

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



Diseño y realización de proceso de validación de nuevo fabricante de módulo
electrónico de aplicación ferroviaria

Trabajo de Fin de Grado

Autor: ROLAND COEURJOLY LECHUGA

Titulación: GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

Profesor: JUAN RAMÓN CATALINA CALLE

Fecha: 22 de junio de 2015

Resumen

La especialización es una estrategia clave utilizada por las empresas para mantenerse competitivas en un entorno económico como el actual. Es por ello que la externalización de servicios concebida de una manera inteligente es fundamental.

En el sector de la manufactura de productos electrónicos este fenómeno se puede observar de una forma muy evidente: las empresas que diseñan los productos no suelen ser las mismas que los fabrican.

La elección de una empresa fabricante de productos electrónicos por lo tanto es crítico a la hora de conseguir un producto de calidad para el cliente.

En el proceso de elección de una empresa a la que externalizar la fabricación de productos electrónicos se tiene que tener en cuenta factores como la localización de la fábrica, los estándares de seguridad, calidad y medioambiente con los que la empresa está certificada, la experiencia con productos similares, así como factores económicos.

En el trabajo práctico que aquí se presenta se va a desarrollar partiendo de la base de que el fabricante ya ha sido elegido, y por lo tanto se va a presentar el proceso que lleva a la fabricación y validación del primer lote de productos para el cliente.

Palabras clave

Manufactura electrónica, proceso de validación, contactores, aplicaciones ferroviarias

Abstract

Specialization is a key strategy used in current companies to stay competitive in this challenging economic environment. That is the reason why many externalization of services is so important in many industries.

In the electronics industry this phenomenon is very common. Most companies who design their products externalize the production to other companies.

The selection of a manufacturing company is therefore critical to ensure a quality product is delivered to the final customer.

The process of choosing a company to manufacture your process has to take many factors into account, including: the location of the factory, the safety, quality and environmental standards with which the company is certified, their experience with similar products, as well as financial factors.

In this practical work we are going to present the process needed after the company is chosen, and therefore what needs to happen so that the first lot of products is manufactured and validated.

Key words

Electronics manufacturing, validation process, contactors, railway applications

Lista de acrónimos

A: Amperios

AC: Alternative Current (Corriente Alterna o CA)

ACR: Análisis de Causa Raíz

ALT: Accelerated Life Test (Ensayo de vida acelerada)

DC: Direct Current (Corriente Continua o CC)

DME: Design Margin Evaluation (Evaluación del margen de diseño)

EMS: Electronic Manufacturing Services (Servicios de Manufactura Electrónica)

MOQ: Minimum Order Quantity (Cantidad mínima de encargo)

PLC: Programmable Logic Controller (Automáta Programable)

PWM: Pulse Width Modulation (Modulación por Ancho de Pulso)

SMD: Surface Mount Device (Componente de Montaje Superficial)

TOW: Transfer Of Work (Traspaso de Fábrica)

V: Voltios

Índice general

<u>Resumen</u>	1
<u>Abstract</u>	2
<u>Lista de acrónimos</u>	3
<u>Índice general</u>	4
<u>Índice de figuras</u>	6
<u>Índice de tablas</u>	9
<u>1. Motivación, objetivos e introducción</u>	10
<u>1.1. Motivación</u>	10
<u>1.2. Objetivos</u>	10
<u>1.3. Introducción</u>	10
<u>1.3.1. Documentación</u>	13
<u>1.3.2. Aprovisionamiento</u>	13
<u>1.3.3. Producción</u>	14
<u>1.3.4. Validación</u>	14
<u>2. Descripción del producto y su aplicación</u>	16
<u>2.1. Descripción del contactor y su aplicación en compresores de aire</u>	16
<u>2.2. Descripción del funcionamiento del módulo electrónico</u>	19
<u>3. Desarrollo de las etapas</u>	24
<u>3.1. Documentación</u>	24
<u>3.2. Aprovisionamiento</u>	25
<u>3.3. Producción</u>	31

<u>3.4. Validación</u>	35
<u>3.4.1. Ensayo a final de línea</u>	39
<u>3.4.2. Ensayo de vida acelerada</u>	41
<u>3.4.3. Evaluación del margen de diseño</u>	46
<u>3.4.4. Ensayo de endurance mecánica</u>	51
<u>3.4.5. Ensayo de vibraciones</u>	58
<u>4. Cierre del proyecto</u>	66
<u>5. Discusión de resultados y conclusiones</u>	67
<u>Tiempos de ejecución del traspaso</u>	69
<u>Apéndices</u>	70
<u>A Seguridad e higiene en el laboratorio</u>	70
<u>B Lista de materiales</u>	72
<u>C Hoja de características del puente de diodos</u>	79
<u>D Doblado de patas de un diodo de inserción</u>	85
<u>Bibliografía</u>	87

Índice de figuras

[Figura 1.3.1: Módulo electrónico: circuito impreso con los componentes de inserción.](#)

11

[Figura 1.3.2: Módulo electrónico: circuito impreso con los componentes de montaje superficial.](#) 12

[Figura 1.3.3: Diagrama de flujo del proceso de traspaso de fábrica.](#) 13

[Figura 2.1.1: Contactor de tres polos con contactos auxiliares.](#) 17

[Figura 2.1.2: Discos de freno utilizados en aplicaciones ferroviarias.](#) 18

[Figura 2.2.1: Esquemático del módulo electrónico.](#) 19

[Figura 2.2.2: Diagrama de bloques funcionales del módulo electrónico.](#) 20

[Figura 2.2.3: Pulso de corriente en la bobina del contactor frente a tensión de entrada.](#)

21

[Figura 2.2.4: Cierre de los contactos y corriente por la bobina.](#) 23

[Figura 3.3.1: Equipo de montaje en superficie.](#) 31

[Figura 3.3.2: Componentes de inserción.](#) 32

[Figura 3.3.3: Inserción de componentes de taladro pasante a mano.](#) 32

[Figura 3.3.4: Máquina de soldadura por ola.](#) 33

[Figura 3.3.5: Adhesivo utilizado en productos electrónicos.](#) 33

[Figura 3.4.1: Diodo AD6 en posición horizontal.](#) 36

[Figura 3.4.2: Diodo AD6 en posición vertical.](#) 36

[Figura 3.4.3: Dirección que puede causar soldaduras por ola defectuosas.](#) 37

[Figura 3.4.4: Dirección correcta para la soldadura por ola de circuitos integrados.](#) 38

[Figura 3.4.1.1: Pulso de corriente en la conexión.](#) 40

<u>Figura 3.4.2.1: Condensadores NHG tipo A de Panasonic: durabilidad y condiciones de almacenamiento.</u>	43
<u>Figura 3.4.2.2: Distribución de Weibull: ensayo de vida acelerada.</u>	44
<u>Figura 3.4.2.3: Cámara climática, fuentes de tensión y sistema de control.</u>	45
<u>Figura 3.4.2.4: Sistema de control en el ensayo de endurance mecánica.</u>	46
<u>Figura 3.4.3.1: Montaje del ensayo de evaluación de márgenes de diseño: cámara climática y fuente de potencia.</u>	48
<u>Figura 3.4.3.2: Contactores y módulos dentro de la cámara climática.</u>	49
<u>Figura 3.4.3.3: Puntos de ensayo y el riesgo asociado en la evaluación de márgenes de diseño.</u>	49
<u>Figura 3.4.3.4: Puntos de ensayo (evaluación del margen de diseño).</u>	50
<u>Figura 3.4.4.1: Ensayo de endurance mecánica: montaje.</u>	52
<u>Figura 3.4.4.2: Contadores de operaciones.</u>	53
<u>Figura 3.4.4.3: Montaje del módulo y contactor en endurance mecánica.</u>	53
<u>Figura 3.4.4.4: Rotura de los pines de conexión y zona de desgaste.</u>	55
<u>Figura 3.4.4.5: Aplicación de adhesivo para fijar la placa de apantallamiento.</u>	56
<u>Figura 3.4.4.6: Distribución de Weibull: ensayo de endurance mecánica.</u>	57
<u>Figura 3.4.5.1: Direcciones en las que se van a aplicar las vibraciones en el módulo.</u>	58
<u>Figura 3.4.5.2: Montaje del ensayo de vibraciones.</u>	59
<u>Figura 3.4.5.3: Ensayo de vibraciones, eje vertical.</u>	59
<u>Figura 3.4.5.4: Nivel utilizado para comprobar la horizontalidad de las muestras en el ensayo de vibraciones.</u>	60
<u>Figura 3.4.5.5: Ensayo de vibraciones, eje longitudinal.</u>	60
<u>Figura 3.4.5.6: Ensayo de vibraciones, eje lateral.</u>	61

[Figura 3.4.5.7: Perfil de vibración, eje vertical.](#) 62

[Figura 3.4.5.8: Perfil de vibración, eje lateral.](#) 64

[Figura 3.4.5.9: Valores de amplitud para cada una de las frecuencias.](#) 65

[Figura A.1: Corrientes eléctricas y su efecto a su paso por el cuerpo humano.](#) 70

Índice de tablas

[Tabla 3.2.1: Comparación de características \(puente de diodos\).](#) 29

[Tabla 3.2.2: Medida de temperatura del puente de diodos.](#) 30

[Tabla 3.4.4.1: Tiempos de endurancia mecánica.](#) 54

1. Motivación, objetivos e introducción

1.1. Motivación

A la hora de realizar un traslado de fábrica de un producto electrónico, existen una serie de riesgos que pueden ya sea retrasar el lanzamiento del producto o comprometer la calidad del mismo. Estos riesgos pueden surgir en cualquiera de las etapas del traspaso: en el traspaso de documentación, en el aprovisionamiento de partes, componentes y materiales, en la producción del producto o en el proceso de validación. La naturaleza de estos riesgos es diversa, por lo que afrontar estos riesgos desde una perspectiva especializada no es una forma efectiva de hacerlo. Una visión multidisciplinar es la manera adecuada para realizar con éxito un traslado de fábrica.

1.2. Objetivos

En este Trabajo de Fin de Grado se va a diseñar y detallar las etapas necesarias para realizar un traspaso de fabricante de un producto electrónico. El objetivo es definir y detallar las etapas necesarias para resaltar cuales pueden ser los problemas a los que uno se enfrenta a la hora de realizar un traspaso de fábrica de un producto electrónico, proponiendo las soluciones que han sido aplicadas en este caso.

Al final del trabajo se expondrán las conclusiones a las que se han llegado al hacer este trabajo, haciendo especial hincapié en los aspectos críticos para la finalización del traspaso con garantías de calidad. En este caso práctico de traslado de fábrica el producto tiene un diseño maduro que no necesita revisión. Si esto no fuese el caso, o se tuviese que diseñar un producto desde el inicio, el proceso debería incluir las distintas iteraciones necesarias para llegar a un producto final.

1.3. Introducción

El encargo consiste en la fabricación continuada del módulo electrónico. Previamente a la producción para el cliente se tiene que producir cierta cantidad de módulos, los cuales van a ser ensayados para comprobar que cumplen los requisitos de funcionamiento. Este primer proceso también sirve para detectar cualquier clase de problema que le puede surgir a la empresa fabricante a la hora de la proveer de forma continuada el producto, tales como problemas de abastecimiento de componentes, problemas de producción o de ensayo.

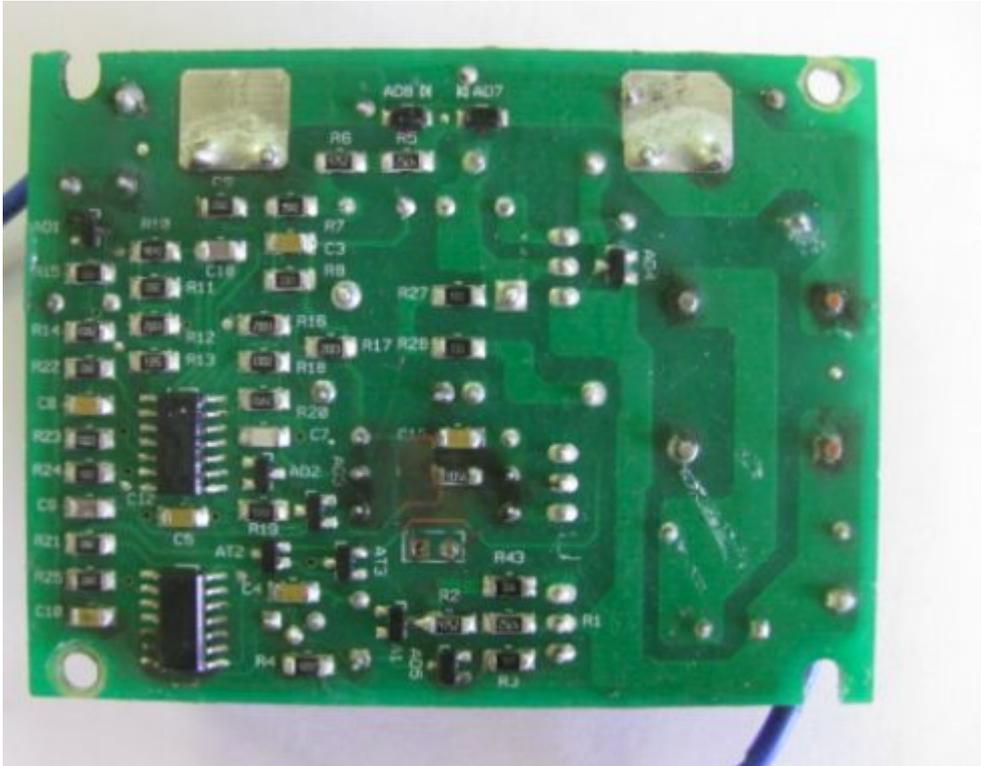


Figura 1.3.2: *Módulo electrónico: cara de los componentes de montaje superficial.*

Este traspaso de fábrica no es un proceso trivial por diversas razones. La primera es lo delicado del producto. Cada uno de los materiales y componentes han sido diseñados específicamente para la aplicación en trenes. Si, debido a un error en la documentación o en el aprovisionamiento, se utilizase un componente erróneo en la producción del módulo, esto supondría que el producto no estaría de acuerdo con las especificaciones técnicas y se deberían producir de nuevo los módulos. La detección de los errores y su consiguiente subsanación supondrá un tiempo adicional que el cliente debería esperar hasta recibir su producto. En este traslado de fábrica en concreto el producto debía ser entregado al cliente con urgencia.

Las diferentes fases antes especificadas existen para garantizar que se puede proveer al cliente con un producto de calidad de forma sostenida en el tiempo. La idea de un producto de calidad está fuertemente ligada a un producto cuya variación de una unidad a otra sea muy poca, o, dicho de otra manera, tener unos procesos de producción controlados.

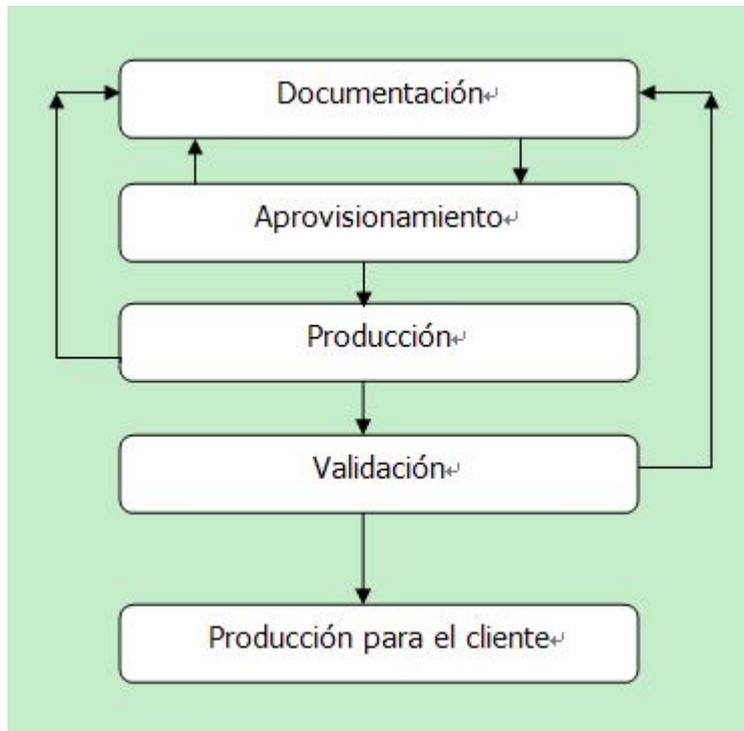


Figura 1.3.3: *Diagrama de flujo del proceso de traspaso de fábrica.*

En la figura 1.3.3 se puede apreciar como existen iteraciones en la documentación a medida que se avanza en el traspaso

El proyecto se divide en 5 etapas:

1.3.1. Documentación

Toda la documentación relevante para el producto se debe revisar y compartir con la empresa encargada de fabricar el módulo.

- BOM: lista de materiales y componentes que conforman el producto
- Planos de ensamblaje
- Gerbers: documentos necesarios para la fabricación de los circuitos impresos
- Procesos: adhesivos y de pruebas a final de línea.

Cualquier inconsistencia que se encuentre entre los documentos debe ser resuelta antes de avanzar a la siguiente etapa, siendo de especial importancia la lista de materiales y los gerbers.

1.3.2. Aprovisionamiento

Todas las partes y componentes necesarios para la construcción del módulo deben ser abastecidos con la información de la lista de materiales. Se deben conseguir cantidades de componentes suficientes para una producción de 1000 módulos, en un tiempo razonable. 50 módulos serán utilizados en el proceso de validación.

Además, en el caso de que haya componentes que sean difíciles de abastecer, se deben aprobar componentes alternativos e incluirlos en la lista de materiales (BOM).

1.3.3. Producción

Una vez que se han recibido en la fábrica los componentes y partes en cantidades suficientes y se han catalogado acorde con su descripción, se debe proceder a la producción de los módulos.

Los módulos constan de dos circuitos impresos:

- Placa de apantallamiento electromagnético.
- Placa de dos caras en la que se colocan los componentes electrónicos. En la superior se insertan los componentes de taladro pasante y en la inferior se colocan los componentes de montaje superficial.

La producción de los módulos discurre acorde con el siguiente proceso:

- Producción de los circuitos impresos.
- Colocación de los componentes de montaje superficial por las máquinas SMD.
- Inserción de los componentes de agujero pasante.
- Proceso de soldadura por ola.
- Aplicación del adhesivo.
- Soldadura de la placa de apantallamiento

1.3.4. Validación

El proceso de validación es necesario para comprobar que el funcionamiento del producto está en consonancia con lo establecido por la especificación técnica del producto.

El plan de validación utilizado para este traspaso de fábrica consta de los siguientes ensayos :

- Ensayo a final de línea
- Ensayo de vida acelerada
- Evaluación del margen de diseño
- Ensayo de endurancia mecánica
- Ensayo de vibraciones

2. Descripción del producto y su aplicación

2.1. Descripción del contactor y su aplicación en compresores de aire

El módulo electrónico sujeto al traspaso de fábrica aquí descrito está utilizado junto con un contactor.

Un contactor es un dispositivo electromecánico que es capaz de abrir o cerrar circuitos por el que circulan grandes corrientes eléctricas. Se diferencia del relé en que este se utiliza en aplicaciones donde las corrientes son menores.

Un contactor se controla mediante una señal eléctrica la cual tiene un amperaje mucho menor que la corriente a interrumpir. En nuestro caso, la señal de control se aplica al módulo electrónico.

La principal función del módulo electrónico es la de adaptar la corriente de control a la necesaria para que la bobina del contactor se magnetice.

Usar módulo electrónico tiene varias ventajas con respecto a no usarlo:

- La señal de control puede ser continua o alterna (50 o 60 Hz), ampliando así el rango de aplicación
- La corriente de control es mucho menor que si se aplicara directamente a la bobina, disminuyendo de esta forma el consumo eléctrico.

Los contactores cuentan con unas bobinas de tensión nominal 74 Voltios DC. Cada contactor, además de los contactos principales, cuenta con contactos auxiliares, dos normalmente cerrados (NC) y dos normalmente abiertos (NA).

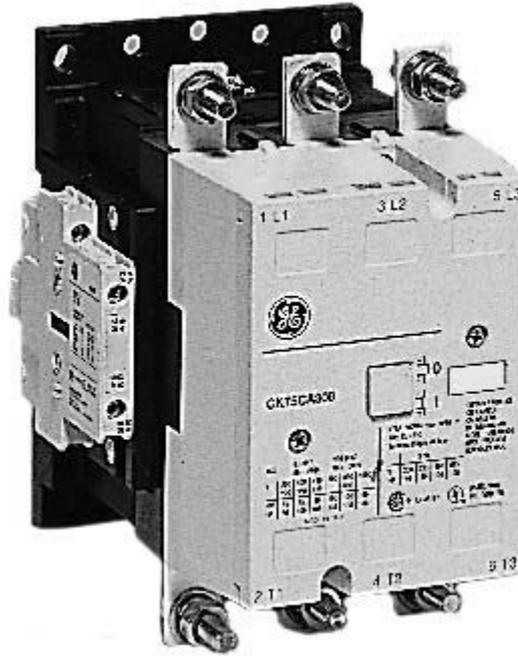


Figura 2.1.1: *Contactador de tres polos con contactos auxiliares*

Este contactor debe usarse para la conmutación de un motor de inducción que controla un compresor de aire. Los compresores de aire son utilizados en el sistema de frenos en la industria ferroviaria, entre otros sectores.



Figura 2.1.2: *Discos de freno utilizados en aplicaciones ferroviarias.*

En cada vagón del tren hay un reserva que se llena con aire comprimido. Esta reserva de aire comprimido sirve para accionar un freno neumático que actúa por fricción.

2.2. Descripción del funcionamiento del módulo

En este apartado se va a describir de manera general el funcionamiento del módulo electrónico. Esta descripción nos servirá más adelante para entender los ensayos que se realizan sobre el mismo.

En la lista de materiales se puede consultar la descripción y características de cada componente referenciado en el siguiente esquemático.

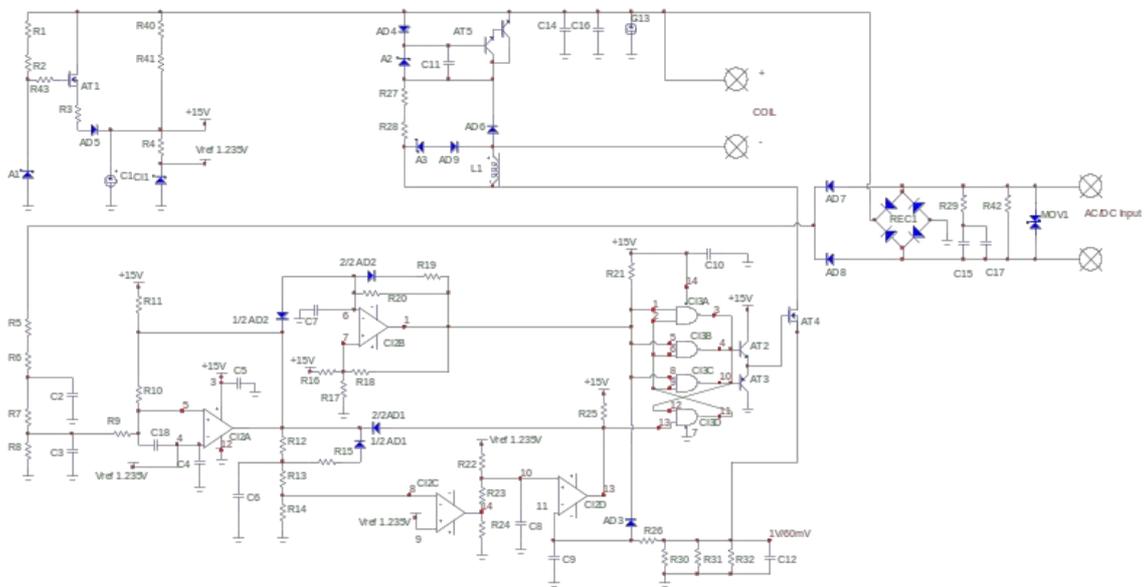


Figura 2.2.1: Esquemático del módulo electrónico.

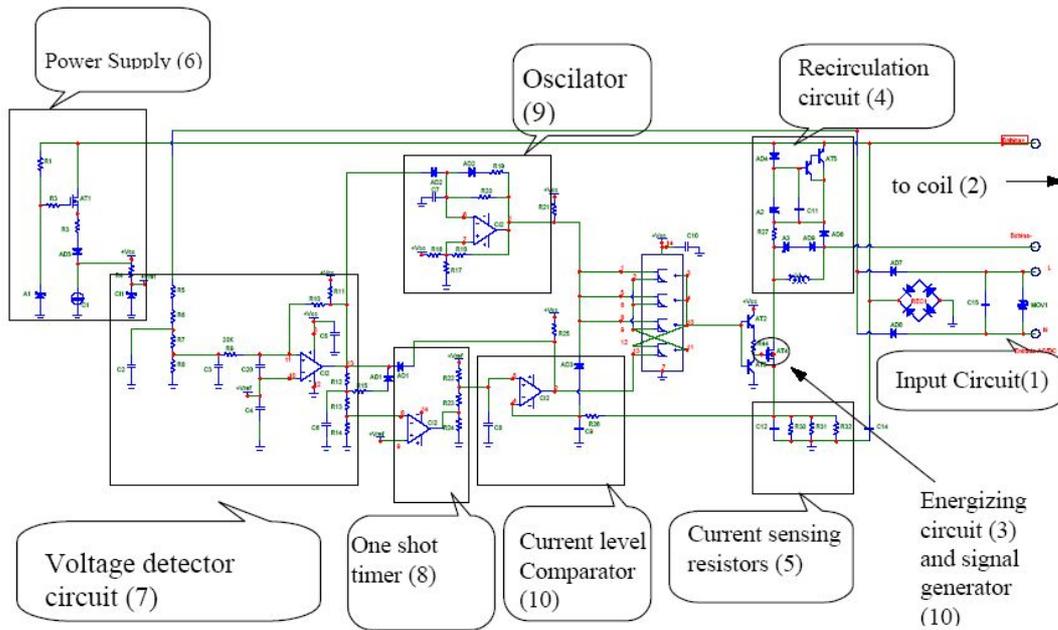


Figura 2.2.2: Diagrama de bloques del módulo electrónico

A continuación se va a enumerar los bloques funcionales del módulo electrónico:

- 1.- Circuito de entrada
- 2.- Bobina
- 3.- Circuito energizante
- 4.- Circuito desenergizante
- 5.- Resistencias de sensado de corriente de bobina
- 6.- Fuente de alimentación
- 7.- Detector de sobretensión y subtensión
- 8.- Temporizador monoestable
- 9.- Oscilador
- 10.- Comparador de nivel de corriente
- 11.- Generador de la señal energizante

Las siguientes formas de onda han sido obtenidas con un módulo electrónico conectado a la bobina de un contactor dimensionados acorde con su corriente nominal.

El señal de control aplicada es de 74 VAC 50 Hz en los conectores A1 - A2. Formas de onda similares se conseguirían con una señal de control de 74 VDC.

Se pueden distinguir tres tipos de formas de onda que corresponden a tres etapas en la operación del contactor:

- Conexión
- Régimen permanente o de mantenimiento
- Desconexión

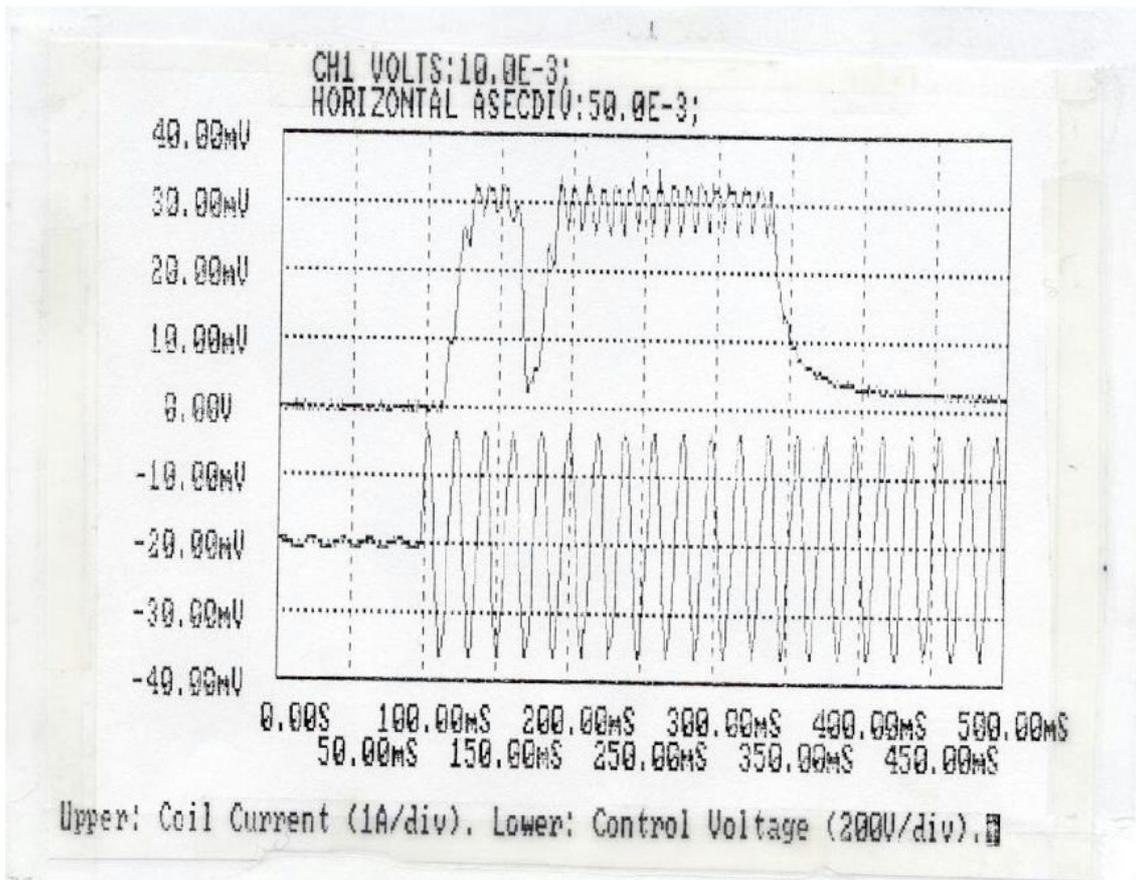


Figura 2.2.3: Pulso de corriente en la bobina del contactor frente a tensión de entrada.

Cuando se aplica el voltaje de control en los terminales A1-A2 (denominados L-N en el esquemático), el detector de tensión (7) compara el “nivel de disparo diseñado” con una fracción de la señal de entrada (si la señal de entrada fuera CA, se

convertiría a CC antes de ser comparada). Si este nivel de tensión DC es superior al “nivel de disparo diseñado”, entonces la salida del comparador permite el funcionamiento del oscilador de ancho de pulso modulado (PWM) (9), del generador de la señal energizante (11) y da inicio al temporizador monoestable (8). La bobina (2) puede ser energizada con la cantidad de corriente deseada gracias al circuito energizante (3), el circuito desenergizante (4), las resistencias de sensado de corriente de bobina (5) y el comparador de nivel de corriente (10).

Si el voltaje DC no alcanza el nivel de disparo diseñado, el resto de los circuitos no se disparan por el detector de voltaje (7) y la bobina (2) no puede ser energizada.

Cuando el nivel de tensión de disparo es alcanzado, el temporizador monoestable (8) cambia el nivel de referencia del comparador de nivel de corriente (10) a nivel “corriente de avalancha” durante 200 a 300 ms. Cuando este tiempo termina, la referencia de corriente cambia a nivel de corriente de mantenimiento.

En las formas de onda mostradas se puede ver la corriente de bobina cuanto se aplica tensión a la entrada del módulo electrónico. La duración del pulso de corriente que circula por la bobina es de una duración de aproximadamente 250 ms, y a continuación la corriente pasa a nivel de mantenimiento.

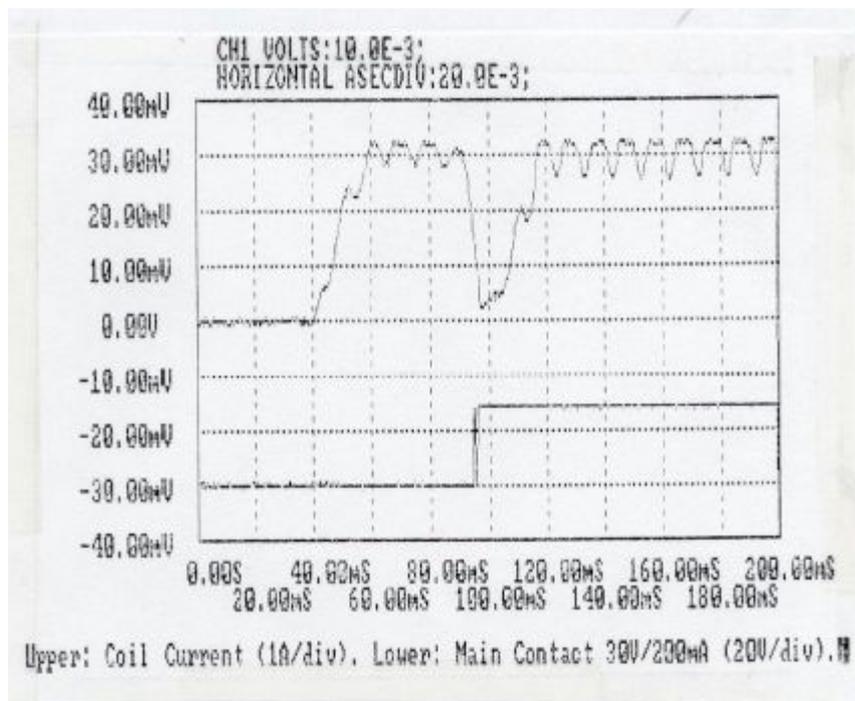


Figura 2.2.4: *Cierre de los contactos y corriente por la bobina.*

Estas formas de onda demuestran que la corriente de entrada se reduce al cerrar el contacto del contactor. El pulso de corriente se mantiene durante un tiempo más para asegurarse de que los contactos están cerrados y no existe un rebote en contacto por falta de energía eléctrica en la bobina.

3. Desarrollo de las etapas

3.1. Documentación

El objetivo del proceso de documentación es el de aportar a la empresa fabricante información que defina completamente el producto (en este caso, el módulo electrónico), así como todos los procesos asociados a su fabricación.

La documentación de un producto electrónico es la información básica necesaria para producir un producto según unas especificaciones. Esta documentación incluye:

- Planos de conjunto, donde se describe cómo las diferentes partes del módulo son ensambladas.
- Planos de conjunto donde se especifican los componentes de inserción, incluyendo: descripción general, referencia de componente (R1,C2 etc), las

posiciones de estos sobre la PCB principal y códigos dentro de las bases de datos SAP.

- Lista de materiales (BOM, Bill of Material en inglés), en la que se especifica cuales son los componentes utilizados, incluyendo información tal como el nombre de los componentes, la cantidad utilizada por módulo, la referencia de fabricante y el fabricante o lista de fabricantes para cada componente. También se especifican las partes por encargo necesarias (caja, tornillos y bornas de entrada), así como los adhesivos necesarios.
- Proceso de aplicación de adhesivos: en este documento se detalla cómo aplicar el adhesivo sobre los componentes para que resistan la vibración durante su utilización en trenes.
- Procedimiento de ensayo a final de línea. En este documento se detallan los parámetros eléctricos que son críticos para la calidad del producto: los rangos de valores válidos para cada parámetro y como la medición de dichos valores ha de realizarse. También se detalla los instrumentos necesarios para la realización del ensayo.

Antes de compartir la información con la empresa fabricante del módulo, se tienen que revisar cada uno de los documentos para comprobar su exactitud.

En este caso práctico, las comprobaciones son las siguientes:

- Lista de materiales: todos los componentes, partes y materiales están disponibles en las líneas de distribución aprobadas por la empresa. Si hubiera algún componente obsoleto, se aprobaría uno alternativo. En este caso se tuvo que aprobar una alternativa a un condensador por ser obsoleto, concretamente C11.
- Planos de inserción y montaje superficial: todos los componentes especificados en estos planos deben estar en consonancia con la información de la lista de materiales.
- Información para la fabricación de placas de circuitos impresos (Gerbers): los gerbers de la placa de apantallamiento electromagnético tuvieron que ser creados de nuevo debido a que eran ilegibles a causa del formato. El nuevo formato es RS-274X, en comparación con el estándar seguido por los gerbers anteriores, RS-274-D.

Es importante destacar que a lo largo del proceso de traspaso, la documentación podrá ser revisada. Algunos de los eventos que pueden llevar a revisar la documentación son:

- En la etapa de aprovisionamiento, si un componente está obsoleto o tiene un plazo de entrega excesivamente largo, se tendrá que aprobar un componente alternativo.
- En la etapa de producción, si un proceso de aplicar adhesivo no resulta viable, se tendrá que llegar a un acuerdo con el equipo de producción de como cambiar este documento.
- En la etapa de validación, si los resultados de los ensayos a final de línea están fuera de especificación, se tendrá que analizar la causa y posiblemente se depurará el procedimiento de ensayo a final de línea.

3.2. Aprovisionamiento

El proceso de aprovisionamiento consiste en el abastecimiento por parte del fabricante del módulo de todos los componentes, partes y materiales necesarios para su fabricación. Al ser este el primer abastecimiento para este producto por parte del fabricante de módulos, desde la empresa que externaliza el servicio se va a ofrecer apoyo.

El equipo de abastecimiento debe tener el BOM como base para saber que componentes de que fabricantes deben ser aprovisionados. En ese momento se tiene que comprobar la disponibilidad de cada componente. La disponibilidad de cada parte o componente se puede medir con dos variables: una es el plazo de entrega (Lead Time en inglés) y el otro es la cantidad mínima de pedido (MOQ Minimum Order Quantity por sus siglas en inglés). Estos dos parámetros tienen que estar en consonancia con, por una parte, la fecha de producción esperada y, por otra parte, la cantidad de módulos a producir.

Una cuestión vital con respecto al abastecimiento de componentes electrónicos es el fabricante de los mismos. A continuación vamos a tratar el asunto desde la perspectiva de la etapa de aprovisionamiento.

Como ya se ha explicado en el apartado de la documentación, en el documento llamado lista de materiales o BOM figura una columna denominada "Fabricantes". En

ella se especifican tanto los fabricantes preferidos como los alternativos para cada componente. En la etapa de aprovisionamiento nos vamos a decantar por fabricantes preferidos siempre que sea posible. Esto es así principalmente por dos razones:

- Primero, un fabricante es conocido y aceptado en el mercado porque tiene un proceso de fabricación en el que las características de los componentes tienen una variabilidad mínima. El fabricante debe controlar en la medida de lo posible el proceso de fabricación.

- Segundo, al ser un fabricante conocido, la disponibilidad de sus componentes suele ser mayor, con lo que se minimiza el riesgo de que en el futuro se tengan problemas de disponibilidad al abastecer el componente o componentes.

También cabe destacar que los distribuidores tienen que estar aprobados por la empresa. Un distribuidor de componentes electrónicos debe encargarse de mantener los componentes en un ambiente donde se controla la temperatura y la humedad, entre otros aspectos. Esto es importante para asegurarse de la usabilidad de los componentes. Cabe destacar que no todos los componentes responden de igual manera a su ambiente.

Por otra parte, a la hora de entregar los componentes a la fábrica es importante tener en cuenta la trazabilidad y la usabilidad de estos componentes. La fábrica, para hacer inventario de lo que recibe, comprueba con la lista de materiales las referencias de fabricante y el fabricante de cada componente.

Aunque algunos componentes más voluminosos, como pueden ser los circuitos integrados o condensadores electrolíticos, puede tener escritos sobre el encapsulado la referencia y el fabricante, en otros muchos esto no es el caso. Por ejemplo, componentes de montaje superficial, ya sean resistencias, condensadores, diodos u otros no llevan impreso ninguna información a excepción del tamaño. En el módulo electrónico el encapsulado más habitual es 1206 (0.125 x 0.06 pulgadas). Las resistencias de inserción tampoco suelen tener ningún marcado sobre el componente. Para facilitar el inventariado y el trabajo a los operarios a la hora de instalar los

componentes en las maquinas de montaje superficial, se deben etiquetar los tubos o rollos de componentes con la información provista en la lista de materiales (BOM).

Por otra parte, los componentes de montaje superficial deben ir montados en carretes para su utilización por la máquinas de tecnología de montaje superficial. De no ser el caso, la fábrica tendrá que poner en carrete los componentes SMD o no podrán ser utilizados.

Cuando el equipo de abastecimiento informa de que algún componente tiene un plazo de entrega muy largo o que no está disponible en el distribuidor oficial, se tiene que empezar el proceso de propuesta de componentes alternativos. También es posible que el componente esté obsoleto, lo cual significa que el fabricante ya no lo fabrica.

Para proponer un componente alternativo se debe disponer de toda la información relevante del componente en cuestión. Con la referencia de fabricante y el fabricante se puede encontrar una hoja de datos de dicho componente o la familia de componentes a la cual pertenece el componente.

La hoja de datos de un componente o familia de componentes está formada por todos los datos técnicos de dicha parte. Los datos que se muestran dependen de que componente se trate.

Además de la hoja de datos se debe conocer con exactitud la aplicación en la que se utiliza dicho componente, porque para distintas aplicaciones se pone el énfasis en distintas características.

Por ejemplo, una resistencia de medida de corriente es necesario que sea capaz de disipar una cierta cantidad de energía sin que se deteriore, es decir, su potencia es un factor importante a dimensionar.

Por otra parte, una resistencia de montaje superficial usada para el acondicionamiento de un amplificador operacional no es necesario que disipe tanta energía, por lo tanto a la hora de elegir una alternativa no se hará hincapié en este factor.

Por lo tanto, es necesario disponer de un conocimiento particular de la aplicación en la que utiliza el componente en cuestión.

Por último, el tamaño del componente alternativo debe coincidir con el componente a reemplazar, o por lo menos ser adecuado para el espacio asignado en el circuito impreso. Las dimensiones de un componente se pueden dar o con una referencia estándar de tamaño (por ejemplo, TO-220) o con un plano acotado del componente. No solo hay que tener cuidado con la huella del componente, si no con el tamaño del cuerpo. Por ejemplo, al poner una serie de resistencias de medida de corriente una al lado de otra, si el tamaño del cuerpo de los componentes es excesivo, puede dar lugar a que sea difícil insertarlos en sus respectivos taladros.

A continuación se va a presentar un ejemplo de elección de componente alternativo, en este caso del puente rectificador.

En la tabla inferior se comparan las características principales de 4 puentes rectificadores.

Fabricante	Referencia de fabricante	Distancia entre patas. En pulgadas (mm)	Código de encapsulado	Tensión inversa de pico repetitivo máxima (V)	Corriente rectificadora de salida máxima (A)	Rango de temperatura (°C)

Rectron	BR810	mín .520 (13.2) / máx .480 (12.2)	BR-8	1000	8	de - 55 a + 150
Rectron	BR1010	mín .520 (13.2) / máx .480 (12.2)	BR-10	1000	10	de - 55 a + 150
DC Components	KBPC-1010	mín .520 (13.2) / máx .480 (12.2)	KBPC-8/10	1000	10	de - 55 a + 125
DC Components	KBPC-810	mín .520 (13.2) / máx .480 (12.2)	KBPC-8/10	1000	8	de - 55 a + 125

Tabla 3.2.1: Comparación de características (puente de diodos)

De la tabla anterior se puede sacar la conclusión de que los encapsulados BR-8 y BR-10 tienen dimensiones idénticas, pero diferentes límites de corriente

Se deben realizar unas medida de temperatura debido a que el límite de temperatura superior es inferior que el puente de diodos Rectron.

Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de REC1 (°C)	Comentario
27.9	40	Resultados conseguidos mediante termopares
70	82.1	Resultado conseguido mediante extrapolación. La temperatura del puente

		de diodos está en el rango de operación del componente alternativo propuesto
--	--	--

Tabla 3.2.2: *Medida de temperatura del puente de diodos.*

Para calcular la temperatura máxima que puede alcanzar el puente de diodos se toma una medida de la temperatura alcanzada en el encapsulado. A partir de este aumento de temperatura se extrapola la temperatura en condiciones extremas teniendo en cuenta la temperatura máxima de operación del contactor (70°C). Como la temperatura alcanzada por el puente de diodos en este hipotético peor caso (82.1°C) es inferior a la temperatura máxima comunicada por el fabricante del componente (125°C), el componente es validado y se puede continuar con la siguiente etapa en el proceso de traspaso de fábrica, la producción.

3.3. Producción

Una vez que se han recibido en la fábrica los componentes y partes en cantidades suficientes y se han catalogado acorde con su descripción, se debe proceder a la producción de los módulos.

Los módulos constan de un circuito impreso de 2 caras. En la superior se insertan los componentes de taladro pasante y en la inferior se ensamblan los componentes de montaje superficial.

La producción de los módulos discurre acorde con el siguiente proceso:

1. Producción de los circuitos impresos.
2. Colocación de los componentes de montaje superficial por las maquinas SMD.



Figura 3.3.1: *Equipo de montaje en superficie.*

3. Inserción de los componentes de taladro pasante.



Figura 3.3.2: *Componentes de inserción.*

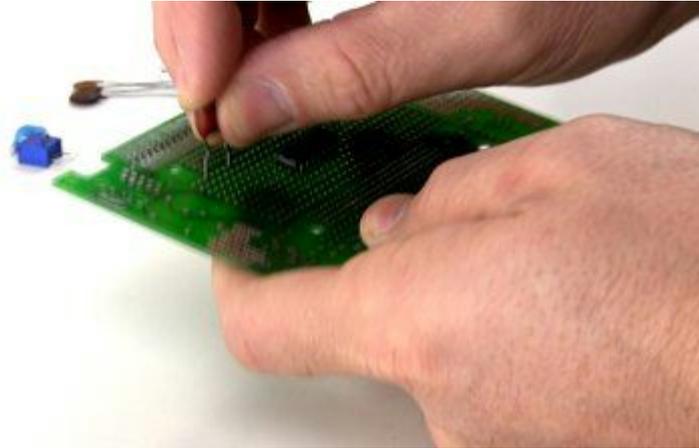


Figura 3.3.3: *Inserción de componentes de taladro pasante a mano.*

4. Proceso de soldadura por ola.



Figura 3.3.4: *Máquina de soldadura por ola.*

5. Aplicación del adhesivo.

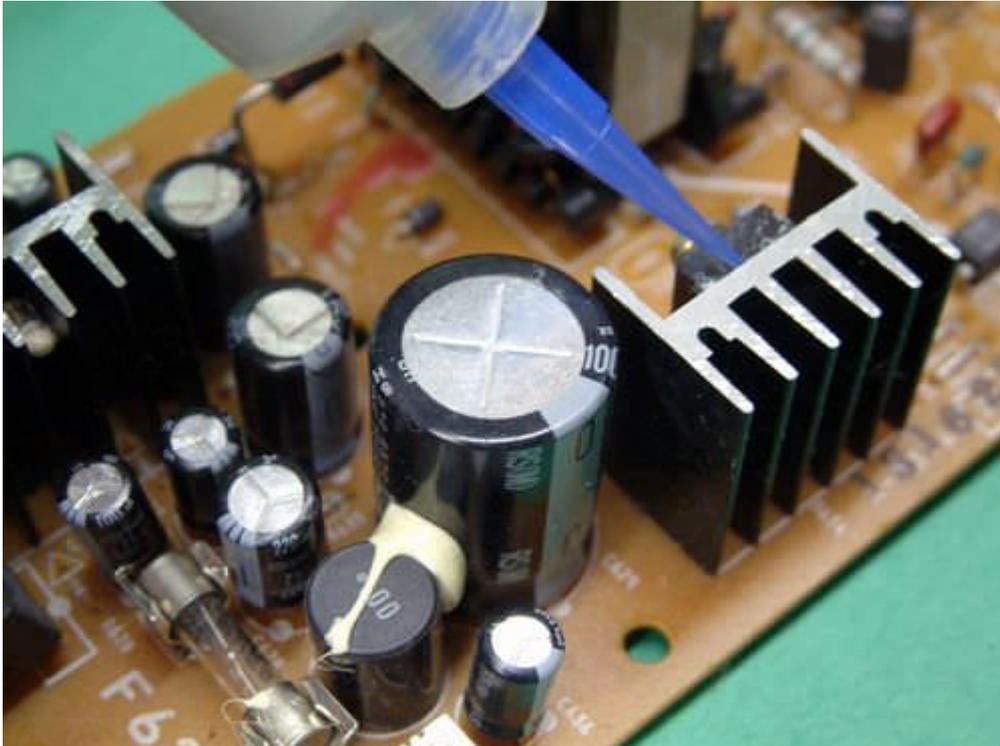


Figura 3.3.5: Adhesivo utilizado en productos electrónicos.

6. Soldadura de la placa de apantallamiento

Cabe mencionar que existe una tendencia dentro del sector de la electrónica a diseñar productos minimizando el número de componentes de inserción y sustituyéndolos por componentes de montaje superficial. Esto es debido a varias razones:

- Los componentes de inserción deben ser montados por un operario, lo que provoca un coste mayor.
- Los componentes de montaje superficial en cambio son colocados por equipos para el montaje en superficie, lo que supone una considerable inversión inicial pero con unos costes fijos y variables mucho menores. Además del factor económico, los equipos de montaje en superficie gozan de una precisión y repetibilidad más elevada que la de un operario humano.
- Los componentes de montaje superficial suelen ser de dimensiones más reducidas que los de inserción, por lo que se logra una mayor densidad de componentes en los conjuntos de placas de circuito impreso.

Sin embargo, pasar de usar componentes de inserción a montaje superficial también tiene algunos inconvenientes:

- La reparabilidad se ve reducida debido a que aumenta la dificultad de soldadura por parte de un operario humano
- Algunos componentes de inserción cuentan con referencias a sus valores en el encapsulado, lo cual resulta de ayuda a la hora de identificar el componente. En el caso de los componentes de montaje superficial, eso no suele ser así.

3.4. Validación

El proceso de validación es necesario para asegurarse que el producto que se va a proveer al cliente está conforme con sus especificaciones técnicas.

Cabe destacar que un la realización de un plan de validación sirve para reducir el riesgo sobre el lanzamiento de un producto, nunca para eliminarlo por completo.

Siempre existe un compromiso entre número de muestras y tiempo de ensayo por un lado, y riesgo por el otro. A mayor número de muestras o tiempo de ensayo, menor es el riesgo a la hora de ofrecer el producto al cliente. O, dicho de otra manera, la confianza sobre el desempeño que tendrá el producto que recibirá el cliente aumenta a medida que se ensayan más muestras, más tiempo.

El proceso de validación y el plan de ensayos tiene que ser diseñado acorde con la aplicación del producto. En este caso, se ha elegido el ensayo de vibraciones debido a que el módulo electrónico es utilizado en la industria ferroviaria. El resto de ensayos (ensayo de vida acelerada, evaluación del margen de diseño y ensayo de

endurancia mecánica) son los ensayos estándar que se realizan para validar un producto sometido a un traspaso de fábrica.

Durante la producción del módulo, se tiene que comprobar que las partes y componentes son manipulados de forma que no se deterioren. En la producción de este módulo se detectó un problema con el diodo AD6. El problema consiste en que para que las patas del componentes sean insertadas en los taladros del circuito impreso, las patas tienen que ser dobladas cerca del cuerpo del componente, lo que supone un estrés mecánico innecesario en el material semiconductor del diodo. Este estrés mecánico suele derivar en fisuras en el silicio del diodo que, aunque no son visibles, reducen la vida útil del componente y por lo tanto del módulo. Para solventar este problema, se tomó la decisión de insertar el diodo de manera vertical, evitando así cualquier tipo de estrés mecánico sobre el componente.

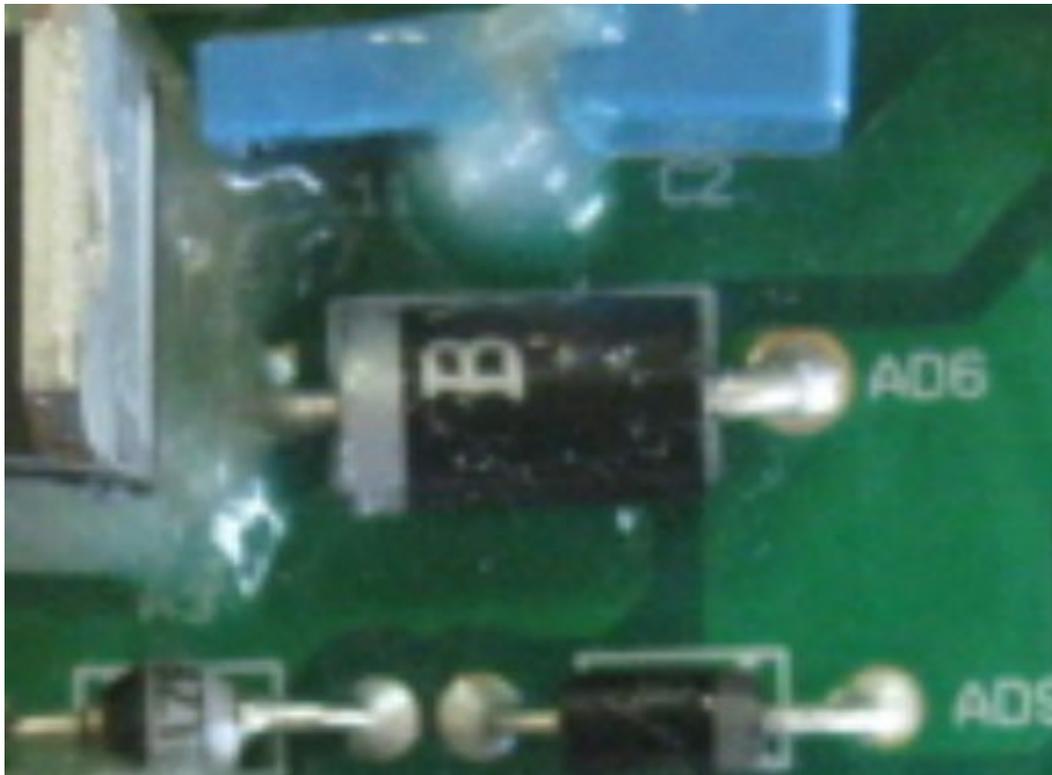


Figura 3.4.1: *Diodo AD6 en posición horizontal.*



Figura 3.4.2: *Diodo AD6 en posición vertical.*

Otros procesos críticos a la hora de validar la producción son la inserción de componentes de inserción por parte de los operarios y la distribución de los componentes de montaje superficial por parte de los autómatas.

Los equipos de montaje de superficie suelen tener un porcentaje de rechazo del 2%, por lo que a la hora de suministrar componentes es necesario tener esta cantidad en cuenta.

Por otra parte, el tipo de soldadura debe ser tenido en cuenta a la hora de analizar el rendimiento de la línea de producción.

En este caso se ha utilizado una soldadura por ola, en la que los conjuntos de circuito impreso más componentes son pasados por un tanque de material de soldadura fundido. La orientación de las placas es importante, ya que puede resultar en soldaduras defectuosas de los circuitos integrados.

Si se soldaran los circuitos integrados en la orientación abajo ilustrada, la tensión superficial del estaño inclinaría el componente y se correría el riesgo de que el resto de patas del componente no se colocarían correctamente en el circuito impreso.

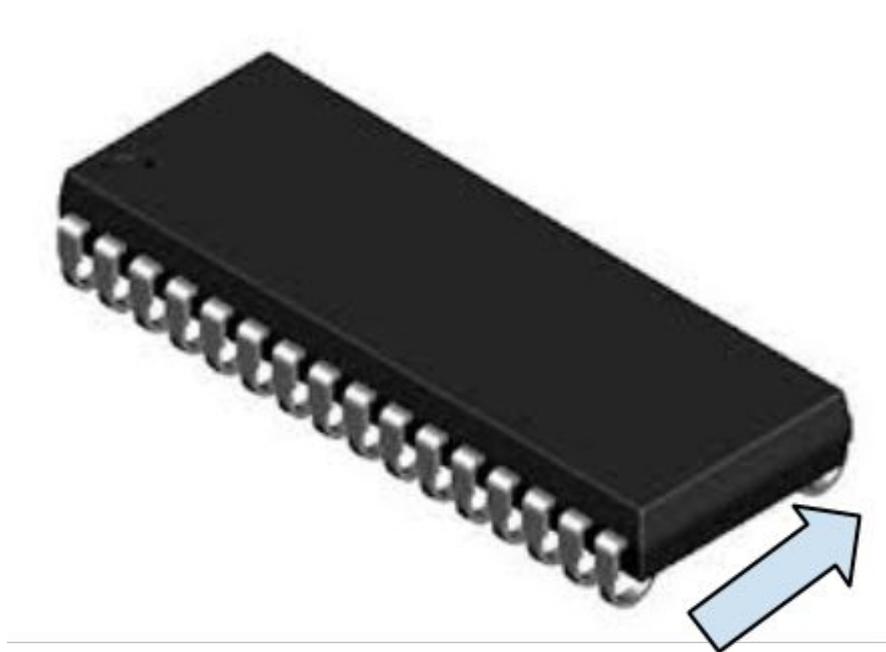


Figura 3.4.3: *Dirección que puede causar soldaduras por ola defectuosas.*

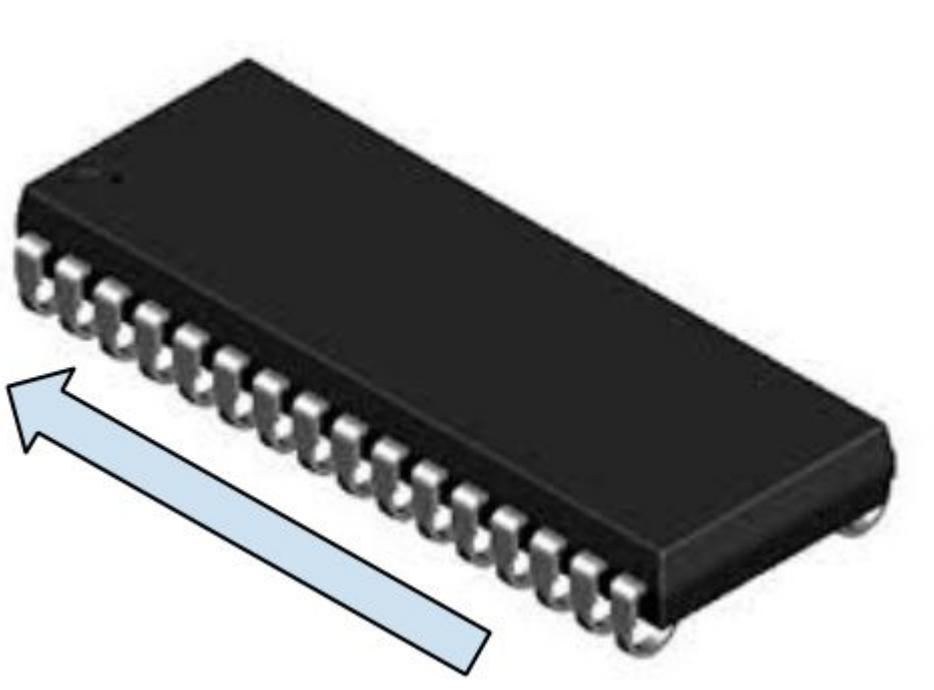


Figura 3.4.4: *Dirección correcta para la soldadura por ola de circuitos integrados.*

Tras la producción de un primer lote de módulos electrónicos y la monitorización de su proceso de producción, el proceso de validación en el laboratorio se pone en marcha.

La primera etapa de validación es el análisis del rendimiento de la línea de producción, es decir, del ratio de módulos defectuosos con respecto a los módulos no defectuosos.

Existe una serie de documentos que especifican un conjunto de parámetros que debe cumplir el producto.

Los documentos principales son:

1. El procedimiento de ensayo a final de línea o EOL (End Of Line test procedure en inglés)
2. La especificación técnica de producto o PTS (Product Technical Specification).

El proceso de evaluación comienza nada más finalizar la producción, cuando el operario evalúa si el funcionamiento del módulo está de acuerdo con lo especificado.

3.4.1. Ensayo a final de línea

En el procedimiento de ensayo a final de línea, además de unos criterios de aceptación del módulo, se especifican:

- Material necesario para realizar el ensayo:
 - Fuente de corriente continua capaz de suministrar 6 amperios y un rango de voltajes de 0 a 96 VDC
 - Contactor con bobina
 - Osciloscopio con un ancho de banda de por lo menos 20 MHz
 - Sonda de corriente compatible con el osciloscopio
 - Amperímetro
 - Cable de calibre 20 según la referencia americana (AWG, American Wire Gauge)
- Condiciones de ensayo:
 - El ensayo debe ser realizado en condiciones de temperatura ambiente:
- Procedimiento:
 - El módulo debe estar conectado a la bobina del contactor

- Para medir la tensión de energización se debe empezar con 0VDC en la entrada del módulo e ir progresivamente subiendo la tensión hasta que el contactor cierra.
- En el caso de la tensión de desenergización, se disminuye la tensión de la fuente de corriente continua hasta que el contactor abre.

Nota: las tensiones de energización y de desenergización son distintas debido al fenómeno de la histéresis. Más concretamente, la tensión de desenergización es inferior a la de energización debido a que la bobina conserva un magnetismo remanente.

En este caso el procedimiento de ensayo a final de línea detalla los criterios de aceptación del módulo, que son los siguientes:

- Tensión de energización: entre 42VDC y 49VDC
- Tensión de desenergización: entre 18VDC y 28.5VDC
- Pulso de corriente de entrada cuando el módulo está alimentado a tensión nominal (74 VDC) debe ser acorde a la siguiente gráfica:

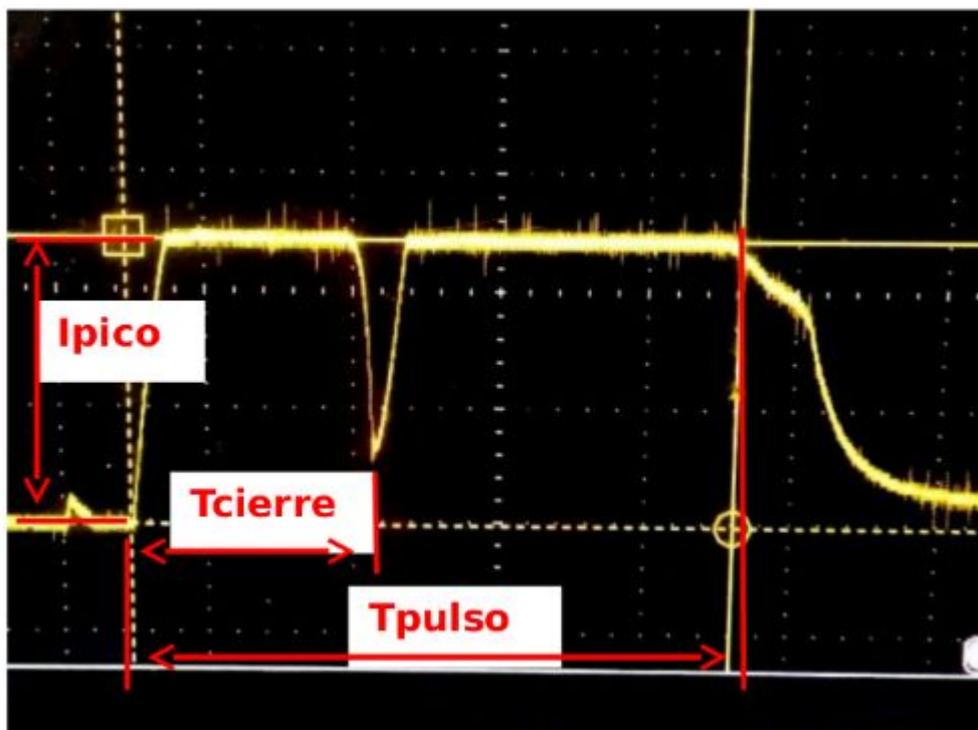


Figura 3.4.1.1: *Pulso de corriente en la conexión*

Donde:

- El pico de corriente debe ser de 4.5 a 5 A
- El tiempo de pulso debe estar comprendido entre 70 y 120 ms
- El tiempo de cierre tiene que ser de entre 20 y 45 ms
- La corriente que suministra el módulo a la bobina del contactor debe ser de 350 mA (+-10%)
- La corriente de entrada al módulo en régimen estacionario no debe superar los 40 mA

Cabe destacar que la corriente de entrada al módulo debe ser medida con el polímetro en modo medida de corriente continua, ya que si se midiese con el osciloscopio este nos daría una falsa medida, debido a su mayor ancho de banda.

El otro documento en el que nos basamos a la hora de validar el producto es la especificación técnica del producto. En este caso, el producto al que se refiere este documento es el contactor, por lo que no hay tantos parámetros especificados como en el procedimiento de ensayo a final de línea que sean relevantes para el módulo electrónico.

Más concretamente, solo se especifica la corriente de entrada, tanto su pulso como su valor en régimen estacionario, y la tensión nominal de entrada.

Es importante asegurarse en la etapa de documentación de que los parámetros de los dos documentos anteriormente citados están en concordancia.

Antes de empezar con los ensayos es imprescindible la identificación de cada unidad para asegurarse de tener una trazabilidad aceptable.

La identificación de cada muestra consta de las siguientes partes:

- Número de ensayo
- Fecha de ensayo
- Número de muestra

3.4.2. Ensayo de vida acelerada

El ensayo de vida acelerada es denominado Accelerated life test (ALT) en el mundo de habla inglesa.

El ensayo de vida acelerada consiste en someter al producto, en este caso al módulo electrónico, a condiciones que superan a las que son sometidos en su

operación en condiciones nominales para de esta forma conseguir un entendimiento de su durabilidad sobre el terreno y sus modos de fallo.

La naturaleza del ensayo es destructiva, por lo que cuanto más tiempo permanezcan en el ensayo, más vida útil será eliminada del módulo. Al final el ensayo los módulos no podrán ser utilizados por el cliente.

El equipamiento necesario para realizar el ensayo es el siguiente:

- 24 módulos electrónicos
- 24 bobinas de contactor
- Cámara climática capaz de alcanzar temperaturas de -10°C y $+70^{\circ}\text{C}$, además de poder controlar la humedad de la cámara para temperaturas por encima de los 0°C .
- Fuente o fuentes de tensión capaces de suministrar 74VDC y 4 A.
- Cable de calibre 22 AWG (American Wire Gauge)
- Osciloscopio con un ancho de banda de mínimo 20 MHz y sonda de corriente capaz de medir corrientes de hasta 5 A

Las condiciones del ensayo son las siguientes:

- Ciclado de temperatura: de -10°C a 70°C cada 2 horas
- Ciclado de humedad: de 80% de humedad a 70°C . Por debajo de -10°C no es posible controlar la humedad sin una cámara climática especial
- Ciclado de potencia: se aplica 74 VDC y 0VDC alternativamente cada hora a cada uno de los módulos

Para que el ensayo sea estadísticamente significativo, la relación entre número de muestras y tiempo de ensayo tiene que ser inversamente proporcional, es decir, a mayor número de muestras, menos tiempo de ensayo es necesario.

Cabe destacar que los módulos tienen una caja de plástico cuando son utilizados en los trenes, mientras que cuando son ensayados en el ALT no, lo cual les hace más propensos a la corrosión de partes metálicas, como cables de cobre, pistas de cobre de circuitos impresos, patas de los componentes de inserción y encapsulados como los de los condensadores electrolíticos.

El efecto de la humedad y el ciclado de temperatura también se puede apreciar en la rigidez de los cables que conectan el módulo con la bobina.

El ensayo de vida acelerada es un ensayo que se debe monitorizar durante toda la duración del ensayo. Para ello se mide la corriente de entrada al módulo, tanto su pulso de entrada como su valor eficaz en régimen permanente, y se comprueba que son acordes con la información especificada en la documentación: en el procedimiento de ensayo a final de línea y en la especificación técnica del producto.

Cuando al medir un módulo electrónico, este no se comporta como está especificado, se debe eliminar del ensayo, recoger en una hoja de cálculo la vida del mismo y empezar un proceso conocido como análisis de causa raíz o ACR. En este análisis se examina, primero visualmente y más tarde funcionalmente, el módulo, analizando cada una de las hipótesis de fallo acordes con el criterio del ingeniero de laboratorio.

Al ser este un producto maduro que ha sido utilizado durante varios años por el cliente, las causas más probables de fallo son fallos de componentes.

Los fabricantes de componentes electrónicos especifican en sus hojas de datos las condiciones de temperatura y humedad máximas de funcionamiento de dichos componentes. Uno de los componentes que más propenso es a fallos debidos a temperatura o humedad son los condensadores electrolíticos, por lo tanto serían un buen inicio para investigar la raíz del fallo.

Endurance	After following life test with DC voltage and $+105\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ripple current value applied (The sum of DC and ripple peak voltage shall not exceed the rated working voltage). When the capacitors are restored to $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, the capacitors shall meet the limits specified below.	
	Duration : 6.3 V.DC to 100 V.DC : ($\phi 5$ to $\phi 8$)=1000 hours, ($\phi 10$ to $\phi 18$)=2000 hours 160 V.DC to 450 V.DC : 2000 hours	
	Capacitance change	$\pm 20\%$ of initial measured value
	$\tan \delta$	$\leq 200\%$ of initial specified value
	DC leakage current	\leq initial specified value
Shelf Life	After storage for 1000 hours at $+105\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ with no voltage applied and then being stabilized at $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, capacitors shall meet the limits specified in Endurance. (With voltage treatment)	

Figura 3.4.2.1: Condensadores NHG tipo A de Panasonic: durabilidad y condiciones de almacenamiento.

Una vez determinado el tiempo de fallo de cada módulo, se debe trazar una distribución de Weibull.

En estas distribuciones se introducen el tiempo de vida del producto incluida en la especificación técnica del producto, y el tiempo de ensayo hasta el fallo de los módulos. También se puede trazar la distribución cuando solo un módulo ha fallado.

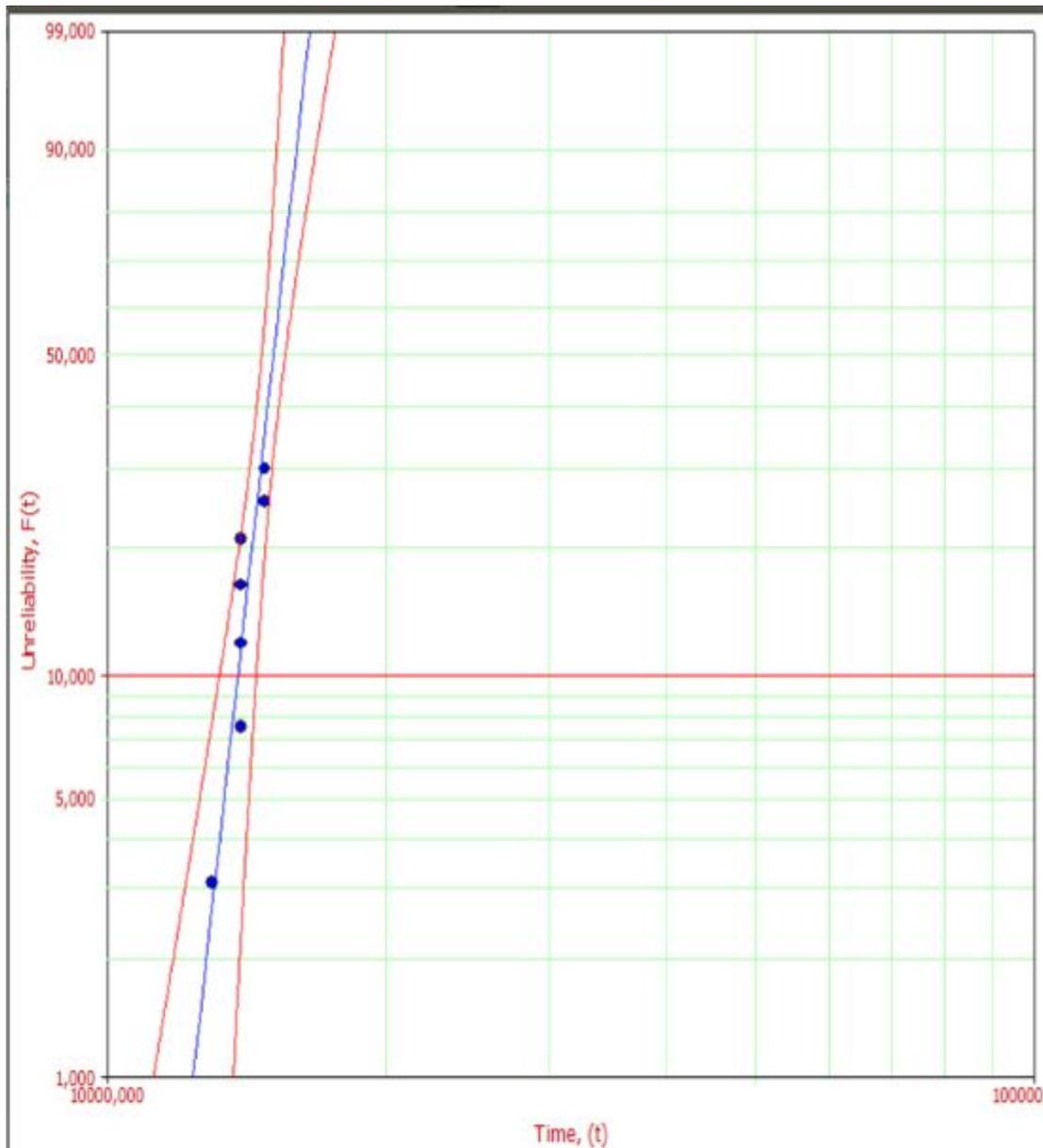


Figura 3.4.2.2: *Distribución de Weibull: ensayo de vida acelerada*

Para calcular el tiempo de real de supervivencia de cada módulo, hay que multiplicar el tiempo de ensayo del módulo por el factor de aceleración del ensayo, que es una variable de diseño en función de los módulos y el tiempo disponibles para ensayar.

En este caso, el factor de aceleración es 25, lo que significa que una semana de ensayo equivale a 25 semanas de funcionamiento en su aplicación real.



Figura 3.4.2.3: *Cámara climática, fuentes de tensión y sistema de control*

Debido a que la fuente no es capaz de suministrar los 96 A que demandan en el pico de corriente los 24 módulos (4 A por cada módulo), se tuvo que diseñar un sistema de control con un autómata programable o PLC (Programmable Logic Controller en inglés).

El diseño del PLC hace que los módulos cierren con un intervalo de tiempo entre cada módulo de 2 segundos, evitando así una sobrecorriente en la fuente de potencia.



Figura 3.4.2.4: *Sistema de control en el ensayo de endurance mecánica*

3.4.3. Evaluación de los márgenes de diseño

La evaluación de los márgenes de diseño también es conocida como DME (Design Margin Evaluation, por sus siglas en inglés).

El objetivo del ensayo denominado evaluación de los márgenes de diseño es, como el propio nombre indica, determinar el margen de temperatura y voltaje que tiene el producto con respecto a los valores detallados en la especificación técnica del producto.

Tal como se puede ver en la especificación técnica del producto, el límite operativo inferior de temperatura es de -40°C y el límite superior de $+70^{\circ}\text{C}$.

El ensayo consiste en evaluar el funcionamiento del módulo en condiciones extremas de temperatura y tensión de línea, lo que en nuestro caso quiere decir que se va a ensayar el módulo a -40°C y $+120^{\circ}\text{C}$, y con una variación de la tensión de entrada al módulo de $+30\%$ y -35% .

Ya que la tensión nominal del módulo del presente trabajo es de 74 VDC, la tensiones a las que se va a ensayar el módulo son 96 VDC y 48 VDC.

Cabe destacar que el objetivo en este ensayo, a diferencia del ensayo de vida acelerada anteriormente expuesto, no es quitar vida al producto, sino evaluar unos puntos de funcionamiento que sobrepasan las condiciones nominales de operación detalladas en la especificación técnica del producto.

Esto se ve reflejado en que no es necesario realizar un ciclado de temperatura, es decir, configurar la cámara climática para que interponga una temperatura alta (+120°C) con una baja (-40°C), lo cual supondría un desgaste tanto de los componentes como de la placa de circuito impreso de los módulos.

La humedad en la cámara climática debe permanecer en unos valores que no supongan mucho desgaste a los módulos. Una humedad ambiente de 40% hasta 60% es ideal para este ensayo.

La cantidad de módulos y contactores necesarios para realizar este ensayo de manera que sea estadísticamente relevante es 6.

Los elementos necesarios para la realización de este ensayo son:

- Cámara climática capaz de alcanzar temperaturas de -40°C y +120°C con control de humedad
- 6 módulos electrónicos
- 6 contactores con sus respectivas bobinas
- Fuente de tensión capaz de suministrar como mínimo 6 amperios en un rango de tensiones de, por lo menos, 48 VDC a 96 VDC.
- 6 disyuntores eléctricos. Serán utilizados para controlar el paso de la corriente a cada uno de los módulos a la hora de realizar las mediciones.
- Cable de calibre 20 AWG (American Wire Gauge por sus siglas en inglés)



Figura 3.4.3.1: *Montaje del ensayo de evaluación de márgenes de diseño: cámara climática y fuente de potencia.*



Figura 3.4.3.2: Contactores y módulos dentro de la cámara climática.

LINE	STARTS	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
+20%	HOT																			
	COLD	118	117	116	102	101	100	99	98	97	108	109	110	111	112	121	122	125	126	
+15%	HOT																			
	COLD	76	75	74	60	59	58	57	56	55	66	67	68	69	70	79	80	89	90	
+10%	HOT																			
	COLD	42	39	36	18	15	12	9	6	3	21	24	27	30	33	45	48	83	86	
NOM	HOT																			
	COLD	40	37	34	16	13	10	7	4	1	19	22	25	28	31	43	46	81	84	
-10%	HOT																			
	COLD	41	38	35	17	14	11	8	5	2	20	23	26	29	32	44	47	82	85	
-15%	HOT																			
	COLD	73	72	71	54	53	52	51	50	49	61	62	63	64	65	77	78	87	88	
-20%	HOT																			
	COLD	115	114	113	96	95	94	93	92	91	103	104	105	106	107	119	120	123	124	
TEMP DEGREE C		-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130

Figura 3.4.3.3: Puntos de ensayo y el riesgo asociado en la evaluación de márgenes de diseño.

Método de ensayo:

El método de ensayo en la evaluación del margen de diseño consiste en las siguientes partes:

- Los módulos tienen que pasar unas pruebas funcionales a temperatura ambiente. El contenido de las pruebas funcionales está detallado en el procedimiento de ensayo a final de línea.
- A continuación, los módulos junto con los contactores deben permanecer en la cámara climática durante como mínimo 2 horas, para que la temperatura del conjunto módulo - contactor se estabilice. Durante este tiempo, la fuente de tensión debe suministrar la tensión especificada en la tabla que se presenta a continuación

Test No	Ref.	Temp	Line	Test Voltage
		(°C)	%	(DC)
1	71	-30	-35	48
2	74	-30	+30	96
3	77	+90	-35	48
4	79	+90	+30	96
5	115	-40	-35	48
6	118	-40	+30	96
7	124	+120	-35	48
8	126	+120	+30	96

Figura 3.4.3.4: Puntos de ensayo (evaluación del margen de diseño).

Nótese que en la figura 3.4.3.4, para cada temperatura los módulos deben ser alimentados a dos tensiones distintas, 48VDC y 96 VDC, que corresponden con las tensiones mínimas y máximas del ensayo

- Una vez que los módulos y contactores han permanecido a una cierta temperatura y tensión durante 2 horas, se procede a realizar un ensayo funcional a cada uno de los módulos.
- Los dos pasos anteriores se repiten con cada uno de los 8 puntos de ensayo.

- Los resultados, al contrario que en el ensayo de vida acelerada, no son necesarios introducirlos en una distribución de Weibull, ya que no están relacionados con la vida del aparato sino con los márgenes de diseño.

3.4.4. Ensayo de durabilidad mecánica

El ensayo de durabilidad mecánica es un ensayo destructivo en el que la vida de los módulos y contactores se ve reducida.

El objetivo de este ensayo consiste en determinar la durabilidad mecánica del producto proveniente del lote inicial. Para ello, los módulos y contactores realizan operaciones de cierre y apertura a una frecuencia mucho más elevada que la determinada por la especificación técnica de producto: 28800 operaciones cada 24 horas comparado con las 550 operaciones por 24 horas. Esto supone un factor de aceleración de más de 50.

La durabilidad mínima declarada por la especificación técnica del producto es de 4 millones de operaciones.

Como en el resto de ensayos realizados para esta validación, los contactores no van a tener una carga que alimentar, es decir, por sus contactos tanto principales como auxiliares no va a circular ninguna corriente.

Se ha tomado la decisión de diseño de no incluir el ensayo de durabilidad eléctrica en este proceso de validación. La razón principal es que es el módulo es el producto que debe ser validado y no el contactor. En una durabilidad eléctrica, el desgaste, además de en el módulo, se produce en los contactos del contactor, ya que al abrir y cerrar se producen pequeños arcos de corriente que, con el tiempo, producen una soldadura eléctrica de los mismos.

El equipamiento necesario para realizar el ensayo es el siguiente:

- 6 módulos
- 6 contactores con 6 bobinas
- 1 contador de operaciones
- Un generador de operaciones con una frecuencia de 1200 operaciones por hora (28800 operaciones por 24 horas)
- 1 minicontactor
- Cable de calibre 20 AWG

- Fuente de energía capaz de suministrar 24 A (4 A por cada contactor) a una tensión de 74 VDC

Las condiciones del ensayo son las siguientes:

- Los módulos deben realizar 1200 operaciones por hora
- La tensión suministrada a los módulos debe ser la nominal (74 VDC)

El montaje debe realizarse de la siguiente manera:

- El minicontactor debe alimentarse desde el generador de operaciones, que suministra una tensión de 24 VDC con una frecuencia de 1200 operaciones por hora.
- A su vez, el minicontactor debe controlar el paso de los 74 VDC a los módulos. Como resultado los módulos son operados a una frecuencia de 1200 operaciones por segundo con 74 VDC.



Figura 3.4.4.1: *Ensayo de endurance mecánica: montaje.*



Figura 3.4.4.2: *Contadores de operaciones.*



Figura 3.4.4.3: *Montaje del módulo y contactor en endurencia mecánica.*

Tiempo de encendido (en segundos)	1,5
Tiempo de apagado (en segundos)	1,5
Tiempo por cada operación (en segundos)	3
Operaciones por minuto	20
Operaciones por hora	1200
Operaciones por día	28800
Operaciones por semana	201600

Tabla 3.4.4.1: Tiempos de *endurancia mecánica*.

Con los datos conseguidos del número de operaciones realizadas por cada contactor y módulo y con los requisitos de durabilidad descritos por el equipo de diseño en la especificación técnica de producto, se deben llevar a cabo dos acciones:

- Análisis de causa raíz de los fallos ocurridos antes del valor mínimo establecido por la especificación técnica del producto (4 millones de operaciones)
- Trazar la distribución de Weibull.

El único módulo que falló antes de los 4 millones de operaciones lo hizo a los 3.6 millones de operaciones. Si tenemos en cuenta los niveles de confianza establecidos por la especificación técnica del producto a la hora de pasar la *endurancia* (10%) y que el resto de módulos superó ampliamente los 4 millones de operaciones, se puede afirmar que el ensayo se completó con éxito. Sin embargo, es necesario analizar la causa raíz del fallo.

El modo de fallo del contactor al cual el módulo suministra la corriente es que no cierra sus contactos. Al inspeccionar visualmente el módulo se detecta que la placa de apantallamiento está desconectada de la placa principal. Los dos pines que las conectaban entre sí están en la placa de apantallamiento, cortocircuitando la placa principal.

La solución propuesta para evitar este tipo de fallos en el futuro y alargar la vida útil del módulo consiste en añadir adhesivo entre la placa de apantallamiento y la principal. De esta forma tanto el adhesivo como los pines de conexión mantendrán fijada la placa de apantallamiento.

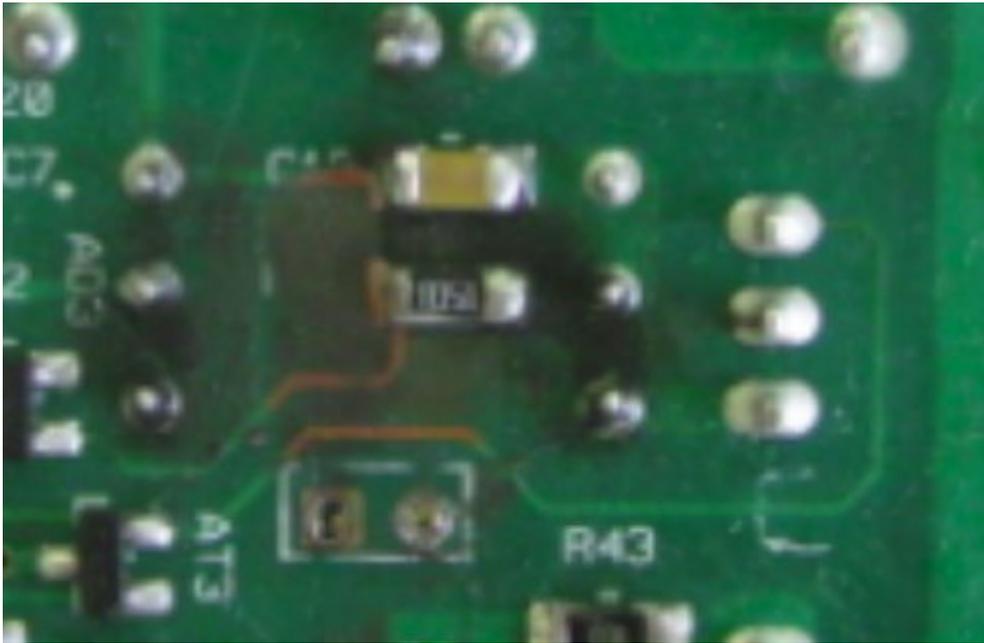


Figura 3.4.4.4: *Rotura de los pines de conexión y zona de desgaste.*

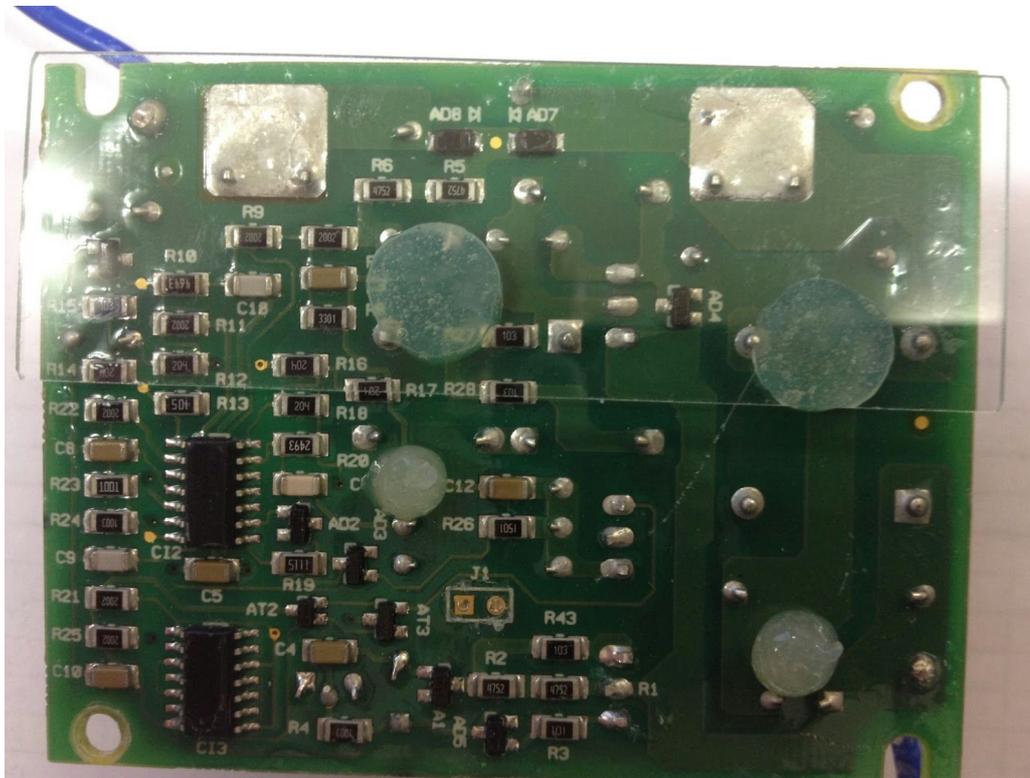


Figura 3.4.4.5: *Aplicación de adhesivo para fijar la placa de apantallamiento*

Nótese en la figura 3.4.4.3 que los puntos de aplicación de adhesivo han sido elegidos de tal manera que no cubran ningún componente de montaje superficial para evitar sobrecalentamiento de los mismos.

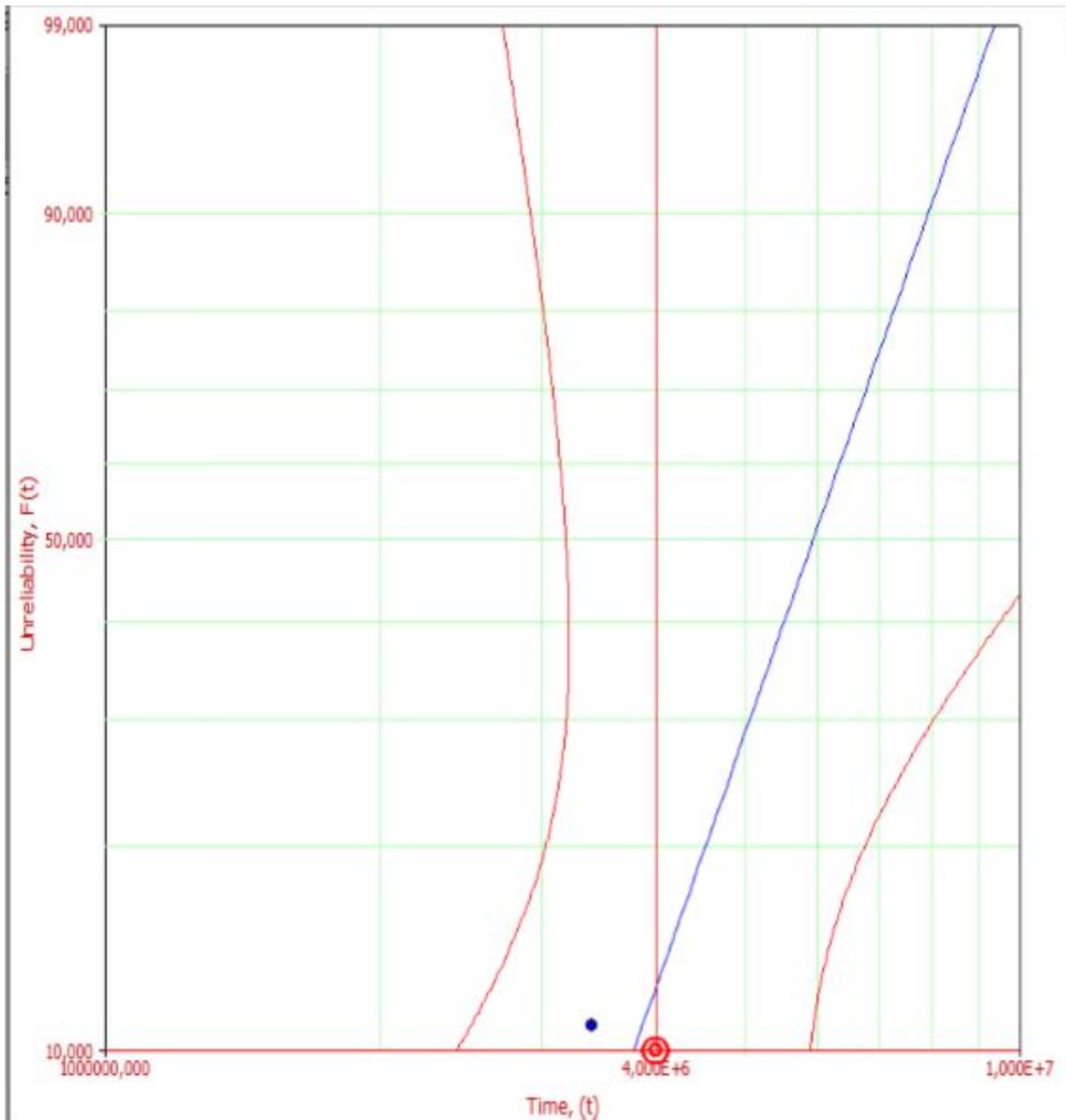


Figura 3.4.4.6: *Distribución de Weibull: ensayo de endurance mecánica.*

En las distribuciones Weibull, una cantidad de fallos elevada ayuda a determinar la fiabilidad de un producto con menor margen de error. Como en este caso solo se tiene un fallo, se tiene que esperar a que ocurran más y trazar de nuevo la distribución.

3.4.5. Ensayos de vibración

Los ensayos de vibración sirven para validar el producto para aplicaciones ferroviarias. Se deben especificar a que frecuencias y con que magnitud se debe configurar el controlador de vibraciones.

Cabe destacar que para cada uno de los tres ejes (vertical, lateral y longitudinal) existen distintos valores de frecuencias y amplitudes.

El ensayo de vibraciones debe constar de los siguientes elementos:

- Controlador de vibraciones
- Amplificador
- Cama de vibraciones
- 6 módulos electrónicos

El procedimiento de ensayo es el siguiente:

- Se introducen los valores de frecuencias y amplitudes.
- Se inicia el amplificador
- Se colocan los 6 módulos sobre la cama de vibraciones
- Se comprueba que los módulos están colocados paralelamente con el suelo
- Se inicia el ensayo
- Una vez finaliza el tiempo de vibración para cada eje, se inspeccionan los módulos visualmente y se ensayan funcionalmente de acuerdo con lo establecido por el procedimiento de ensayo a final de línea.

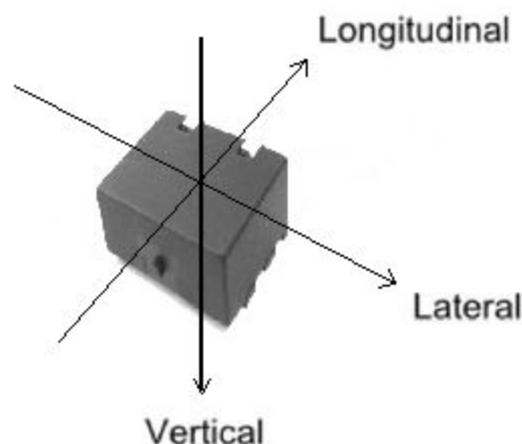


Figura 3.4.5.1: Direcciones en las que se van a aplicar las vibraciones en el módulo.



Figura 3.4.5.2: *Montaje del ensayo de vibraciones.*

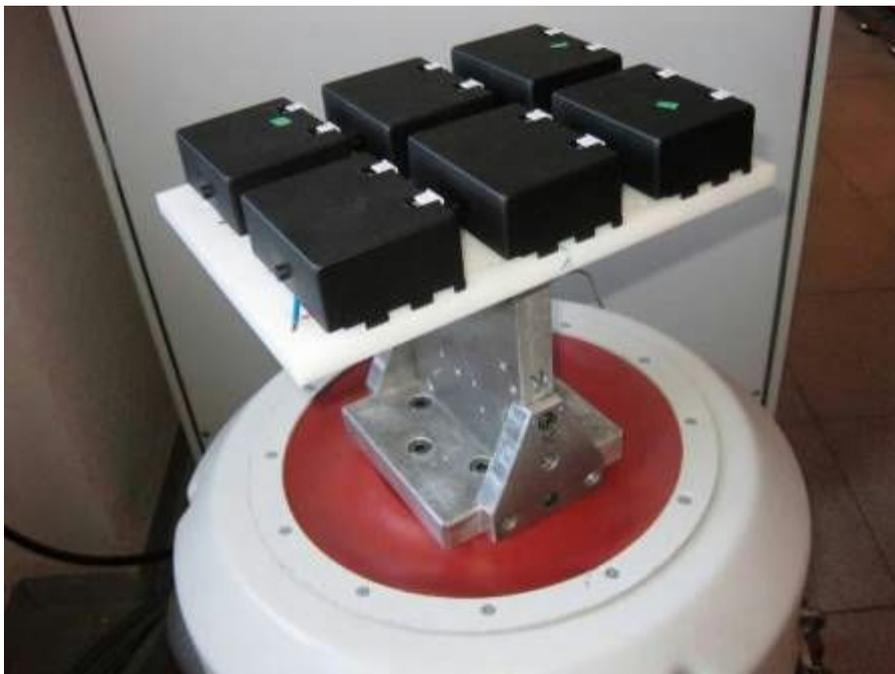


Figura 3.4.5.3: *Ensayo de vibraciones, eje vertical.*



Figura 3.4.5.4: Nivel utilizado para comprobar la horizontalidad de las muestras en el ensayo de vibraciones.



Figura 3.4.5.5: Ensayo de vibraciones, eje longitudinal.



Figura 3.4.5.6: *Ensayo de vibraciones, eje lateral.*

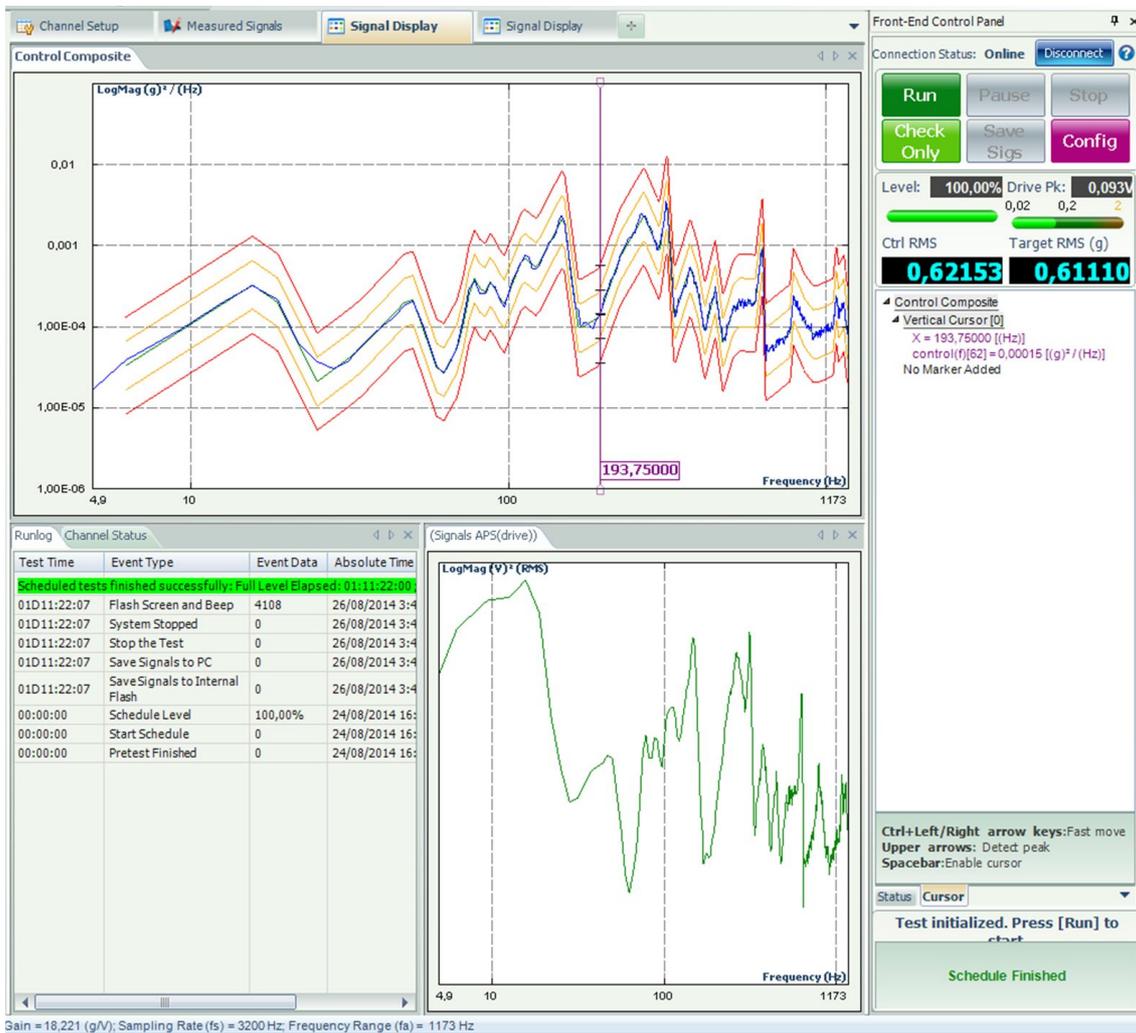


Figura 3.4.5.7: Perfil de vibración, eje vertical.



Figura 3.4.5.7: Perfil de vibración, eje longitudinal.

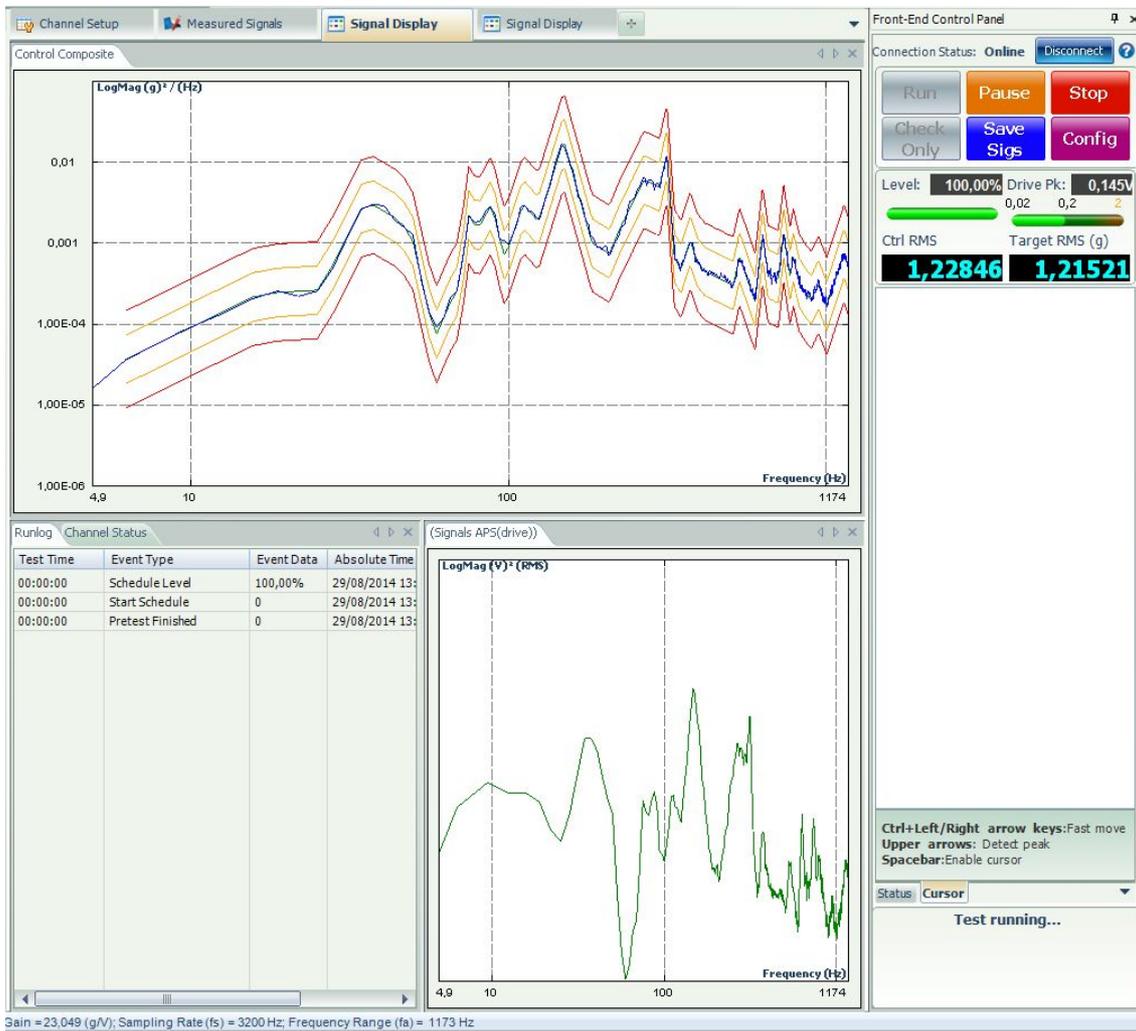


Figura 3.4.5.8: Perfil de vibración, eje lateral.

COMPOSITE PSD VALUES

LATERAL PSD =1.216		LONGITUDINAL PSD =0.771		VERTICAL PSD =0.612	
Hz	g ² /Hz	Hz	g ² /Hz	Hz	g ² /Hz
4.9	0.000023	4.9	0.000023	4.9	0.000018
16.5	0.000239	17.1	0.000088	17.1	0.000411
25.6	0.000264	25.6	0.000068	25.0	0.000021
35.4	0.003372	34.2	0.000101	33.6	0.000050
44.6	0.001993	40.9	0.000071	49.4	0.000245
49.4	0.001297	43.9	0.000087	61.0	0.000023
58.6	0.000067	50.0	0.000102	70.2	0.000062
66.5	0.000210	59.8	0.000029	74.5	0.000224
70.2	0.000287	70.2	0.000140	78.7	0.000429
74.5	0.002333	74.5	0.000239	83.0	0.000234
79.3	0.001537	78.7	0.000649	87.9	0.000373
81.8	0.001714	82.4	0.000391	96.4	0.000182
88.5	0.003124	87.9	0.001849	99.5	0.000244
96.4	0.000700	96.4	0.000475	111.1	0.000730
99.5	0.000843	111.1	0.000409	122.7	0.000536
111.1	0.003073	131.2	0.000297	148.9	0.002324
123.9	0.001858	149.5	0.002223	166.0	0.000093
148.9	0.018626	166.0	0.000195	192.3	0.000131
183.1	0.001004	183.1	0.000299	224.0	0.000720
207.5	0.000737	224.0	0.003179	266.7	0.002348
224.0	0.001520	266.7	0.003335	298.5	0.000834
266.7	0.006076	298.5	0.002640	314.9	0.003665
298.5	0.004932	314.9	0.009075	332.0	0.000131
314.9	0.012999	332.0	0.000306	372.9	0.000543
332.0	0.000673	348.5	0.000160	393.7	0.000269
348.5	0.000476	372.9	0.000180	414.4	0.000087
372.9	0.001073	393.7	0.000344	447.4	0.000295
393.7	0.000574	415.6	0.000168	472.4	0.000062
414.4	0.000447	447.4	0.000846	509.0	0.000164
509.0	0.000298	459.0	0.000087	532.8	0.000200
532.8	0.000681	508.4	0.000265	596.9	0.000193
596.9	0.000190	532.8	0.000375	629.9	0.001038

Figura 3.4.5.9: Valores de amplitud para cada una de las frecuencias.

Nótese que no todas las frecuencias son iguales para los tres ejes, por lo que la vibración en cada eje deberá ser configurada de manera individual.

4. Cierre del traspaso

Como ya se mencionó en el diagrama de flujo de la introducción, este traspaso de fábrica consta de un proceso iterativo de revisión de la documentación.

Una vez que se han finalizado con éxito los ensayos del plan de validación, se debe emitir la documentación final, tanto internamente como para la empresa fabricante del módulo.

En este momento se puede proveer al cliente con el producto. Los resultados de campo son la confirmación final de que la empresa fabricante está capacitada para continuar suministrando módulos electrónicos.

En paralelo se va a llevar a cabo la validación de la solución de adhesivo para fijar la placa de apantallamiento al resto del módulo, como ha sido explicado en la sección de endurancia mecánica 3.4.4. No es necesario parar la producción del módulo porque el riesgo es considerado bajo.

5. Discusión de resultados y conclusiones

El éxito de traspaso de fábrica de un producto viene dado por la satisfacción del cliente al utilizarlo en su aplicación habitual durante un largo periodo de tiempo en su aplicación. En este caso, el cliente no ha utilizado el producto suficientemente como para sacar conclusiones definitivas. Sin embargo, sí se pueden realizar las siguientes observaciones:

- Los módulos han pasado con éxito todos los ensayos propuestos (ensayo a final de línea, ensayo de vida acelerada, evaluación del margen de diseño, ensayo de endurancia mecánica y ensayo de vibraciones)
- El diseño del producto ha sido depurado en los siguientes aspectos:
 - Se han encontrado fabricantes alternativos para los componentes críticos que solo tenían un fabricante aprobado.
 - Se han encontrado alternativas para los componentes obsoletos o difíciles de proveer (tiempos de espera largos, fabricantes poco presentes en las cadenas de suministro)
 - Se han propuesto y validado soluciones para extender la vida útil del producto:
 - Nuevo proceso de aplicación de adhesivo para evitar la desconexión de la placa de aislamiento electromagnético
 - Cambio en la orientación del diodo AD6 para evitar estrés mecánico en el silicio del componente
- La documentación del producto ha sido revisada y actualizada:
 - Los cambios en componentes y fabricantes han sido reflejados en la lista de materiales (BOM).
 - Un documento explicativo del proceso de aplicación de adhesivo para unir la placa principal con la de apantallamiento ha sido creado.
 - Siempre que fuese necesario, la documentación ha sido traducida al inglés para mayor comodidad por parte del fabricante del módulo.
 - El procedimiento de ensayo a final de línea ha sido depurado para reflejar los resultados estadísticos de la validación.

En base a estos resultados, se pueden esperar los resultados por parte del cliente con la confianza de que serán positivos.

A continuación se van a proponer algunas acciones para trabajos futuros:

- Revisar la lista de materiales (BOM) y aprobar fabricantes alternativos para todos aquellos componentes que solo dispongan de un fabricante aprobado.
- Cambiar todos aquellos componentes realizados por encargo por componentes estándar disponibles en los canales de distribución. Esta acción se realizaría con respecto a la bobina L1, que se fabrica por encargo.
- Revisar el diseño del producto en los siguientes aspectos:
 - Reducir el número de componentes únicos consolidándolos, es decir, eliminar un componente de la lista y utilizar en su lugar otro. Para realizar la consolidación con garantías, se debe analizar primero el circuito en el que son utilizados los componentes y su utilidad en el mismo. Por ejemplo, se podrían consolidar algunas resistencias de montaje superficial ya que su función es la de acondicionamiento de la señal, y un valor exacto no suele ser requisito fundamental. Esta consolidación simplificaría el proceso de abastecimiento de componentes así como el proceso de producción.
 - Cambiar de una placa de circuito impreso con componentes en ambas caras a una placa de circuito impreso con componentes en una sola cara. Esto supondría un rediseño de la PCB, realizando comprobaciones de que todos los componentes tienen espacio suficiente en una sola cara. Algunos componentes también podrían cambiar de ser de inserción a ser de montaje superficial. Este diseño facilitaría el proceso de fabricación. El inconveniente es que un rediseño supone un esfuerzo considerable en tiempo y recursos.

Como conclusión, se han realizado el traspaso de fábrica con éxito conforme a los objetivos planteados en este Trabajo de Fin de Grado.

Tiempos de ejecución del traspaso

WBS	Tarea	Comienzo	Final	Cal. Días	% Completo	Días laborales
1	Revisión y transferencia de documentación					
1.1	Lista de materiales	23/12/14	05/01/15	14	100%	10
1.2	Proceso de aplicación de adhesivo	23/12/14	25/12/14	3	100%	3
1.3	Gerbers	23/12/14	29/12/14	7	100%	5
1.4	Planos de ensamblaje	23/12/14	25/12/14	3	100%	3
2	Aprovisionamiento de materiales y componentes					
2.1	Partes y componentes por encargo	06/01/15	15/01/15	10	100%	8
2.2	Partes y componentes producidos en masa	06/01/15	19/01/15	14	100%	10
3	Producción del módulo electrónico					
3.1	Producción de los circuitos impresos	20/01/15	26/01/15	7	100%	5
3.2	Ensamblaje de los componentes de montaje superficial	27/01/15	28/01/15	2	100%	2
3.3	Inserción de los componentes de taladro pasante	29/01/15	30/01/15	2	100%	2
3.4	Aplicación del adhesivo	31/01/15	31/01/15	1	100%	0
3.5	<i>Soldadura de la placa de apantallamiento</i>	01/02/15	01/02/15	1	100%	
4	Proceso de validación					
4.1	Ensayos a final de línea	01/02/15	03/02/15	3	100%	2
4.2	Ensayo de vida acelerada	04/02/15	11/02/15	8	100%	6
4.3	Evaluación del margen de diseño	04/02/15	06/02/15	3	100%	3
4.4	Ensayo de endurancia mecánica	04/02/15	13/02/15	10	100%	8
4.5	<i>Ensayo de vibraciones</i>	04/02/15	06/02/15	3	100%	3

Apéndices

Apéndice A

Seguridad e higiene en el laboratorio

Durante el proceso de validación en el laboratorio, se deben tomar las siguientes medidas de seguridad:

- Llevar cascos de aislamiento acústico en la sala de endurancia mecánica ya que el ruido en la sala supera los decibelios permitidos
- Llevar calzado con punta de acero para proteger los pies de la caída de objetos pesados.
- Llevar gafas de protección al utilizar objetos puntiagudos como destornilladores, o al estar en contacto o cerca de mecanismos en movimiento de los que puedan salir despedidos partes que puedan dañar a los ojos.
- No abrir las cámaras climáticas cuando estén a temperaturas extremas
- Al trabajar con equipos en tensión, tener en cuenta la siguiente tabla:

BODILY EFFECT	DIRECT CURRENT (DC)	60 Hz AC	10 kHz AC
Slight sensation felt at hand(s)	Men = 1.0 mA Women = 0.6 mA	0.4 mA 0.3 mA	7 mA 5 mA
Threshold of perception	Men = 5.2 mA Women = 3.5 mA	1.1 mA 0.7 mA	12 mA 8 mA
Painful, but voluntary muscle control maintained	Men = 62 mA Women = 41 mA	9 mA 6 mA	55 mA 37 mA
Painful, unable to let go of wires	Men = 76 mA Women = 51 mA	16 mA 10.5 mA	75 mA 50 mA
Severe pain, difficulty breathing	Men = 90 mA Women = 60 mA	23 mA 15 mA	94 mA 63 mA
Possible heart fibrillation after 3 seconds	Men = 500 mA Women = 500 mA	100 mA 100 mA	

Figura A.1: *Corrientes eléctricas y su efecto a su paso por el cuerpo humano.*

- Como regla general, extremar las precauciones cuando se trabaja con corrientes superiores a 50 mA

Apéndice B

Lista de materiales

Descripción	Referencia de fabricante	Fabricantes aprobados	Cantidad	Referencia
Borna de entrada módulo electrónico	40039308		2	
Caja de módulo electrónico	40039309		1	
PIS ACABLES	40036811		2	
TAPETA CL05	40038923		2	
Hysol® Product 0151	Hysol 0151		1	
RTV 162	RTV 162			
Dow Corning 1-2577	1-2577		1	
BASE CE-1171 CONAP, INC	CE-1171			
Conjunto PCB y componentes de agujero pasante módulo electrónico	40056473		1	
C 470n MKT 10% M5 63VDC	B32529C0474	Preferido: TDK- Epcos	2	C2, C6

C 4u7 TANTALUM 20% M5 25VDC	TAP475M025C	Preferido: KEMET, AVX-KYOCERA , ALTERNATIVA:STM	1	C1
Zener BZT03C20 20V 5% 1W5 AXI SOD-57	BZT03C20	PREFERIDO GENERAL SEMICONDUCTOR; ALTERNATIVA: DIOTEC tanto 1W5 como 2W FAGOR, Vishay	2	A2, A3
Puente rectificador KBPC810 1KV 8A Cuadrado	BR810, BR1010 KBPC810	Rectron DC Components	1	REC1
DIODO BY399 800V 3A AXI DO201	BY399	PREFERIDO: DIOTEC RECTIFIER ALTERNATIVA:G.I., RECTRON, GOODARK	1	AD6
DIODO BA159 1KV 1A AXI DO41	BA159	PREFERIDO: NXP , ALTERNATIVA:FAG OR,ITT,STM, DC COMPONENTS,GO OD- ARK,SEP,DIOTEC	1	AD9
TRT NMOS IRF830 TO220AB	STP6NK50Z	PREFERIDO: HARRIS(FAIRCHILD) , Vishay , ALTERNATIVA:STM STP6NK50Z	1	AT1
TRT DARLNPN BDX33C TO220AB	BDX33CG	PREFERIDO: ON SEMI , ALTERNATIVA: STM	1	AT5
C 47n KT 10% M5 60VDC (C)	B32529C0473K18 9	PREFERIDO: TDK- EPCOS	1	C11
RES. 22R 1/2W 5% CARBON-FILM	CFR-50JT-52-22R	YAGEO	1	R29
TRT NMOS IRF740 TO220AB	IRF740PBF	PREFERIDO: HARRIS ALTERNATIVA:SAM SUNG,STM,Vishay	1	AT4

MOV V150ZA8 150V 30J DISK D14	JVR14N151K87PU 5-L	PREFERIDO: JOYIN	1	MOV1
C 470n MKT 10% M15 160V DC	R60II3470AA30K	KEMET, KONEK,NXP, altura 5 mm.	2	C14, C15
Bobina 200uH	ML21.455	Por encargo	1	L1
RES. 0,68R 1/2W 5% CARBON-FILM	CFR-50JT-52-0R68	YAGEO	2	R31, R32
RES. 0,56R 1/2W 5% CARBON-FILM	CFR-50JT-52-0R56	YAGEO	1	R30
Conjunto Cable y conector	40124991	Ver planos	2	+, -
C 10u ELECTR 20% M5 160VDC 105°C	EGF106M2CF12** SA ECA2CHG100	Altura máxima: 15mm. Manyue (EGF106M2CF12** SA) Panasonic (ECA2CHG100)	1	C13
IC VOLTAGE REG LM285Z TO92	LM285Z-1.2G	PREFERIDO: Texas Instruments LM285Z 1.2 TO92 , ALTERNATIVE:ON SEMI,STM	1	CI1
Conjunto PCB y componentes de montaje superficial	40125324		1	
RES 1K5 1/4W 1% STANDARD SMD 1	RC1206FR- 071K5L	NXP, Roederstein, Samsung, Daewoo, Harris,HDK,ITT,On Semi,Maxim,AMD, STM,Toshiba,Wima , Yageo, Texas Instruments,	1	R26
RES 1K 1/4W 1% STANDARD SMD 12	RC1206FR-071KL		1	R23
RES 249K 1/4W 1% STANDARD SMD	RC1206FR- 07249KL		1	R20
RES 5K11 1/4W 1% STANDARD SMD	RC1206FR- 075K11L		1	R19
RES 10K 1/4W 5% STANDARD SMD 1	RC1206JR-0710KL		4	R15, R27, R28, R43
RES 1M 1/4W 5% STANDARD SMD 12	RC1206FR / RC1206JR-071ML		1	R13
RES 200K 1/4W 5% STANDARD SMD	RC1206JR- 07200KL		5	R12, R14, R16, R17, R18

RES 3K3 1/4W 1% STANDARD SMD 1	RC1206FR- 073K3L		1	R8
RES 20K 1/4W 1% STANDARD SMD 1	RC1206FR- 0720KL		6	R7, R9, R11, R21, R22, R25
RES 100K 1/4W 1% STANDARD SMD	RC1206FR- 07100KL		2	R4, R24
RES 100R 1/4W 5% STANDARD SMD	RC1206JR- 07100RL		1	R3
IC NAND MC14093B SO14D	MC14093BDR2G	PREFERIDO:ON SEMI. FAIRCHILD , ALTERNATIVA:Texa s Instruments,STM	1	CI3
C 1n5 COG 5% SMD1206 50VDC ©	C1206C152J5GAC	PREFERIDO: Kemet, NXP, TDK- Epcos , ALTERNATIVA:BIO HMSA,AVX- KYOCERA	2	C9, C18
C 330p COG 5% SMD1206 50VDC (C	C1206C331J5GAC	PREFERIDO: Kemet, NXP, TDK- Epcos , ALTERNATIVA:BIO HMSA,AVX- KYOCERA	1	C7
C 100n X7R 10% SMD1206 50VDC (C1206C104K5RA C	PREFERIDO: Kemet, NXP, TDK- Epcos , ALTERNATIVA:BIO HMSA,AVX- KYOCERA	6	C3, C4, C5, C8, C10, C12
TRT PNP BC856BLT1 SOT23 ©	BC856BLT1G	PREFERIDO: ON SEMI, NXP , ALTERNATIVA:BC8 56C ON SEMI, SIEMENS,	1	AT3
TRT NPN BC846BWT1 SOT323 ©	BC846B,215	PREFERIDO: ON SEMI, SIEMENS, Texas Instruments , ALTERNATIVA:STM, TOSHIBA, NXP	1	AT2
Diode S07M	S07M	PREFERIDO: NXP , ALTERNATIVA:S07 M GENERAL SEMICONDUCTOR; VISHAY	2	AD7, AD8

DIODE BAS16 75V 0A25 SMD SOT23	BAS16LT1G	PREFERIDO: NXP, ON SEMI,MIC , ALTERNATIVA:SIEM ENS,ITT,RECTRON,	3	AD3, AD4, AD5
DIODE BAW56 70V 0A26 SMD SOT23	BAW56,215	PREFERIDO: ITT , ALTERNATIVA: VISHAY,NXP	1	AD2
DIODE BAV70 70V 0A27 SMD SOT23	BAV70,215	PREFERIDO: NXP , ALTERNATIVA: VISHAY	1	AD1
PCB CI-431/4	10036697	Información de producción de PCB contenida en los gerbers	1	
Zener BZX84C18 18V 5% 0W35 SMD	BZX84-C18,215	PREFERIDO: GENERAL SEMICONDUCTOR , ALTERNATIVA:NXP, DIOTEC	1	A1
RES 464K 1/4W 1% STANDARD SMD	RC1206FR- 0746 4KL	NXP, Roederstein, Samsung, Daewoo, Harris,HDK,ITT,On Semi,Maxim,AMD, STM,Toshiba,Wima , Yageo, Texas Instruments,	1	R10
RES 47K5 1/4W 1% STANDARD SMD	RC1206FR- 0747K5L		4	R1, R2, R5, R6
IC COMPARADOR LM2901M SO14 (C)	LM2901DR2G	PREFERIDO: TEXAS Instruments , ALTERNATIVA:STM, ON SEMI	1	CI2
Tornillo DIN 7981 / DIN EN ISO 7049, punta tipo F, diámetro 2.9 mm, longitud 8 mm, zincado	10034439		2	
PCB apantallamiento electromagnético	40045917		1	
PCB CI-434/1	10036693		1	

<p>CONECTOR BERG 75844-102 2 conectores de metal diámetro = 1.0mm Distancia = 2.5mm</p>	<p>BERG 75844-102</p>	<p>FCI CONNECT</p>	<p>1</p>	<p>J1</p>
<p>TE CONNECTIVITY / AMP – 1-826629-6 2 conectores de metal diámetro = 1.0mm Distancia = 2.5mm</p>	<p>1-826629-6</p>	<p>TE CONNECTIVITY / AMP</p>		

Apéndice C

Hoja de características del puente de diodos

SINGLE-PHASE SILICON BRIDGE RECTIFIER

VOLTAGE RANGE 50 to 1000 Volts CURRENT 8.0 Amperes

FEATURES

- * Surge overload rating: 200 amperes peak
- * Low forward voltage drop

MECHANICAL DATA

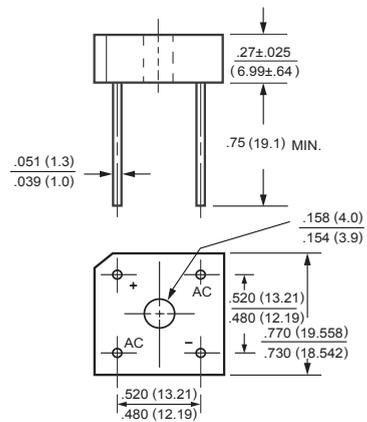
- * UL listed the recognized component directory, file #E94233
- * Epoxy: Device has UL flammability classification 94V-O
- * Lead: Mil-STD-202E method 208C guaranteed
- * Mounting position: Any
- * Weight: 7.86 grams
- * Mounting: Hole thru for # 6 screw

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25 °C ambient temperature unless otherwise specified.
Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.



BR-8



Dimensions in inches and (millimeters)

MAXIMUM RATINGS (At TA = 25°C unless otherwise noted)

RATINGS	SYMBOL	BR805	BR81	BR82	BR84	BR86	BR88	BR810	UNITS	
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts	
Maximum RMS Voltage	V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	Volts	
Maximum DC Blocking Voltage	V _{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	Volts	
Maximum Average Forward Tc = 50°C	I _O	8.0								Amps
Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	I _{FSM}					125				Amps
Current Squared Time	I ² t					65				A ² /Sec
Operating Temperature Range	T _J					-55 to + 150				°C
Storage Temperature Range	T _{STG}					-55 to + 150				°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (At TA = 25°C unless otherwise noted)

CHARACTERISTICS	SYMBOL	BR805	BR81	BR82	BR84	BR86	BR88	BR810	UNITS	
Maximum Forward Voltage Drop per element at 4.0A DC	V _F					1.1				Volts
Maximum Reverse Current at Rated	I _R					5.0				uAmps
DC Blocking Voltage per element						0.2				mAmps

- NOTES : 1. Thermal Resistance : Mounted on PCB.
2. "Fully ROHS compliant", "100% Sn plating (Pb-free)".
3. Available in Halogen-free epoxy by adding suffix -HF after the part nbr.

RATING AND CHARACTERISTIC CURVES (BR805 THRU BR810)

FIG. 1 - MAXIMUM NON-REPETITIVE FORWARD SURGE CURRENT

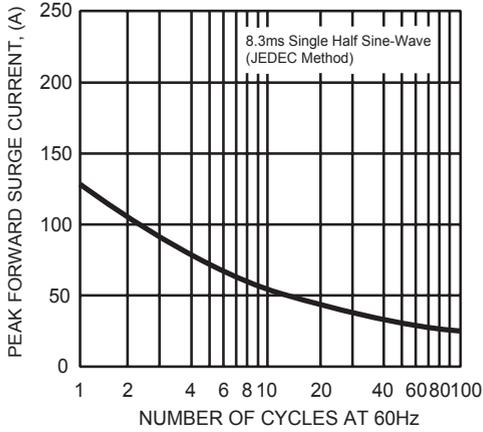


FIG. 2 - TYPICAL FORWARD CURRENT DERATING CURVE

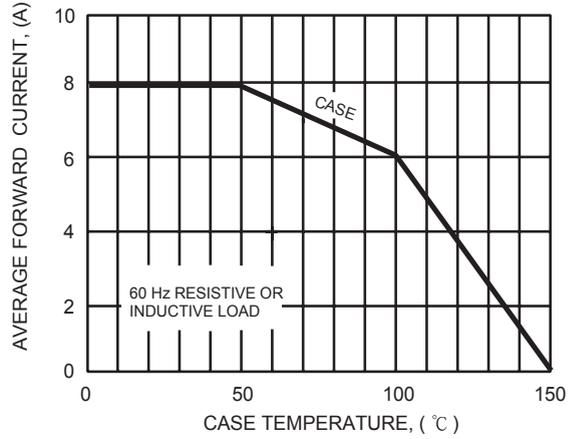


FIG. 3- TYPICAL INSTANTANEOUS FORWARD CHARACTERISTICS

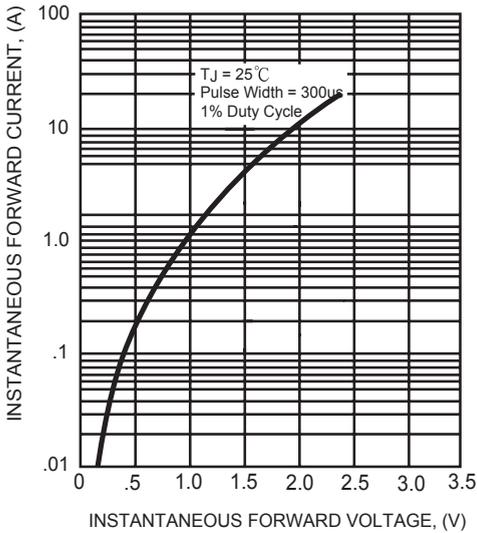
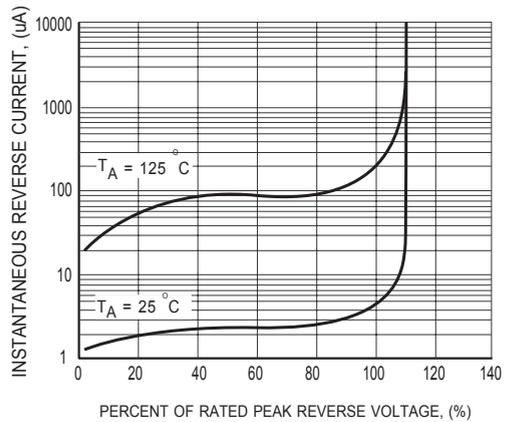


FIG. 4- TYPICAL REVERSE CHARACTERISTICS

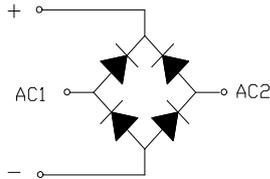




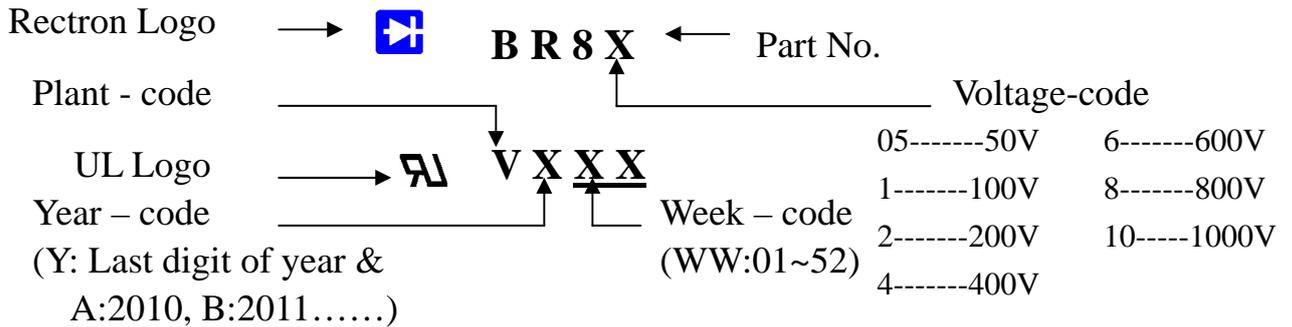
RECTRON

Attachment information about BR8X

1. Internal Circuit



2. Marking on the body



3. Items marked on the inner box and carton

3.1 On the box (for -B)

CUSTOMER
TYPE
LOT NO.
QUANTITY
Q.A.
DATE

3.2 On the carton

CUSTOMER
TYPE
QUANTITY
LOT NO.
REMARK

PACKAGING OF DIODE AND BRIDGE RECTIFIERS

BULK PACK

PACKAGE	PACKING CODE	EA PER BOX	INNER BOX SIZE (mm)	CARTON SIZE (mm)	EA PER CARTON	GROSS WEIGHT(Kg)
BR-8	-B	200	236*236*50	497*251*282	2,000	12.24

DISCLAIMER NOTICE

Rectron Inc reserves the right to make changes without notice to any product specification herein, to make corrections, modifications, enhancements or other changes. Rectron Inc or anyone on its behalf assumes no responsibility or liability for any errors or inaccuracies. Data sheet specifications and its information contained are intended to provide a product description only. "Typical" parameters which may be included on RECTRON data sheets and/ or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. Rectron Inc does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit.

Rectron products are not designed, intended or authorized for use in medical, life-saving implant or other applications intended for life-sustaining or other related applications where a failure or malfunction of component or circuitry may directly or indirectly cause injury or threaten a life without expressed written approval of Rectron Inc. Customers using or selling Rectron components for use in such applications do so at their own risk and shall agree to fully indemnify Rectron Inc and its subsidiaries harmless against all claims, damages and expenditures.

Apéndice D

Doblado de patas de un diodo de inserción

How to bend or cut wires of axial lead diodes in a correct way

Correct ✓

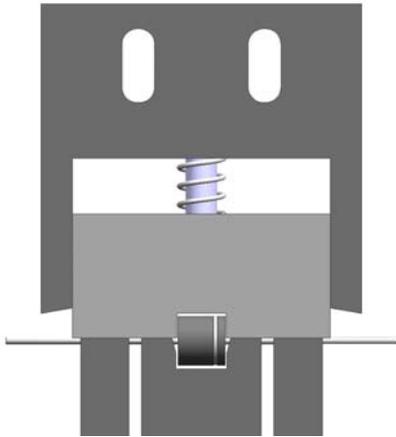


Fig. 1: Before bending, the diode's leads must be clamped completely to prevent stress inside the diode. Clamping and fixing takes place with the light grey plunger above.

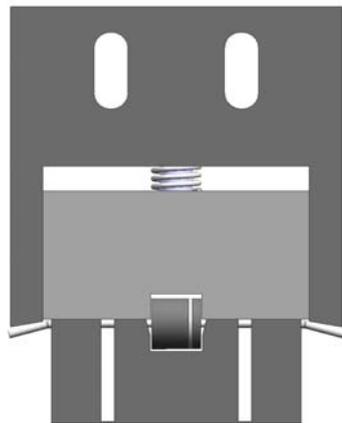


Fig. 2: Now the bending process starts. Only the wire which must be bent is unclamped. The diode itself is fixed.

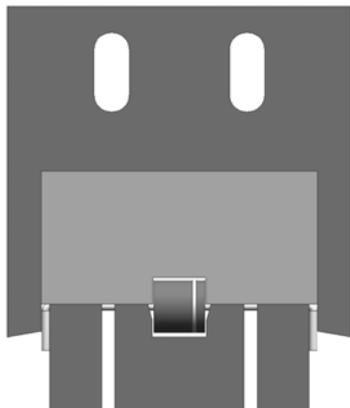


Fig. 3: The bending process is finished. Due to the fact that the diode and the wires are completely clamped, no force or bending moment was created which could damage the internal diode chip.

Wrong!

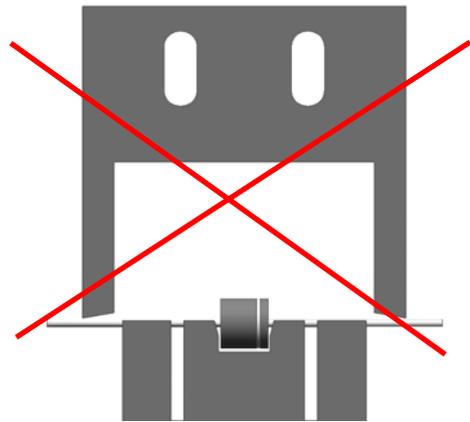


Fig. 1a: Here the diode is not clamped, the diode can move and the chip inside becomes stressed.

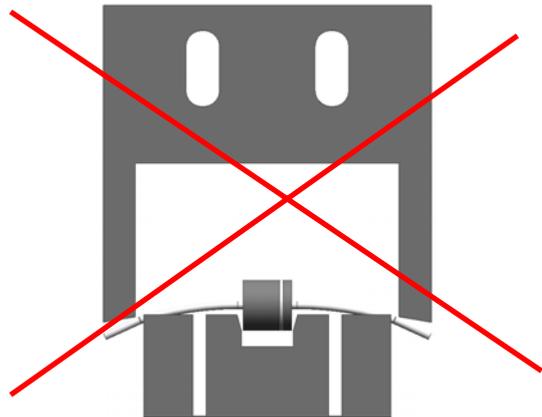


Fig. 2a: Now the bending process starts. You can see that the complete wire becomes stressed.

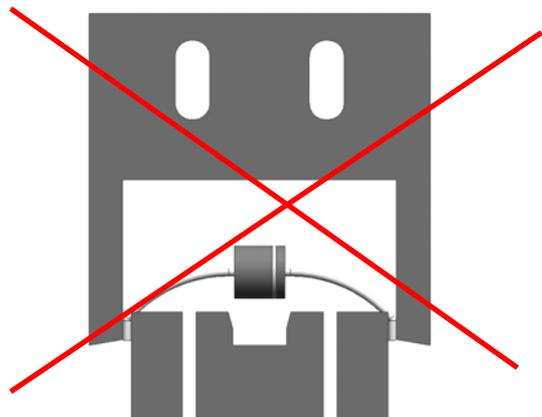


Fig. 3a: The bending process is finished. Due to the fact that the diode and the wires are not clamped, a force and bending moment was created damaging the internal diode chip.

Bibliografía

[1] SCHEER, August-Wilhelm. “CIM Towards the Factory of the Future”. Tercera edición. Springer-Verlag. 1994. ISBN: 3-540-57964-8

[2] GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier; FUENTES LOSA, Julio. “Ingeniería Ferroviaria”. Primera edición. Universidad Nacional de educación a distancia. 2006. ISBN: 84-362-5293-4

[3] PRIDA ROMERO, Bernardo; GUTIÉRREZ CASAS, Gil. “Logística de aprovisionamientos: el cambio en las relaciones proveedor-cliente, un nuevo desafío para la empresa del siglo XXI”. Primera edición. McGraw-Hill/Interamericana de España. 1996. ISBN: 84-481-0285-1

