados satisfactorios, siendo validado y aprobado para la integración en las líneas diseñadas por **ImEnergy**



8.1. Posibles mejoras

Con el objetivo de continuar con la evolución y mejora de las líneas de ensamblaje para alcanzar siempre un objetivo de reducción de tiempo ciclo, y por tanto de coste, se proponen las siguientes mejoras sobre el producto diseñado:

1. En caso de que la estructura del modulo SCE disponga de contrapesos de hormigón, se puede diseñar un sistema automático que ubique los contrapesos mediante algún sistema de elevación. De este modo se podría reducir los tiempo ciclo al no colocar los contrapesos manualmente.
2. La aplicación generada puede ser ampliada de modo que gestione toda la trazabilidad del colector. Mediante un sistema de lectura de códigos de barra, se podría identificar cada elemento ensamblado en los módulos SCE y añadirlos a la base de datos. De este modo se facilitaría los trabajos de trazabilidad.

3. El sistema de unión, del volteador al "*Universal traverse*", mediante 4 tornillos puede generar problemas por roturas de las roscas. Se podría diseñar un sistema de unión que minimice estas roturas

9. ANEXOS

9.1. Código:

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////CODIGO QT CREATOR////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

```
#ifndef MAINWINDOW_H  
#define MAINWINDOW_H  
  
#include <QMainWindow>  
#include <QSerialPort>  
  
namespace Ui {  
class MainWindow;  
}  
  
class MainWindow : public QMainWindow  
{  
    Q_OBJECT  
  
public:  
    explicit MainWindow(QWidget *parent = 0);  
    ~MainWindow();  
  
public slots:  
    // para leer un byte desde arduino  
    void leerarduino();  
    void escribirarduino(int value);  
  
private slots:  
    void on_q_Conectar_pushButton_clicked();  
  
    void on_q_Start_pushButton_clicked();  
  
    void on_pushButton_clicked();  
  
    void on_pushButton_2_clicked();  
  
    void on_pushButton_3_clicked();  
  
    void on_pushButton_4_clicked();  
  
    void on_verticalScrollBar_valueChanged(int value);  
  
    void on_spinBox_valueChanged(int arg1);  
  
    void on_pushButton_5_clicked();  
  
private:  
    Ui::MainWindow *ui;  
  
};  
  
#endif // MAINWINDOW_H
```

```
#include "MainWindow.h"
#include "ui_MainWindow.h"
#include <QMessageBox>
#include <QSerialPort>
#include <QSerialPortInfo>
#include <QDebug>

#include <QLCDNumber>
#include <QString>

#include <dialog.h>

QSerialPort *arduino; // crea el apuntador de tipo QserialPort para luego
crear el objeto
char stateport = 0; // identifica si está activo o no la comunicación, como
si se desea cerrar.
QString nameport = "COM13"; // nombre del "puerto" serial para

// prototipo de función independiente para escalar un número entero.
int scaleint(int, int, int, int, int);

int anterior=0;
int referencia=500;
int compara=25;

MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) :
    QMainWindow(parent),
    ui(new Ui::MainWindow)
{
    ui->setupUi(this);

    ui->Stop_Led->setEnabled(true);
    ui->conectar_Led->setEnabled(false);
    ui->Funcionanado_Led_2->setEnabled(false);
    ui->q_Start_pushButton->setEnabled(false);
    ui->girodch->setEnabled(false);
    ui->giroizq->setEnabled(false);
    ui->enpos->setEnabled(false);
}

MainWindow::~MainWindow()
{
    arduino->close();
    arduino->destroyed();
    delete ui;
}

// Acción que se ejecuta al dar click en el boton de open port.
void MainWindow::on_q_Conectar_pushButton_clicked()
{
    if(stateport==0)
    {
        arduino = new QSerialPort(this); // se crea un objeto de tipo puerto
serial en está ventana
        arduino->setPortName(nameport); // se le asigna le nombre del puerto
        arduino->open(QIODevice::ReadWrite); // abre la comunicación en modo
lectura y escritura
    }
}
```

Volteador para contrapesados de SCE

```
if( arduino->isOpen()==false)
{
    arduino->clearError();
    //Qmessagebox emite un mensaje en una caja aparte a la ventana actual
    en modo de alerta.
    QMessageBox::warning(this, "Error en puerto", "Puerto: "+nameport);
    arduino->close();
    stateport = 1;
}
else
{
    //Qmessagebox emite un mensaje en una caja aparte a la ventana actual
    en modo de notificación.
    QMessageBox::information(this, "Puerto abierto", "Nombre de puerto!:
"+nameport);
    ui->conectar_Led->setEnabled(true);
    ui->q_Start_pushButton->setEnabled(true);

    // Configuraciones para la comunicación serie según sea el caso.
    arduino->setBaudRate(QSerialPort::Baud115200);
    arduino->setStopBits(QSerialPort::OneStop);
    arduino->setParity(QSerialPort::NoParity);
    arduino->setDataBits(QSerialPort::Data8);
    arduino->setFlowControl(QSerialPort::NoFlowControl);
    stateport = 2;
}
}
else if( stateport==1 )
{ stateport = 0; }
else if( stateport==2 )
{

    //Qmessagebox emite un mensaje en una caja aparte a la ventana actual en
    modo de notificación.
    QMessageBox::warning(this, "Puerto cerrado", "Nombre de puerto!:
"+nameport);
    ui->conectar_Led->setEnabled(false);
    ui->q_Start_pushButton->setEnabled(false);
    ui->Funcionanado_Led_2->setEnabled(false);
    arduino->close();
    arduino->destroyed();
    referencia=500;
    stateport = 0;
}
}

// Acción que se ejecuta al dar click en el botón StartStop que dala orden al
arduino para inicial.
void MainWindow::on_q_Start_pushButton_clicked()
{
    //Qmessagebox emite un mensaje en una caja aparte a la ventana actual en
    modo de notificación.
    QMessageBox::information(this, "Star & Stop", "Enable or Disable Program
Arduino");
    arduino->write("\r",1);
    connect(arduino,SIGNAL(readyRead()),this,SLOT(leerarduino()));
    ui->Stop_Led->setEnabled(false);
    ui->Funcionanado_Led_2->setEnabled(true);
}
}
```



```
// Lee un Byte desde el arduino
void MainWindow::leerarduino()
{
    ui->spinBox_2->setValue(referencia);
    QByteArray inputbyte = arduino->readAll(); // lee y guarda el byte escrito
    desde arduino
    int value = *inputbyte;
    if(*inputbyte<0){
        value = 255 + *inputbyte;
    }
    if(value>111){
        value=value-255;
    }

    //ui->lcdanalog1->display(value);
    ui->spinBox->setValue(value);
    //ui->lcdanalog1->display(scaleint(value,-110,110,-110,110));
    arduino->clear(QSerialPort::AllDirections);

    compara=referencia-value;
    if(-3 < compara && compara < 3){
        ui->enpos->setEnabled(true);
        ui->girodch->setEnabled(false);
        ui->giroizq->setEnabled(false);
    }
}

void MainWindow::escribirarduino(int value)
{
    switch( value )
    {
        case 1:
            arduino->write("N"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
            break ;
        case 2:
            arduino->write("E"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
            break ;
        case 3:
            arduino->write("O"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
            break ;
        case 4:
            arduino->write("S"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
            break ;
        case 5:
            arduino->write("W"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
            break ;
        case 6:
            arduino->write("R"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
            break ;
        case 7:
            arduino->write("S"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
            break ;
        case 8:
```

Volteador para contrapesados de SCE

```
        arduino->write("T"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
        break ;
    }

    /*if(value==1){
        arduino->write("E"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
    }
    if(value==2){
        arduino->write("O"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
    }
    if(value==3){
        arduino->write("N"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
    }
    if(value==4){
        arduino->write("S"); // Mira la documentación para ver el tipo de
datos
    }
    */

    /*QByteArray outbyte;
    char x = (char)value;
    outbyte.append(x); //agrega el carácter al arreglo outbyte
    //QDebug() <<"r: " <<outbyte.data();
    arduino->write(outbyte);
    */
}
// Función general que permite escalar un valor
// con escalas de inicio y final totalmente asimétricas
int scaleint(int input, int refmini, int refmaxi, int refminf, int refmaxf)
{
    int output=0;
    output = ((input*(refmaxf - refminf))/(refmaxi - refmini)) + refminf;
    return output;
}

void MainWindow::on_pushButton_clicked()
{
    escribirarduino(1);
    referencia=90;
    ui->Stop_Led->setEnabled(false);
}

void MainWindow::on_pushButton_2_clicked()
{
    escribirarduino(2);
    referencia=-90;
    ui->Stop_Led->setEnabled(false);
}

void MainWindow::on_pushButton_3_clicked()
{
    escribirarduino(3);
    referencia=0;
    ui->Stop_Led->setEnabled(false);
}

void MainWindow::on_pushButton_4_clicked()
{
    escribirarduino(4);
}
```

```
    ui->Stop_Led->setEnabled(true);
    ui->girodch->setEnabled(false);
    ui->giroizq->setEnabled(false);
    ui->enpos->setEnabled(false);
}

void MainWindow::on_verticalScrollBar_valueChanged(int value)
{
    int valuenegativo=25;
    valuenegativo=-value;
    ui->lcdanalog2->display(valuenegativo);
    ui->progressBar->setValue(valuenegativo);

    switch( valuenegativo )
    {
    case 25:
        escribirarduino(5);
        break ;
    case 50:
        escribirarduino(6);
        break ;
    case 75:
        escribirarduino(7);
        break ;
    case 100:
        escribirarduino(8);
        break ;
    }
}

void MainWindow::on_spinBox_valueChanged(int arg1)
{
    if(anterior>arg1){
        ui->girodch->setEnabled(true);
        ui->giroizq->setEnabled(false);
        ui->enpos->setEnabled(false);
    }
    if(anterior<arg1){
        ui->girodch->setEnabled(false);
        ui->giroizq->setEnabled(true);
        ui->enpos->setEnabled(false);
    }
    anterior=arg1;
}

void MainWindow::on_pushButton_5_clicked()
{
    Dialog*MainWindow= new Dialog(this); //new crea el objeto como tal en el
    puntero, el this es para decirle que Widget es el principal
    MainWindow->show();
}
```

Volteador para contrapesados de SCE

```
////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////CODIGO ARDUINO////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////
```

```
// PIN USADOS
```

```
const int analogInPot = A0; // Entrada analogica encoder  
int PotValue = 0; // Valor leido del sensor potencio metro  
int outputPot = 0; // value output to the PWM (analog out)
```

```
const int analogInTrac = A1; // Entrada analogica encoder  
int TracValue = 0; // Valor leido del sensor potencio metro  
int outputTrac = 0; // value output to the PWM (analog out)
```

```
const int analogInComp = A2; // Entrada analogica encoder  
int CompValue = 0; // Valor leido del sensor potencio metro  
int outputComp = 0; // value output to the PWM (analog out)
```

```
int IN1 = 5; // IN1 Driver conectado al pin 5 Arduino  
int IN2 = 4; // IN2 Driver conectado al pin 4 Arduino  
int ENBA = 3 ; //ENBA Driver Conectado al pin 3 Arduino  
int PWM = 55 ; //Valor PWM 55 / 105 / 255
```

```
int modo=0;  
int mov=0;  
int ref=0;
```

```
void setup() {  
// initialize serial communications at 9600 bps:  
Serial.begin(115200);
```

```
pinMode(analogInPot,INPUT);  
pinMode(IN1, OUTPUT);  
pinMode(IN2, OUTPUT);  
pinMode (ENBA, OUTPUT);
```

```
delay(150);  
}
```

```
void loop() {
```

```
switch (modo) {
```

```
case 0:  
paradaMotor();  
break;
```

```
case 1:  
PotValue = analogRead(analogInPot); // Lectura del sensor encoder  
outputPot = map(PotValue, 0, 1023, -110, 110); // Mapeo del sensor para lectura de valores  
  
mov=ref-outputPot;
```

```
if(mov>2){giroDerecha();}
if(mov<-2){giroIzquierda();}
if(mov<2 && mov>-2){paradaMotor();}

Serial.write(outputPot);
Serial.flush();

ref=outputPot;

break;

case 2:
paradaMotor();

TracValue = analogRead(analogInTrac); // Lectura del sensor encoder
outputTrac = map(TracValue, 0, 1023, 0, 2000); // Mapeo del sensor para lectura de valores

Serial.write(outputTrac);
Serial.flush();

break;

case 3:
paradaMotor();

CompValue = analogRead(analogInComp); // Lectura del sensor encoder
outputComp = map(CompValue, 0, 1023, 0, 2000); // Mapeo del sensor para lectura de
valores

Serial.write(outputTrac);
Serial.flush();

break;
}

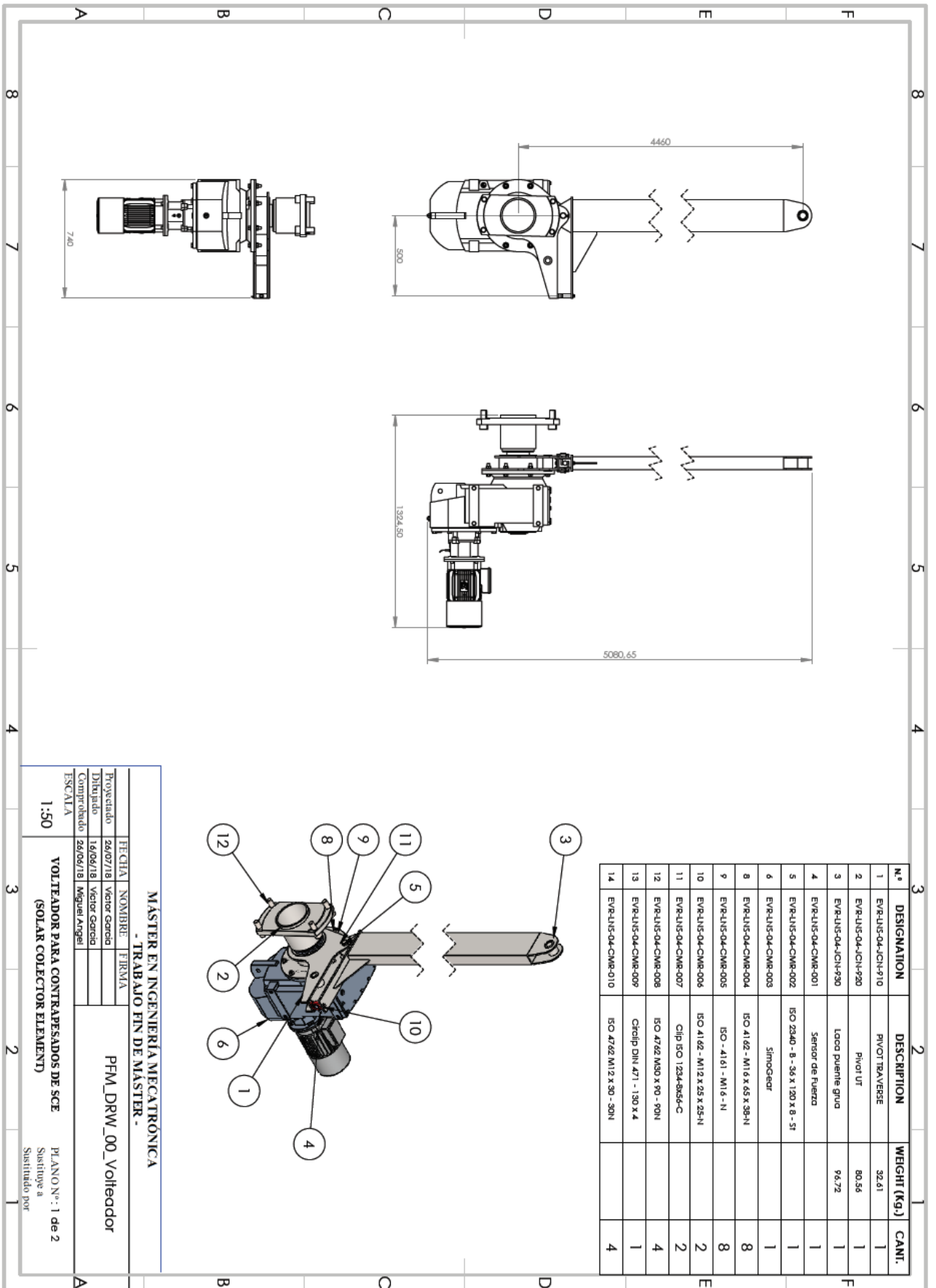
delay(200);
}

void giroDerecha(){
digitalWrite(IN1, HIGH);
digitalWrite(IN2, LOW);
analogWrite(ENBA,PWM);
}
void giroIzquierda(){
digitalWrite(IN1, HIGH);
digitalWrite(IN2, LOW);
analogWrite(ENBA,PWM);
}
void paradaMotor(){
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, LOW);
```

Volteador para contrapesados de SCE

```
}  
  
void serialEvent()  
{  
  if (Serial.available()) { //Si está disponible  
    char c = Serial.read(); //Guardamos la lectura en una variable char  
  
    if (c == 'E') { modo = 1; ref = -90;}  
    if (c == 'O') { modo = 1; ref = 90;}  
    if (c == 'N') { modo = 1; ref = 0;}  
    if (c == 'S') { modo = 0;}  
    if (c == 'W') { PWM = 65;}  
    if (c == 'R') { PWM = 130;}  
    if (c == 'S') { PWM = 175;}  
    if (c == 'T') { PWM = 252;}  
    if (c == 'A') { modo = 2;}  
    if (c == 'B') { modo = 3;}  
  
  }  
}
```

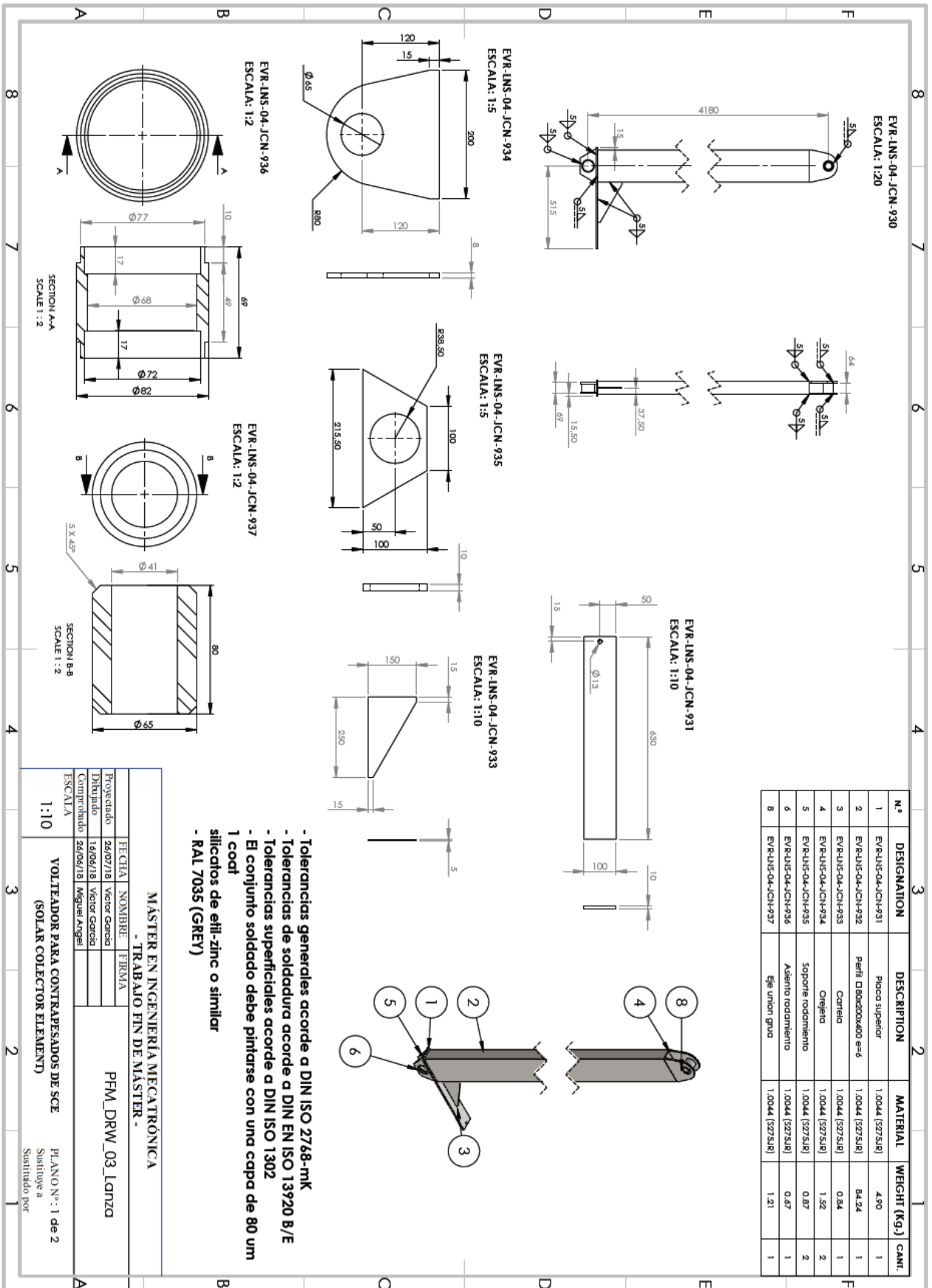
9.2. Planos mecánicos

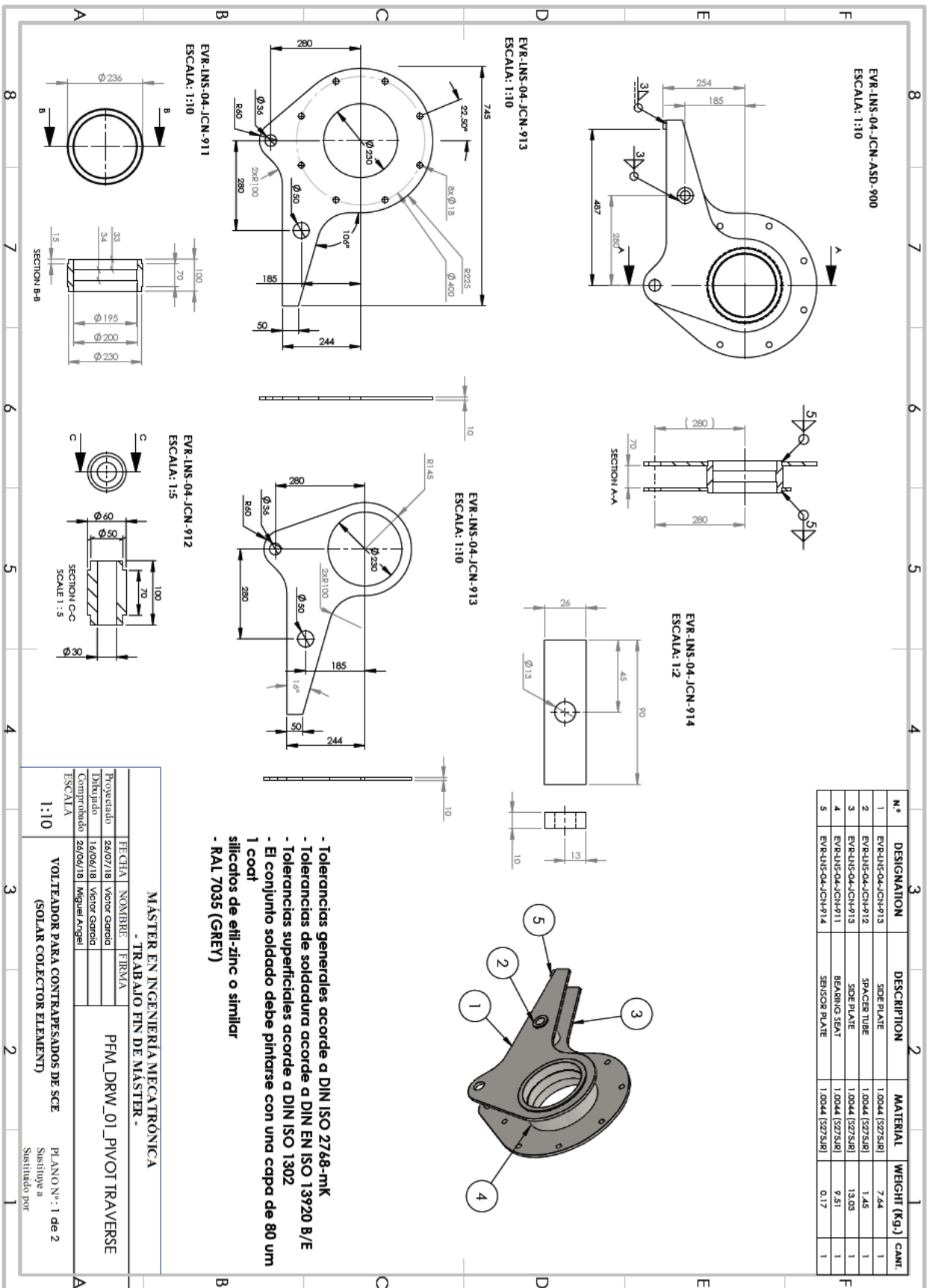


FECHA	NOMBRE	FIRMA
Proyectado 26/07/18	Victor Garcia	
Dibujado 16/06/18	Victor Garcia	
Comprado 26/06/18	Miguel Angel	

MASTER EN INGENIERIA MECATRONICA
- TRABAJO FIN DE MASTER -
PFM_DRW_00_Volteador
VOLTEADOR PARA CONTRAPESADOS DE SCE
(SOLAR COLECTOR ELEMENT)
 ESCALA 1:50
 PLANONº: 1 de 2
 Sustituye a
 Sustituido por

Volteador para contrapesados de SCE

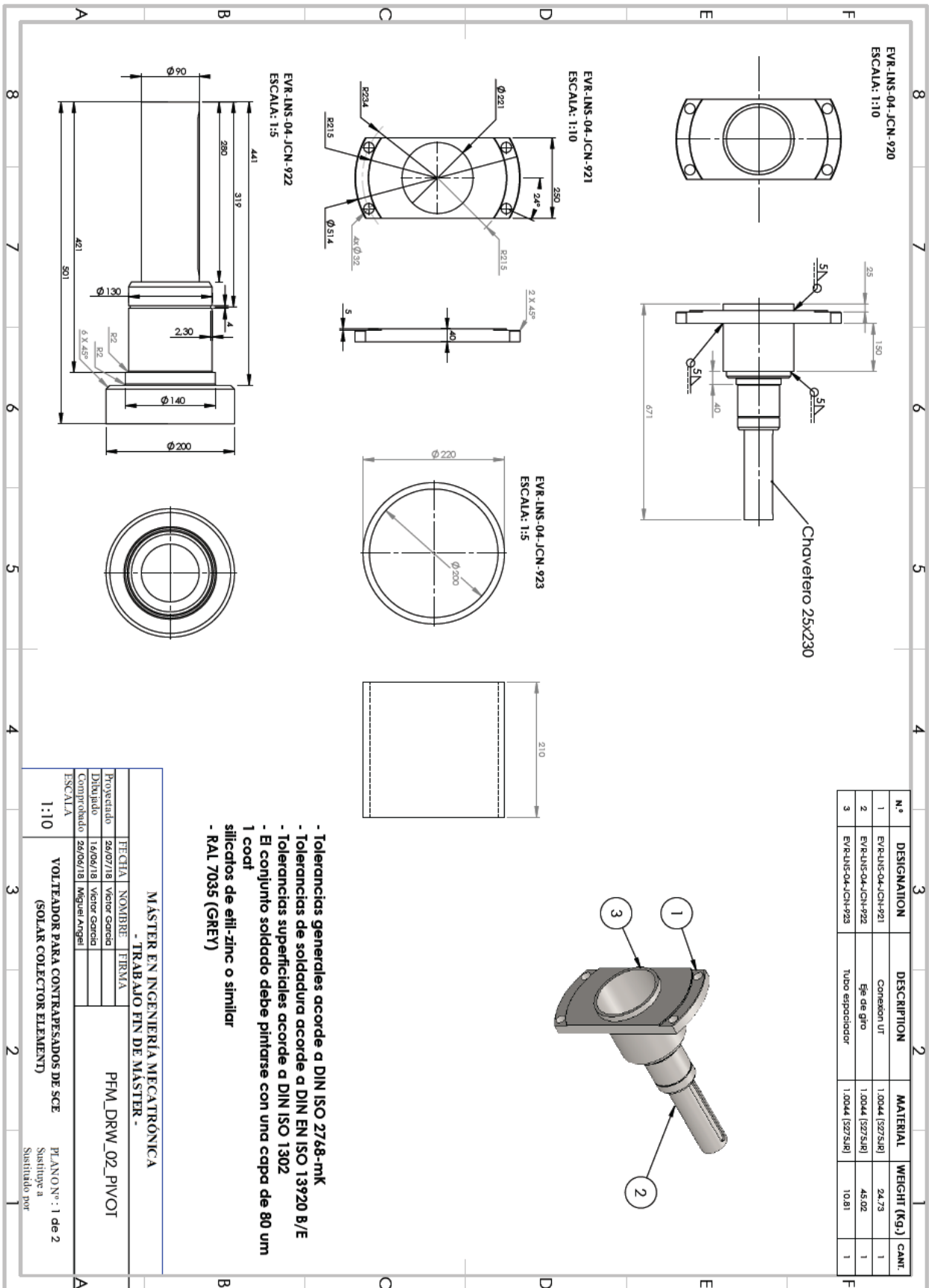




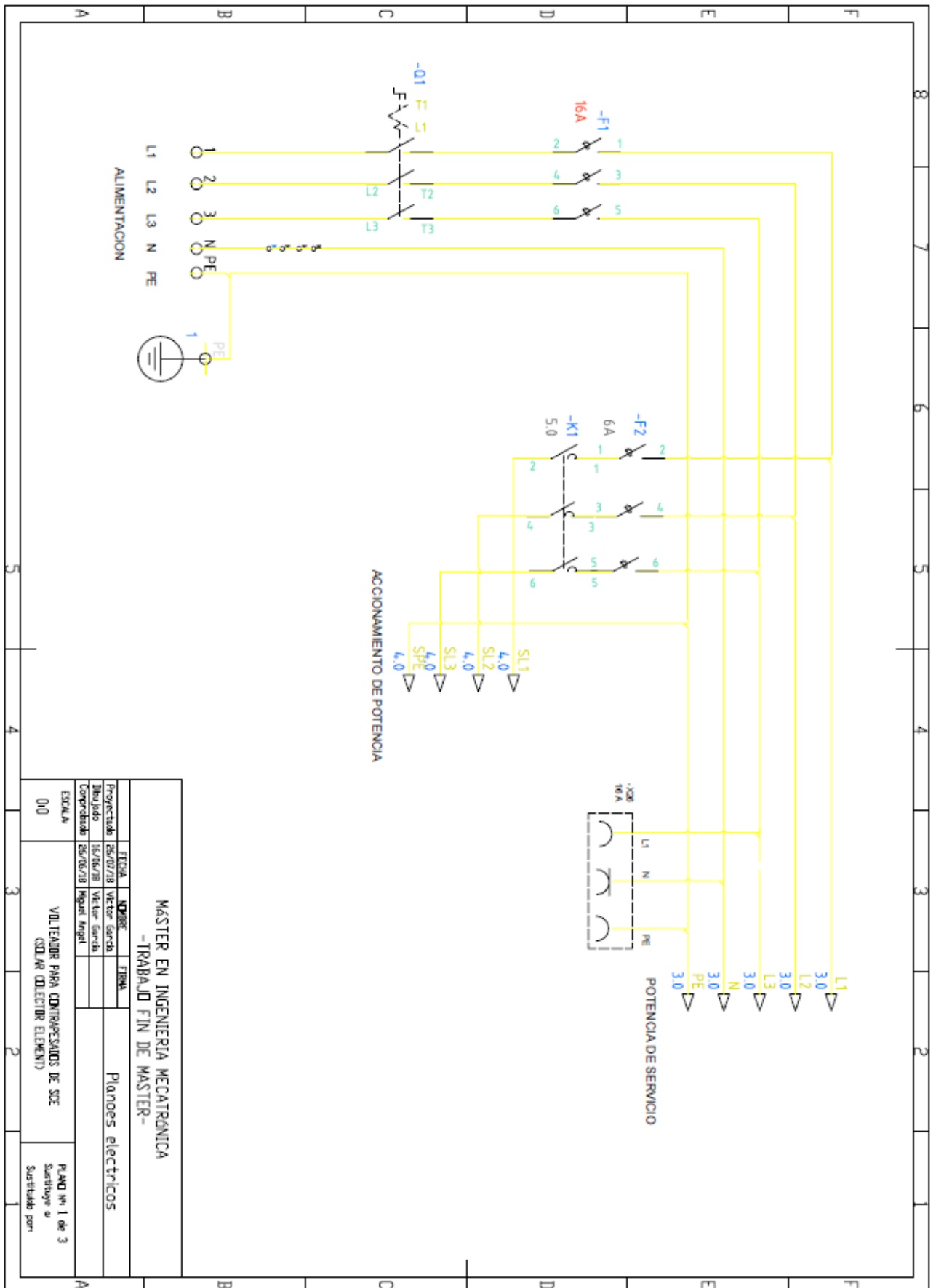
- Tolerancias generales acorde a DIN ISO 2768-mk
- Tolerancias de soldadura acorde a DIN EN ISO 13920 B/E
- Tolerancias superficiales acorde a DIN ISO 1302
- El conjunto soldado debe pintarse con una capa de 80 um 1 coat
- silicatos de etil-zinc o similar
- RAL 7035 (GREY)

MÁSTER EN INGENIERÍA MECATRÓNICA	
- TRABAJO FIN DE MÁSTER -	
Proyectado	FECHA
26/07/18	26/07/18
Dibujado	NOMBRE
16/06/18	Vicior Garcia
Comprobado	FIRMA
26/06/18	
PJM_DRW_01_PIVOTRAVERSE	
VOLTEADOR PARA CONTRAPESADOS DE SCE	
(SOLAR COLECTOR ELEMENT)	
PLANO N°: 1 de 2	
Sustituye a	
Sustituido por	

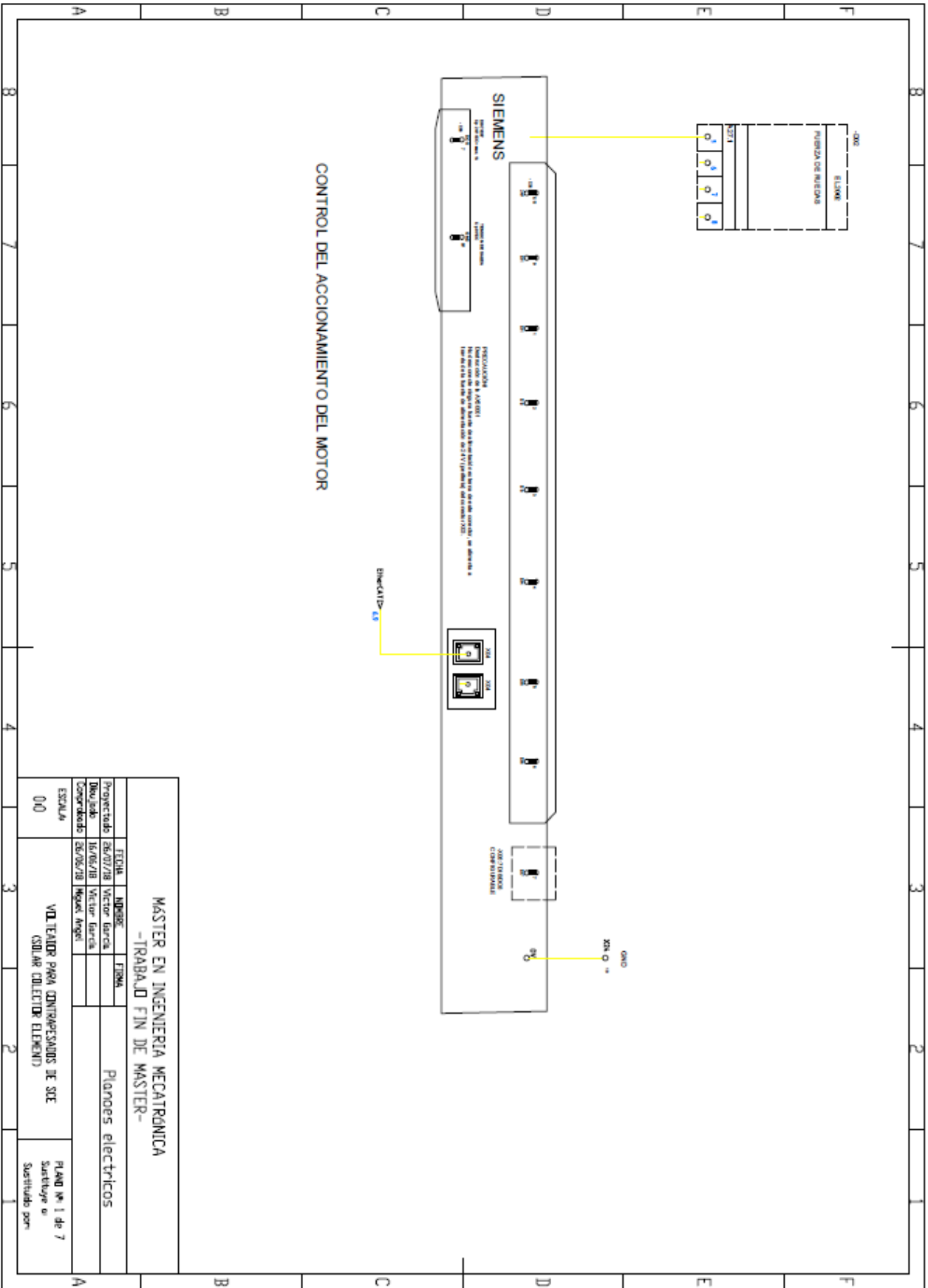
Volteador para contrapesados de SCE



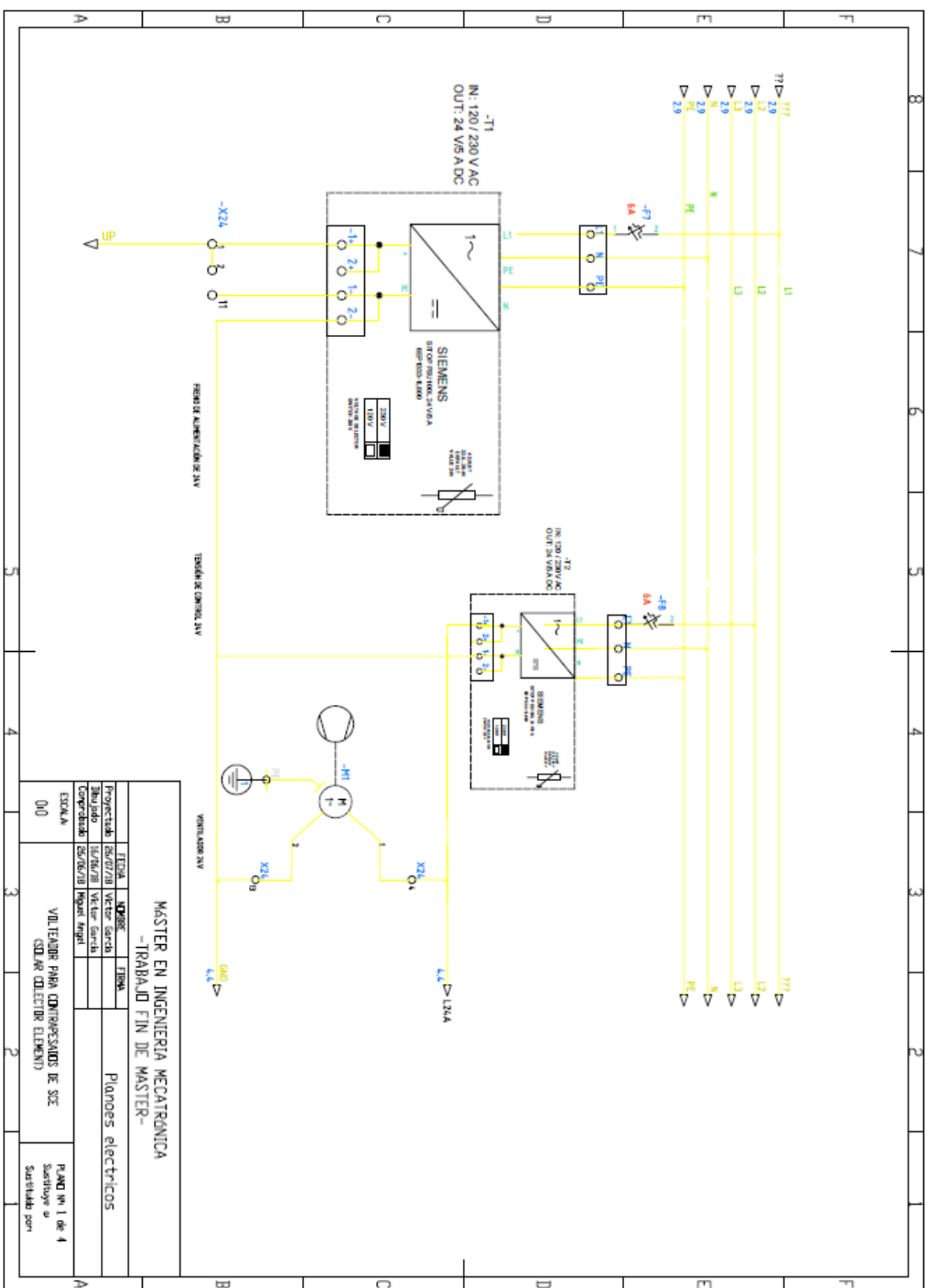
9.3. Planos eléctricos



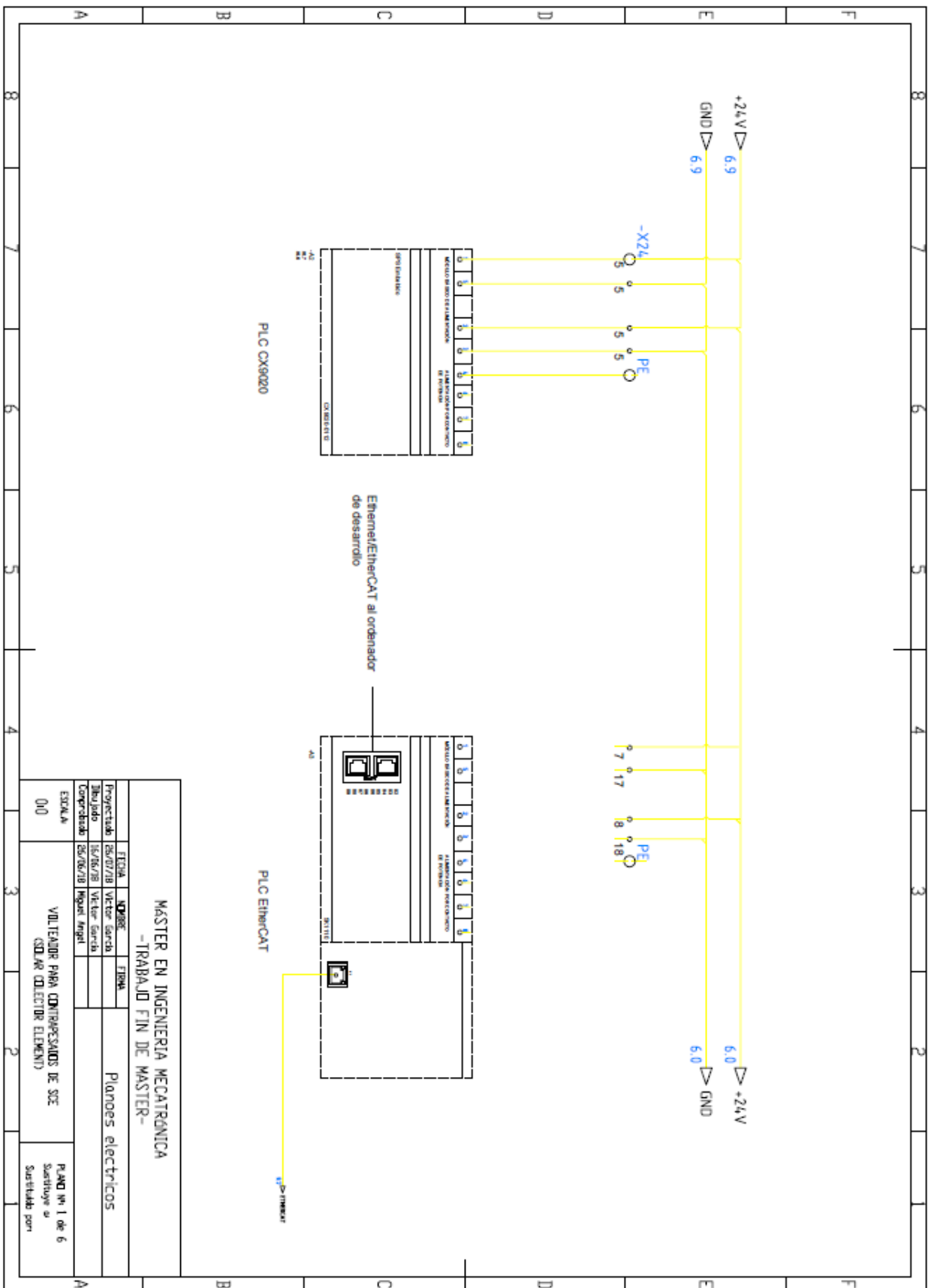
Volteador para contrapesados de SCE



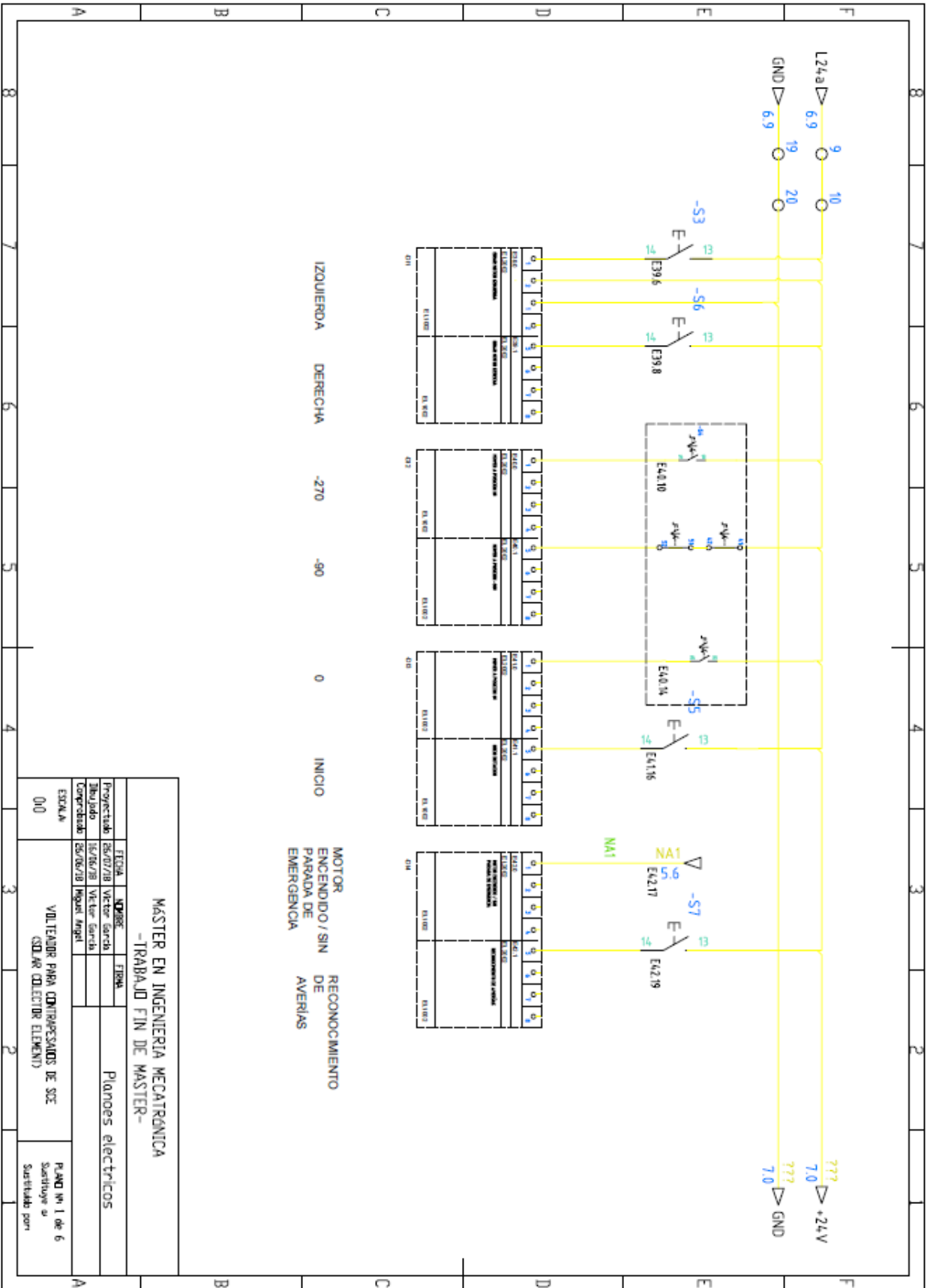
Volteador para contrapesados de SCE



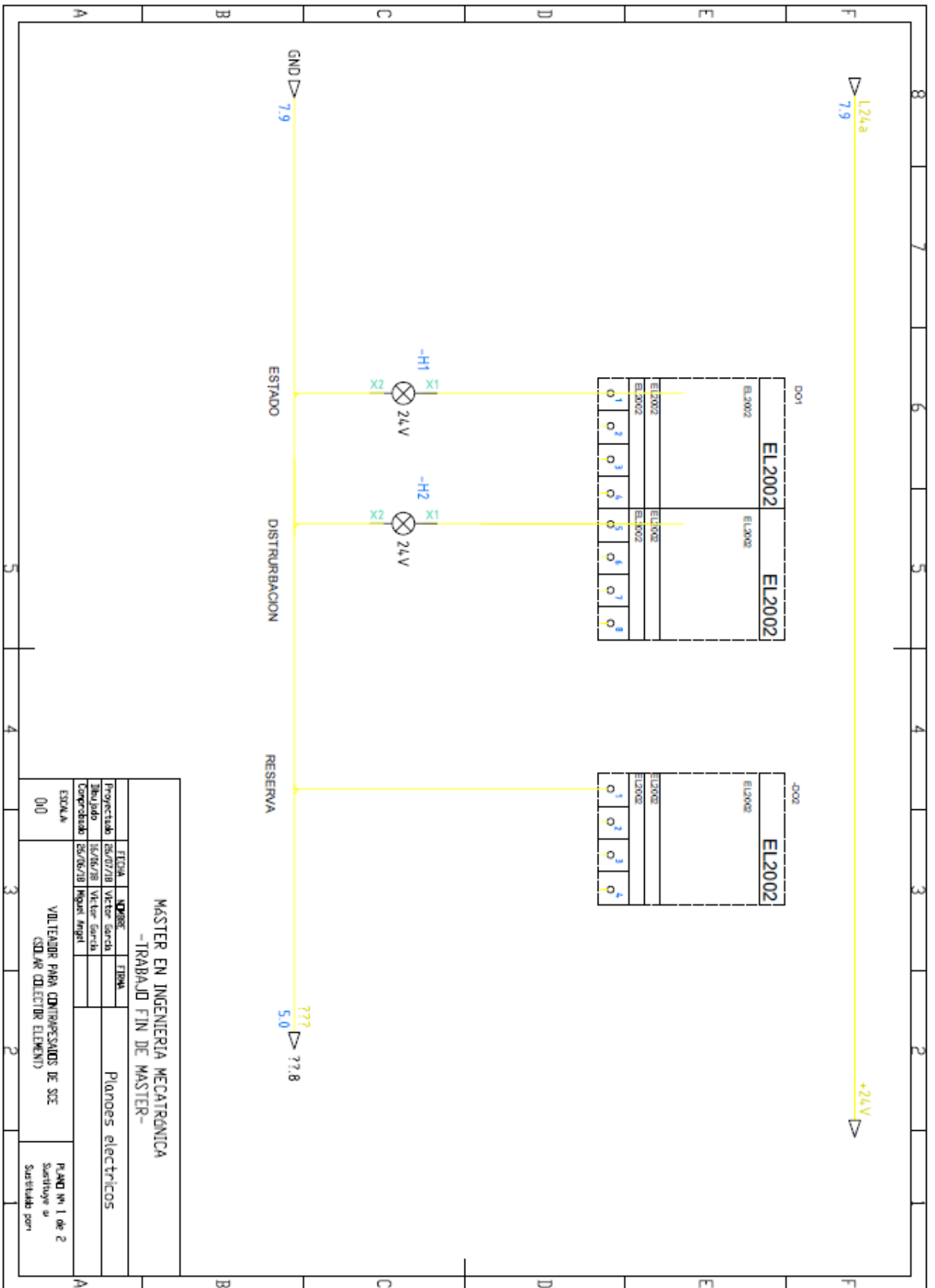
Volteador para contrapesados de SCE



Volteador para contrapesados de SCE

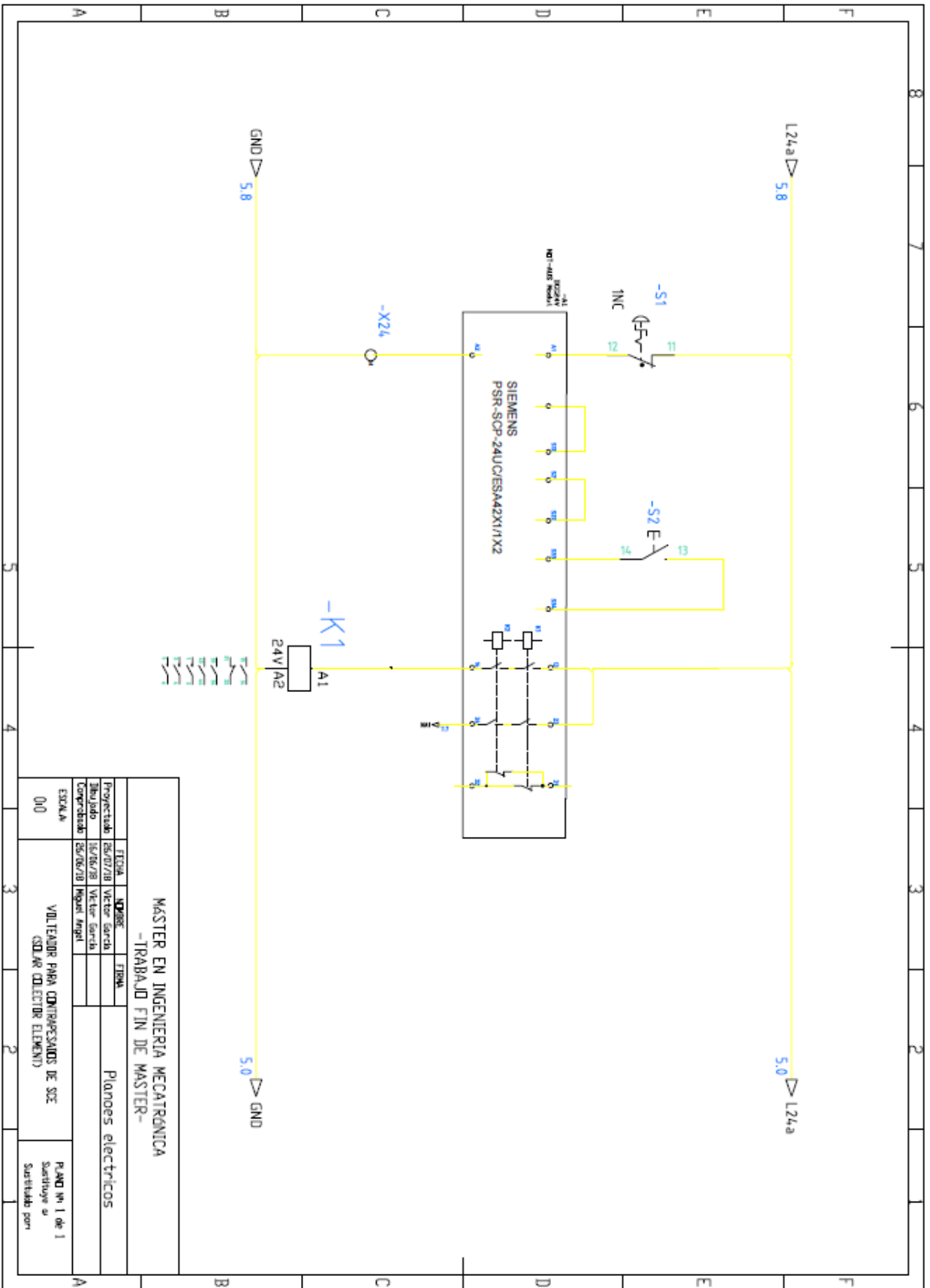


Volteador para contrapesados de SCE



MÁSTER EN INGENIERIA MECATRONICA			
-TRABAJO FIN DE MASTER-			
		Planes electricos	
Proyecto:	IS07/08	Nombre:	Victor Garcia
Dibujado:	IS/06/08	Victor Garcia	
Comprobado:	IS/06/08	Ignasi Anguita	
ESCALA:		VOLTEADOR PARA CONTRAPESADOS DE SCE	
0/0		CADAR (COLECTOR ELEMENT)	
			PLANO Nº 1 de 2
			Sustituye a
			Sustituido por:

Volteador para contrapesados de SCE



9.4. Otros Anexos

Se adjuntan como anexos el informe de elementos finitos realizado en Ansys, y las fichas técnicas de los elementos.