

E.T.S. de Ingeniería Industrial,

Informática y de Telecomunicación

SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN EQUIPAMIENTO ESPECÍFICO DE INSTALACIONES DEPORTIVAS DE FITNESS.



Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo Fin de Grado

Autor: Fernando García Mauleón

Director: Juan Ignacio Latorre Biel

Tudela, 11 de Junio de 2015

AGRADECIMIENTOS

Una vez finalizada mi trayectoria universitaria con este trabajo de fin de grado, me gustaría agradecer a todas las personas que han colaborado conmigo y me han ayudado.

En primer lugar me gustaría agradecer el apoyo incondicional que he recibido desde casa, sin el no hubiera llegado a donde estoy. Dar las gracias por el ánimo y confianza dado por parte de mis padres. A mi madre por el apoyo, sacrificando cosas suyas por las mías, a mi padre por su paciencia y entendimiento, a la fuerza transmitida por mis tíos, primos y familiares y a esos empujones en ciertos momentos de flaqueza. Habido momentos buenos, regulares, malos y muy malos pero con el apoyo de todos he conseguido salir adelante sin tirar la toalla y llegar a donde he llegado.

Este trabajo ha sido realizado junto a Juan Ignacio Latorre Biel, al que le quiero agradecer su dedicación y disponibilidad; por ayudarme siempre que lo he necesitado y en muchas ocasiones pulsar esa tecla la cual soluciona un problema que pensabas que era imposible de solucionar. Gracias por tu ayuda, consejos y tu amabilidad. Sin olvidarme de Ángel Jaraba, jefe de taller, por toda la ayuda y disponibilidad ofrecida y su dedicación a la hora de realizar los prototipos y pruebas en el taller, sin su ayuda, este proyecto no estaría completo.

En tercer lugar y no menos especial quería agradecer a mis compañeros el apoyo prestado pero en concreto a ese grupillo de 8 personas los cuales nos se han convertido en unos amigos o compañeros de universidad sino en una familia. Por todos esos ratos en la universidad buenos y malos, por los ratos de estudio y de fiesta, por los momentos de risa y de broncas, por esos descansos de 2 o 3 horas, por los viajes que hemos hecho juntos, por todos esos momentos, gracias, gracias por el cariño, compañerismo y por esa “piña” tan buena, sin vosotros esto no hubiera sido lo mismo.

También me quiero acordar de mi grupo de deporte, tanto los compañeros de gimnasio como al equipo de UPNA C. Gracias por esos ratos tan buenos al final del día donde se soltaban todas las tensiones acumuladas del día y eso ratos donde uno se olvidaba de todo el estrés y agobio que conlleva la carrera. El único pero no haber conseguido ganar la liga de 1ª división de fútbol sala quedando segundos y perder la final de la copa pero estoy seguro que los que vendrán serán mejores que los que nos vamos.

A todas aquellas personas que me habéis ayudado directamente o indirectamente, gracias.

RESUMEN

En la sociedad actual, la preocupación por mantener un buen estado de salud, lleva a muchas personas a hacer uso de instalaciones deportivas. En particular las instalaciones de fitness o gimnasios son muy populares entre los aficionados al deporte. En dichas instalaciones existe equipamiento muy diverso, utilizado para “quemar calorías”. La energía consumida en las actividades que hacen uso de dicho equipamiento se disipa en forma de calor.

Este TFG pretender proponer una solución a la recuperación de parte de dicha energía por medio de diversos dispositivos como materiales piezoeléctricos o generadores de corriente continua. De esta forma se pretende aumentar la eficiencia energética de las instalaciones deportivas, reducir la dependencia de combustibles fósiles, así como las emisiones derivadas.

Los dispositivos a desarrollar en este TFG se integraran en máquinas fitness y aprovecharan unas características mecánicas constructivas comunes a una amplia diversidad de máquinas existentes en el mercado.

PALABRAS CLAVE (Máx. 5)

Fitness, máquina, energía, materiales piezoeléctricos, dínamo.

Contenido

1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	6
1.1. Contexto energético.....	6
1.2. Nuevas tecnologías.	6
1.3. Actividades físico-deportivas.	7
1.4. Recolección energética o “Energy harvesting”.....	7
2. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO Y NORMATIVA.....	9
2.1. PLANTEAMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES.	9
2.2. NORMATIVA.	10
3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS.....	12
3.1. ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS.	13
3.2. TECNOLOGÍAS, DISPOSITIVOS Y TIPOS DE INTEGRACIÓN.....	14
4. ELECCIÓN JUSTIFICADA DE UNA SOLUCIÓN.....	18
4.1. Elección de un tipo de integración.....	18
4.2. Elección de subsistema para la recuperación de energía.	21
5. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN:.....	32
5.1. Componentes mecánicos.	32
5.3. Sistema mecánico.....	38
5.4. Componentes eléctricos.....	38
5.4. Sistema eléctrico.	39
5.5. Montaje de la mordaza.	40
5.2.1. Proceso de montaje:.....	42
5.2.2. Proceso de colocación.....	44
5.2.3. Unión barra acopladora- dínamo.....	46
6. REPRESENTACIÓN GRÁFICA. VISTAS 3D.	48
7. VIABILIDAD ECONÓMICA Y COMERCIAL.	50
7.1. Balance energético.....	50
7.2. Balance económico.	55
7.3. Estudio Pareto.	56
8. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES.	58
8.1. Ensayos virtuales.	58
8.2. Interpretación de los resultados energéticos.	71

8.3. Cumplimiento de las especificaciones.	73
8.4. Repercusión a gran escala.	75
9. CONCLUSIONES.	76
10. BIBLIOGRAFIA.	78
11. ANEXOS	81

1. CONTEXTUALIZACIÓN.

1.1. Contexto energético.

Producir energía limpia; apostar por las renovables; frenar la dependencia de las importaciones energéticas, limitar el efecto invernadero... son objetivos a los que es difícil oponerse. Proporcionar energía eficiente y limpia es un reto y cada vez va cobrando más interés. A pesar de que en los últimos años ha habido avances importantes referidos a las energías renovables, los combustibles fósiles encabezan la lista de recursos utilizados para la generación de energía. Las emisiones de estos combustibles provocan daños irreparables al planeta, algo que la sociedad se está empezando a concienciar ya que los combustibles fósiles no son infinitos, llegara el día que se agoten, además de que la demanda energética aumenta cada día más y de no actuar al respecto, llegará un momento en que esta situación será insostenible.

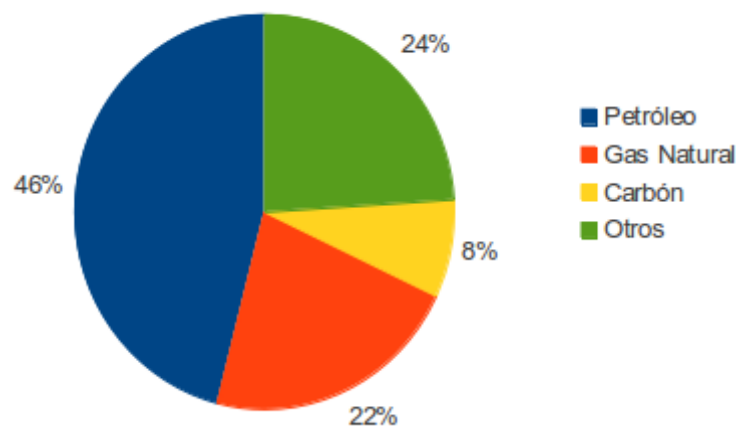


Fig. 1- Energía prima consumida en España año 2014. Imagen tomada de (1)

1.2. Nuevas tecnologías.

Por ello en la actualidad se busca nuevos campos y nuevas formas de aprovechar la energía limpia. Existen numerosas actividades que realizamos a diario y de manera inconsciente o rutinaria las cuales si se estudian y se busca soluciones se podrían aprovechar como posibles fuentes de energía. Además nos encontramos en una época que se caracteriza por el desarrollo de nuevos materiales y nuevas aplicaciones que nos está ofreciendo posibilidades tecnológicas hasta el momento solo soñadas en la ciencia ficción.

Los nuevos materiales son productos de nuevas tecnologías fruto del desarrollo de la química y la física aplicada, de la ingeniería y de la ciencia de los materiales.

1.3. Actividades físico-deportivas.

La práctica físico-deportiva se ha consolidado en las sociedades actuales como un hábito entre las ocupaciones del tiempo libre de un número elevado de personas. La preocupación por mantener un buen estado físico lleva a hacer un uso intensivo de instalaciones deportivas. Dentro de las numerosas instalaciones deportivas como frontones, campos, pistas, piscinas... encontramos las salas de fitness o gimnasios.

Con respecto a lo mencionado anteriormente, un nuevo campo en el que se podría buscar un aprovechamiento de la energía son estas salas de fitness. ¿Por qué este campo? En dichas instalaciones existe equipamiento muy diverso que se usa para obtener el resultado que desee la persona (perder peso, ganar peso, quemar calorías, mejorar la resistencia, etc.), mediante numerosas repeticiones realizadas en dichas máquinas. La energía consumida en las actividades para realizar el ejercicio se disipa en forma de calor.

Entonces, ¿Por qué no recuperar dicha energía para contribuir a satisfacer la demanda eléctrica diaria de la propia instalación?

1.4. Recolección energética o “Energy harvesting”.

En la actualidad existen numerosos dispositivos que generan electricidad a partir del movimiento y diferentes proyectos en los que se busca un aprovechamiento de la energía o también conocido como “Energy Harvesting”.

Se entiende por “Energy Harvesting” (también conocido como la recolección de energía) al proceso por el cual la energía se deriva de fuentes externas (por ejemplo, energía solar, energía térmica, energía eólica, los gradientes de salinidad, y la energía cinética), es capturada y se almacenada para pequeños dispositivos autónomos inalámbricos.

Existen numerosos dispositivos con los que se busca conseguir este aprovechamiento energético como por ejemplo existen unos relojes que son alimentados por energía cinética (llamado relojes automáticos), en este caso se utiliza el movimiento del brazo.

A continuación se explicara una serie de dispositivos que siguen la filosofía de Energy Harvesting y con la posibilidad de instalarlo en nuestra máquina. Uno de los dispositivos que podemos encontrar son los Termoeléctricas generadores (Tegs) consisten en la unión de dos materiales diferentes y la presencia de un gradiente térmico. Se consiguen salidas de tensión grandes mediante la conexión de muchos cruces eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. El rendimiento típico es de 100-200 mV / K por unión. Ellos se acoplan típicamente con disipadores de calor para mejorar el gradiente de temperatura.

Otro de los dispositivos relacionados con “Energy Harvesting” encontramos los nanogeneradores que pueden alimentarse por un movimiento mecánico irregular. La energía del nanogenerador se produce por el efecto piezoeléctrico, un fenómeno en el que ciertos materiales, como los cables de óxido de zinc, producen cargas eléctricas cuando son doblados y luego liberados. Estos dispositivos piezoeléctricos son capaces de convertir fuerzas y vibraciones en electricidad y que abren un mundo nuevo de posibilidades.

Dentro del mismo grupo encontramos el Zirconato de titanio de plomo (PZT). Se trata de un material cerámico piezoeléctrico de gran eficiencia. Es capaz de convertir el 80% de la energía mecánica que se le aplica en energía eléctrica. Según McAlpine (profesor de ingeniería mecánica y aeroespacial en Princeton) este material es 100 veces más eficiente que el cuarzo.

Por otro lado también podemos mencionar otro dispositivo cuyo objetivo es aprovechar el movimiento rotativo. Este dispositivo es más conocido como dínamo o generador de corriente continua. Un dínamo es un generador eléctrico destinado a la transformación de flujo magnético en electricidad mediante el fenómeno de la inducción electromagnética.(2)

Otro dispositivo que encontramos relacionado con esta filosofía es la triboeléctrica. Esta tecnología se basa en producir electricidad aprovechable a partir de fricción. Permite el aprovechamiento práctico de la carga eléctrica producida cuando dos tipos diferentes de materiales plásticos se frotan uno contra el otro. (3)

Otro dispositivo que tiene por objetivo lo que hemos llamado como aprovechamiento energético en otro campo de aplicación es el llamado Aerogenerador Micro que se utilizan para cosechar la energía eólica disponible en el ambiente en forma de energía cinética para alimentar los dispositivos electrónicos de baja potencia, tales como nodos de sensores inalámbricos. Cuando el aire fluye a través de los álabes de la turbina, una diferencia de presión neta se desarrolla entre las velocidades del viento por encima y por debajo de las cuchillas. Esto dará lugar a una fuerza de sustentación generada que a su vez gira las cuchillas.

El efecto piroeléctrico se puede considerar como otra tecnología “Energy Harvesting” que convierte un cambio de temperatura en corriente eléctrica o voltaje. Es análogo al efecto piezoeléctrico, que es otro tipo de ferroeléctrico comportamiento. La piroelectricidad sufre de pequeñas pérdidas de potencia en aplicaciones de captación de energía debido a sus bajas frecuencias de funcionamiento. Sin embargo, una de las ventajas clave es que muchos materiales piroeléctricos son estables hasta 1200 °C o superior, lo que permite la recolección de energía a partir de fuentes de alta temperatura y aumentando así la eficiencia termodinámica.

Como se puede observar dentro del mundo de “Energy Harvesting” existen numerosos materiales y dispositivos que tienen una gran aplicabilidad como generadores de energía en aquellos entornos en los que se producen esfuerzos, tensiones, cambios de temperatura, contacto o impactos de manera constante y repetitiva.

Todos estos materiales aplicados en el campo de las instalaciones de fitness, que se ha mencionado anteriormente, se puede proponer una solución a la recuperación de parte de dicha energía que se disipa en forma de calor y conseguir con ello energía utilizable. Esta energía o bien podrá ir a parar acumuladores de energía pudiendo así, concentrar la energía generada en las horas puntas del gimnasio, y redistribuirla homogéneamente a lo largo del día, en otros momentos donde el consumo sea mayor o bien utilizarla directamente llevándola a la red eléctrica.

2. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO Y NORMATIVA.

2.1. PLANTEAMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES.

El objetivo de este proyecto es proponer una solución a la recuperación de parte de energía que se pierde en las máquinas de fitness por medio de diversos dispositivos.

La idea consiste en recuperar la energía que se disipa en forma de calor en las máquinas al realizar las repeticiones, y aprovecharla para producir electricidad. A lo largo del día numerosas personas utilizan las máquinas de fitness para realizar ejercicio. El ejercicio en dichas máquinas consiste en realizar una serie de repeticiones, normalmente consiste en subir y bajar un bloque de pesas. Dichas repeticiones consumen la energía que proporciona la persona y esta a la vez se disipa en forma de calor. Este movimiento será aprovechado mediante diversos dispositivos que hemos mencionado anteriormente con el fin de recuperar dicha energía y ser utilizada.

Hay que tener en cuenta que el sistema a diseñar debe cumplir una serie de especificaciones y normativas.

En primer lugar, habrá que tener en cuenta la resistencia de los materiales a utilizar. La persona realiza un esfuerzo para mover el peso, el sistema convencional ya tiene cierta resistencia. Al añadir los nuevos materiales y dispositivos tendremos que tener en cuenta si la resistencia u oposición al movimiento aumenta. De la misma manera diremos que este dispositivo de generación de energía irá destinada a las máquinas que trabajen con pesos entre cero y setenta kilogramos.

En segundo lugar debe de ser respetuoso con el medio ambiente. Para ello, los materiales utilizados serán reutilizables y los dispositivos desensamblables en sus elementos constitutivos.

En tercer lugar, se debe diseñar según su aplicación. Se debe de pensar si va a ser un sistema de adaptación a varias máquinas, solo a un tipo, destinadas a máquinas de nueva creación o realizar el diseño completo de una máquina que lleve este sistema.

En cuarto lugar, tiene que resistir esfuerzos que en ocasiones serán pequeños y en ocasiones grandes, dependiendo de la fuerza y el peso que esté moviendo la persona. Por ello el sistema debe de ser capaz de aprovechar tanto los grandes como los pequeños esfuerzos para generar la mayor cantidad de electricidad posible.

En quinto lugar tendremos en cuenta el tamaño. En el caso de que el sistema este dirigido a una máquina ya existente el sistema estará condicionado a la forma y espacios que tenga dicha máquina. Su tamaño también estará condicionado si va dirigida a un grupo de máquinas ya que tendrá que cumplir los requisitos de todas. Y si va dirigido a una máquina de nueva creación se buscare el diseño más idóneo para conseguir un buen tamaño, distribución y diseño.

En sexto lugar, el esquema eléctrico debe ser lo más sencillo posible. Cuantos menos componentes tengas, menos serán las pérdidas eléctricas. Del mismo modo buscaremos que el sistema tenga el menor número posible de componentes y el diseño más apropiado para reducir las máximas pérdidas posibles.

2.2. NORMATIVA.

Las normas existentes para equipamientos deportivos tienen por objeto la normalización del equipamiento específico para deportes y esparcimiento. En dichas normas se establecen los requisitos de seguridad, de aptitud o adecuación a la función a que van destinados y se definen los métodos de ensayo necesarios para verificar los requisitos establecidos, así como las marcas de cumplimiento de la norma, los carteles de advertencia, la instalación y el mantenimiento.

El **Comité de AENOR AEN/CTN 147 "Deportes, Equipamientos e Instalaciones deportivas"** es el encargado de la normalización española y del seguimiento del Comité Europeo.(4)

Las normas de equipamiento deportivo consideran fundamentalmente los siguientes aspectos:

- **Terminología:** Es el apartado de definiciones, donde se recogen aquellos términos que deben ser utilizados en el desarrollo de la norma.
- **Requisitos funcionales:** Aseguran que el producto se adecue a la función para la que se fabrica, generalmente se establecen dimensiones, criterios de diseño, materiales, etc.
- **Métodos de ensayo:** Se establecen en la propia norma o por referencia a otras normas los métodos de ensayo para verificar el cumplimiento de los requisitos anteriores.
- **Instrucciones de montaje y de uso:** Las normas exigen que el fabricante o vendedor debe aportar, junto con el equipamiento, instrucciones de cómo montar correctamente el equipo así como las instrucciones de uso para que no se produzca un accidente por utilización incorrecta por desconocimiento.
- **Mantenimiento:** El equipamiento deportivo debe ser sometido a revisión periódica de acuerdo con las instrucciones que dé el fabricante o vendedor.

- **Requisitos de seguridad:** Garantizan la ausencia de riesgos y de peligro de accidente, los más generales son:
 1. **Estabilidad** frente a cargas horizontales y verticales, permanentes como el peso propio o variables, la estabilidad debe estar asegurada de forma que nunca se produzca el vuelco o el deslizamiento. Los anclajes, cuando existan, deben asegurar la estabilidad.
 2. **Resistencia** frente a acciones permanentes o variables, de forma que no se rompa o se deforme en exceso.
 3. **Flexibilidad** con deformación limitada frente a cargas, ausencia de flecha residual y resistencia a fatiga cuando lo requiera el equipamiento deportivo.
 4. **Ausencia de aristas o bordes cortantes.**
 5. **Ausencia o protección de partes prominentes** que constituyan un riesgo de impacto o de enganche.
 6. **Ausencia de huecos** o espacios entre las partes constituyentes del equipamiento **que puedan producir aprisionamiento** de partes del cuerpo.
 7. **Almohadillado absorbente de impactos en las zonas de contacto** con el deportista y donde haya riesgo de golpes.
 8. **Ausencia de ganchos** u otros elementos similares que originan lesiones corporales.
 9. Si existen **partes móviles** debe **quedar impedido el riesgo de golpes, cortadura o aprisionamiento** del deportista por los elementos móviles.
 10. **Protección de los elementos metálicos** frente a la **corrosión**.

Dentro de las normas UNE encontramos aquellas que hacen referencia a Instalaciones Deportivas. A la vez, dentro de estas instalaciones, las normas que nos interesan son aquellas relacionadas con gimnasios y maquinaria de fitness. Por lo que existe una serie de Normas Europeas adaptadas o ratificadas como Normas Españolas. Así podemos encontrar:(4)

UNE-EN 957-1:2005	Equipos fijos para entrenamiento - Parte 1: Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo
UNE-EN 957-2:2003	Equipos fijos para entrenamiento - Parte 2: Equipos de entrenamiento de la fuerza; requisitos técnicos específicos y métodos de ensayo adicionales
UNE-EN 957-4 :1997 (ISO 20957-4)	Equipos fijos para entrenamiento - Parte 4: Bancos para entrenamiento de la fuerza. Requisitos adicionales específicos y métodos de ensayo

3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

El presente proyecto no solo consiste en diseñar el sistema de recuperación de energía que se pierde en forma de calor en las máquinas de fitness, si no también estudiar para qué máquinas se podría integrar dicho sistema.

Vamos a plantear tres alternativas de integración:

- Diseño de un dispositivo genérico que sirva para un grupo de máquinas ya existentes cuyo mecanismo sea igual o similar y se pueda integrar en todas ellas. A esta alternativa la denominaremos **integración universal**.
- Diseño de un dispositivo concreto para una máquina ya existente y que el sistema a desarrollar sea específico para ese mecanismo en concreto. Esta segunda alternativa la denominaremos **integración específica**.
- Diseño del dispositivo para una máquina nueva que lleve ya integrado el sistema de recuperación, realizando también el diseño de la máquina buscando el mejor diseño cumpliendo con los requisitos del dispositivo de recuperación. Esta última alternativa la mencionaremos como **desarrollo completo de la máquina**.

Una vez que se han planteado las diferentes alternativas el siguiente paso consistirá en decidir entre una de las tres alternativas así como tecnologías, dispositivos y tipos de integración. Para realizar la elección de una de las alternativas estudiaremos a fondo cada una de ellas y elegiremos una en base a:

- Costos de fabricación, aplicación.
- Rentabilidad obtenida con la aplicación del dispositivo.
- El grado de cumplimiento de las expectativas que se planteen.
- Estudiar qué alternativa nos dará mayor posibilidad y facilidad a la hora de integrar dicho dispositivo de recuperación.
- Cuál de las tres alternativas puede llegar a cumplir nuestros objetivos de la forma más eficiente.
- A la hora de comercializarlo, cuál de las tres alternativas tendría más salida.

3.1. ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS.

En primer lugar tenemos la **integración universal**. Este diseño consistiría en un sistema de recuperación de energía genérico para todas aquellas maquinas las cuales tengan un sistema mecánico igual o similar, ya que hay varios tipos de maquinas que a pesar de que son de distinta forma y de diferente aplicación, por dentro su sistema mecánico de poleas y pesas es similar o parecido.

Con este diseño tenemos una serie de ventajas y desventajas a priori. Como ventajas tenemos que obviamente el campo de aplicación del sistema de recuperación de energía va ser más amplio, se podría aplicar a todas las maquinas del tipo ya existentes y sobre las de nueva creación. Por lo que es un mercado muy amplio. Como desventaja tenemos que a la hora de diseñar el sistema de recuperación existirán muchas restricciones ya que habrá que tener en cuenta cada una de las diferentes maquinas, lo que complica y mucho un diseño optimo y eficiente general para todas ellas.

En segundo lugar tenemos la **integración específica**. Este diseño consistiría en realizar el sistema de recuperación de energía destinada para una maquina en concreto. Tiene algo en común con el anterior y es que nos basaremos en el funcionamiento de una maquina ya existente pero será para una maquina en concreto.

En este caso también nos surgen una serie de ventajas y desventajas a priori. Como ventaja es que a la hora de realizar el diseño tendremos muchas menos restricciones al tratarse de una máquina en concreto por lo que no existe variabilidad. También su diseño será más sencillo y podremos buscar su diseño más idóneo y concreto. Como principal desventaja tenemos que se reduce su campo de aplicación por lo que se pierde cierto mercado, ya que solo se podrá aplicar a la dicha maquina tanto ya existentes como de futura creación pero eliminando la posibilidad de introducirlo en el resto de las máquinas.

Como tercera alternativa tenemos el desarrollo **completo de la máquina**. En este caso consiste en el diseño del sistema de energía, que es en lo que se basa este proyecto, y también en el diseño propio de la máquina. La ventaja de esta alternativa es la de tener la posibilidad de diseñar la maquina totalmente en relación al sistema de recuperación de energía con lo que se puede hacer un sistema mucho más eficiente ya que no contamos a priori con las restricciones tanto dimensionales como de de forma o sistema mecánico de la máquina, sino que se diseñaría la maquina a partir del sistema de recuperación de energía buscando su máxima eficiencia obteniendo un mejor diseño.

Como desventaja tenemos que eliminamos la posibilidad de aplicarlo sobre maquinas ya existentes y sobre las de futura creación que no sean de ese mismo tipo por lo que eliminamos muchas posibilidades de comercialización consiguiendo con esto un diseño más exclusivo, lo que conlleva un mayor precio.

3.2. TECNOLOGÍAS, DISPOSITIVOS Y TIPOS DE INTEGRACIÓN.

Como ya se ha mencionado en el primer apartado del proyecto, nos encontramos en una época que se caracteriza por el desarrollo de nuevos materiales y nuevas aplicaciones que nos está ofreciendo posibilidades tecnológicas solo soñadas en la ciencia ficción. Los nuevos materiales son productos de nuevas tecnologías fruto del desarrollo de la química y la física aplicada, de la ingeniería y de la ciencia de los materiales.

Haciendo referencia a las tecnologías y dispositivos que se tiene pensado integrar en el sistema de recuperación de energía a priori se han mencionado los nanogeneradores. Son unos materiales que hoy en día están en pleno auge y desarrollo. Estos son capaces de alimentarse energéticamente a partir de un movimiento mecánico irregular mediante el fenómeno piezoeléctrico.(5)

Por ello uno de los dispositivos que se tiene pensado integrar en el sistema de recuperación son los cables de óxido de zinc. Estos dispositivos son capaces de convertir fuerzas y vibraciones en electricidad. Producen cargas eléctricas cuando son doblados y luego liberados. Este nuevo generador puede producir una oscilación de voltaje de salida de hasta 45 milivoltios, la conversión es de casi el siete por ciento de la energía mecánica aplicada directamente al cable de óxido de zinc eléctricamente.(5)

A priori este dispositivo podría ir insertado en la sirga de la maquina, la cual está sometida todo el rato tanto a tracción como a flexión.

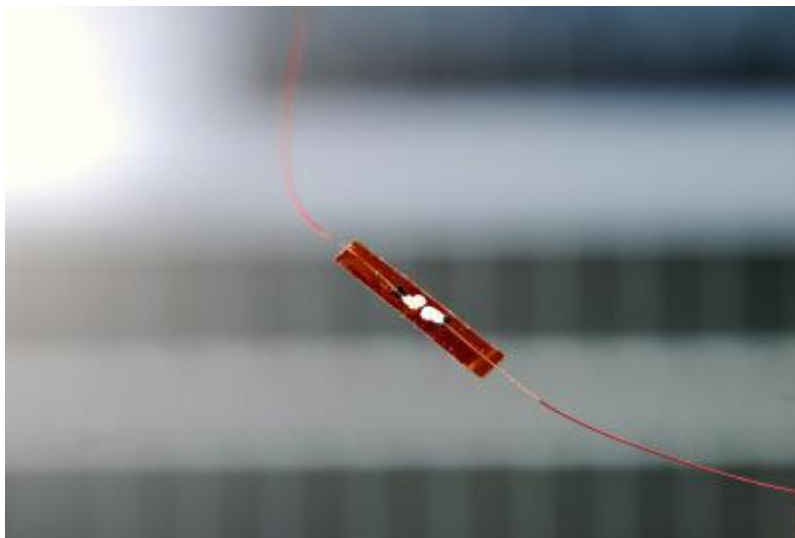


Fig. 2- Cable de oxido de Zinc. Imagen tomada de (6)

Otro dispositivo del mismo tipo que podría ir introducido en nuestro sistema de recuperación se trata del Zirconato de titanio de plomo (PZT). Como ya hemos dicho anteriormente se trata de un material cerámico piezoeléctrico de gran eficiencia, capaz de convertir el 80% de la energía mecánica que se le aplica en energía eléctrica y este material es 100 veces más eficiente que el cuarzo.

El PZT está incrustado en láminas de caucho de silicona que producen electricidad cuando se flexiona o se aplica otra presión. Este chip iría insertado en aquellas partes de la máquina donde las pesas hacen continuas presiones o fuerzas.



Fig. 3- Chip de goma hecha de PZT (titanato zirconato de plomo). Imagen tomada de (7)

El siguiente dispositivo que se plantea introducir en el sistema son las dínamos también llamados generadores de corriente continua. La dinamo es un generador electromagnético cuyo funcionamiento es parecido al de un motor eléctrico. Pero en este caso se suministra movimiento y la dinamo proporciona corriente eléctrica. Cuando gira la bobina bajo la influencia de los imanes, se induce en ella una corriente eléctrica. En una bicicleta, por ejemplo, el giro de las ruedas arrastra a la bobina de la dinamo. En nuestro caso lo que queremos es aprovechar el giro de las poleas de la máquina para arrastrar dicha bobina de la dinamo y con ello recuperar esa energía.

Por regla general el número de poleas va de dos a cuatro, dependiendo de la máquina. Estas poleas sirven de guías para la sirga y ayudan para realizar el movimiento de las pesas. Cada vez que se levanta y se bajan las pesas estas poleas giran pudiendo aprovechar ese movimiento rotativo.



Fig. 4- Dinamo. Imagen tomada de (6)

Existen diferentes tipos de dinamos como las dinamos de buje (hub internal generator), las dinamos convencionales (generador), la dinamo de radio (spoke dynamo) entre otras. La diferencia entre unas y otras es principalmente su eficiencia, forma, peso, resistencia y coeficiente de rozamiento.

Podemos decir que hoy en día las dinamos de buje constituyen una opción saludable para el medio ambiente. Los generadores o dinamos de buje están ganando en reputación con los eficientes modelos que han aparecido en el mercado en los últimos años. Algunos están entre las dinamos disponibles más eficientes de la iluminación para bicicleta (8). Sin embargo las dinamos de flanco o de la botella son ligeras e incluyen los generadores más baratos aunque una buena iluminación sólo se consigue con modelos sofisticados y caros. Consigue su energía del rozamiento con el elemento rotativo, en nuestro caso las poleas. Los generadores de botella avanzados alcanzan grados de la eficacia extremadamente alta: alrededor del 71 por ciento.

Esto aplicado en las bicicletas. Basándonos en el mismo principio de recuperar la energía que se pierde, en nuestro caso por el movimiento de las poleas, tendremos que realizar dichos cálculos y ver qué cantidad de energía se puede recuperar.

Un nuevo dispositivo relacionado con el aprovechamiento de la energía es lo que se denomina generador triboeléctrico. Este dispositivo consigue recuperar la energía producida cuando dos tipos diferentes de materiales plásticos se frotan unos con otros.

La polaridad y la fuerza de las cargas producidas se diferencian según los materiales, la aspereza superficial, la temperatura, la tensión, y otras características. Se denomina triboelectricidad al fenómeno de electrificación por frotamiento.

La causa de este fenómeno es que aunque la palabra viene del griego para el "frotamiento", los "tribos", los dos materiales necesitan solamente entrar en contacto y después separarse para que los electrones sean intercambiados. Después de entrar en contacto, un vínculo químico se forma entre algunas partes de las dos superficies, llamado adherencia, y las cargas se mueven a partir de un material al otro para igualar su potencial electroquímico. Esto es qué crea el desequilibrio neto de la carga entre los objetos. Cuando están separadas, algunos de los átomos consolidados tienen una tendencia a guardar electrones adicionales, y algo una tendencia a darlos lejos, aunque el desequilibrio será destruido parcialmente por hacer un túnel o la interrupción eléctrica (generalmente descarga de corona). Además, algunos materiales pueden intercambiar los iones de la movilidad que diferencia, o intercambie los fragmentos cargados de moléculas más grandes.(9)

Los materiales que están más próximos al extremo más negativo, tienen propensión a adquirir carga eléctrica negativa al rozar con materiales situados encima de ellos. Los materiales más próximos al extremo más positivo tienen tendencia a adquirir carga eléctrica positiva al rozar con los situados debajo de ellos. Para conseguir una carga máxima los materiales puestos en contacto deben de estar lo más apartados posible el uno del otro.

Materiales más positivos	aire vidrio pulido fibra sintética piel de conejo mica lana piel de gato plomo aluminio papel
Materiales neutros	algodón papel ebonita acero madera caucho resina cobre níquel plata azufre vidrio sin pulir acetato(celuloide) poliéster poliuretano polipropileno vinilo (PVC) silicona
Materiales más negativos	teflón

Fig. 5- Escala triboelectrica. Imagen tomada de (10)

Esta tecnología tan interesante en nuestra máquina podría aplicarse en las dos guías que tiene para que suban y bajen las pesas. Estas guías suelen ser de acero pero en este caso se podrían forrar de alguno de los anteriores materiales para que cuando suban y bajen las pesas rozando con dicho material genere el fenómeno que hemos mencionando pudiendo aprovechar también esa energía.



Fig.6 – Sistema de subida y bajada de las pesas. Imagen tomada de (11)

4. ELECCIÓN JUSTIFICADA DE UNA SOLUCIÓN.

4.1. Elección de un tipo de integración.

Una vez planteado las diferentes alternativas, la tecnología y dispositivos que a priori se piensa integrar en el sistema, se debe de elegir una solución. En el apartado anterior se establecía tres opciones de integración de nuestro sistema. Integración específica, integración universal o desarrollo completo de la máquina.

Estudiando cada caso por separado, mirando los pros y los contra se ha decidido finalmente una solución. La solución que se ha tomado se puede decir que esta entre lo que hemos llamado integración específica e integración universal. Decimos esto porque la máquina que se ha decidido utilizar para instalar el sistema de recuperación de energía se conoce como Máquina de 4 estaciones. Por este motivo podríamos decir que se trata de integración específica, pero tras estudiar el mercado, las diferentes máquinas y mecanismo se observa que la gran mayoría comparten el mismo sistema mecánico de pesas, poleas y demás. Por este motivo decimos también que se puede valorar como Integración universal.

Se ha elegido esta máquina por varios motivos. El principal es que es muy habitual y prácticamente todos gimnasios tienen al menos una de ellas, con lo que se consigue abarcar mucho mercado. Es una maquina ofrece un ejercicio variado, completo y la posibilidad de trabajo simultáneo de 4 usuarios. Esto hace la posibilidad de multiplicar por cuatro la generación de energía simultáneamente con un mismo sistema de recuperación lo que puede traer mucha rentabilidad. También el hecho de que esté en gimnasio la universidad es otro motivo por el que nos anima a coger esta opción para realizar posibles simulaciones reales.



Fig.7 –Máquina 4 estaciones. Imagen tomada de(12).

Es una máquina idónea para la realización de musculación/tonificación. Tiene un equipamiento indicado para usuarios de todos los niveles (principiantes, intermedios y avanzados). Se caracteriza por ser una máquina multifuncional, tiene la posibilidad de adaptar distintos agarres, tiene 4 puestos de trabajo.

Características

- 7 poleas.
- Diseño con gran estudio biomecánico.
- Garantiza movimientos suaves. naturales. y con gran concentración muscular
- Estructura de 4 milímetros de espesor en acero calidad ST-37/40
- Tratamiento de pintura de tres capas. Se compone de una imprimación anti-corrosión que garantiza la durabilidad de estas máquinas. Tras ello se aplica una capa de polvo epoxi y un acabado de laca o barniz que le da un aspecto actual. profesional y de diseño altamente desarrollado.
- Empleo de la tecnología de corte por láser.
- Asegura la precisión en el corte de los tubos

Especificaciones

Longitud: 192 cm

Anchura: 168 cm

Altura: 229 cm

Carga máxima (remo y polea alta): 70 kg

Carga máxima (tríceps horizontal): 70Kg

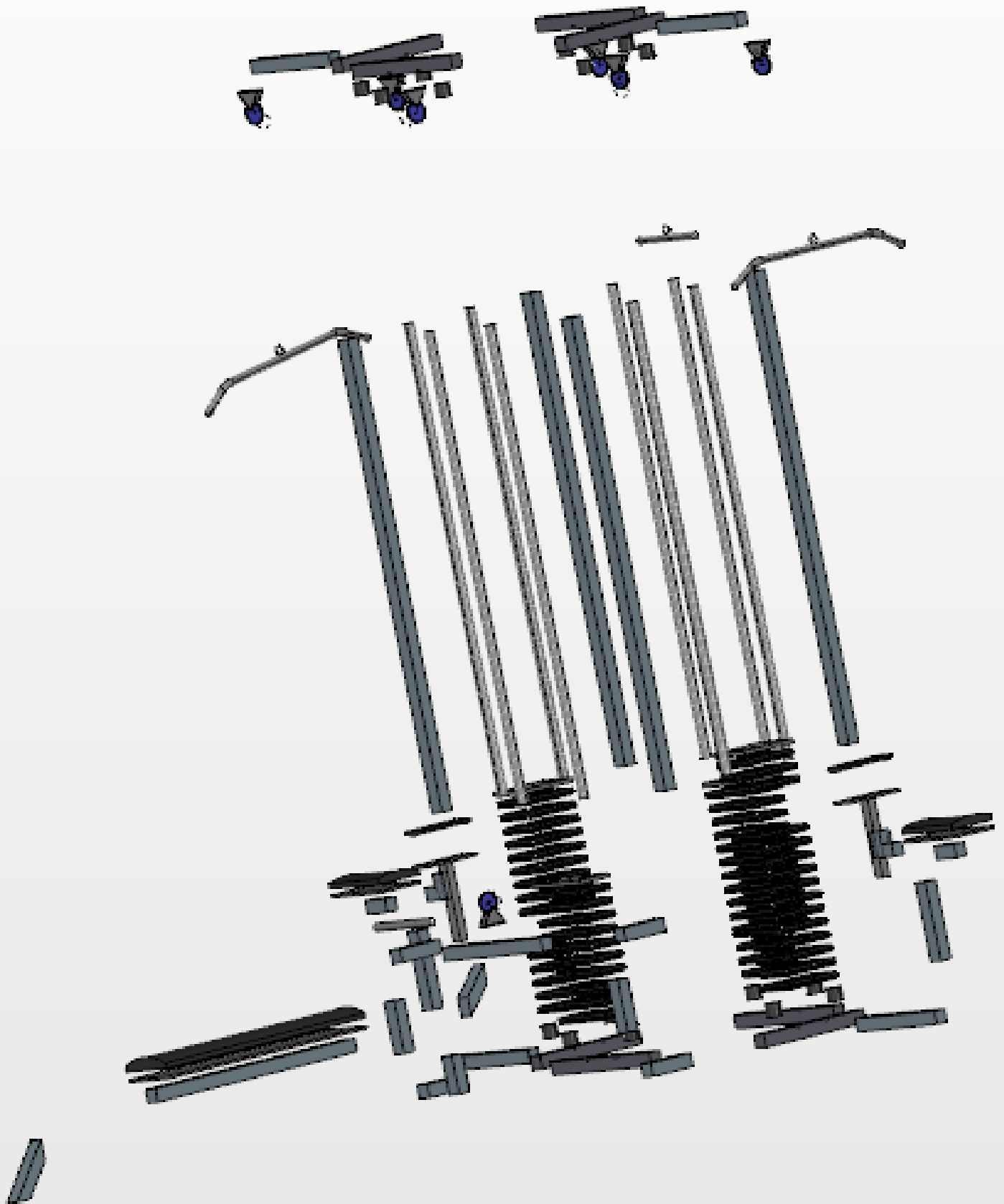


Fig.8- Maquina explosionada. Imagen tomada de(12).

4.2. Elección de subsistema para la recuperación de energía.

El cable de óxido de zinc ha sido elegido por ser una buena solución para aplicarla en la sirga de la máquina. Este cable es de acero galvanizado y plastificado en poliamida. El cable de zinc iría insertado en dicha sirga, así se podría aprovechar tanto los esfuerzos de tracción que está sometido la sirga cuando se levanta y bajan las pesas como los esfuerzos a flexión que se somete la sirga cuando pasa por las poleas.

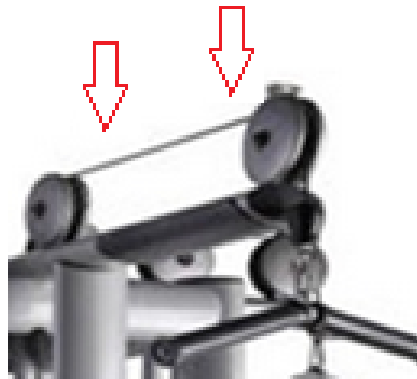


Fig.9 -Ubicación del cable de oxido de zinc. Imagen tomada de (13)

Se trata de un generador de carga flexible ofrece la opción de convertir la energía mecánica en energía eléctrica. Estos nanogeneradores dependen del contacto intermitente entre la verticalidad de los nanocables de óxido de cinc y un electrodo, o de la mecánica de contacto de las cubiertas de fibras de los nanocables.

Estos dispositivos son difíciles de construir, y el contacto mecánico causa desgaste, con lo cual en un periodo corto de tiempo podría dejar de funcionar, además el óxido de cinc es soluble en agua, por lo que en ambientes húmedos produce un bajo rendimiento. Por lo que no es muy recomendable introducirlo en nuestro sistema de recuperación dado las condiciones de trabajo.

Por otro lado se ha decidido introducir un chip que se conoce como Zirconato de titanio de plomo (PZT). Su funcionamiento se basa en fenómeno piezoeléctrico donde el PZT está incrustado en láminas de caucho de silicona que producen electricidad cuando se flexiona o se aplica otra presión.



Fig.10- Material piezoeléctrico conectado a voltímetro. Imagen tomada de (13).

Mediante el montaje mostrado en la Fig.10 y el uso de un piezoeléctrico polimérico de audio de referencia AUD-020, se verificó el comportamiento del dispositivo transductor ante dos casos.

Para el primer caso se dejó caer sobre el material un peso de 300 gramos desde una altura de 0,05 m, como se muestra en la Fig. 11 a, se genera un impulso como respuesta cada vez que cae el peso evidenciando que el piezoeléctrico entrega un voltaje cuando hay un tensión mecánica. El segundo caso consistió en realizar una presión constante en periodos de tiempo con un peso de 300 gramos sobre el elemento piezoeléctrico, como resultado, el cual se muestra en la Fig. 12 b, se genera una señal de voltaje entre 2V y -2V pico a pico (13).

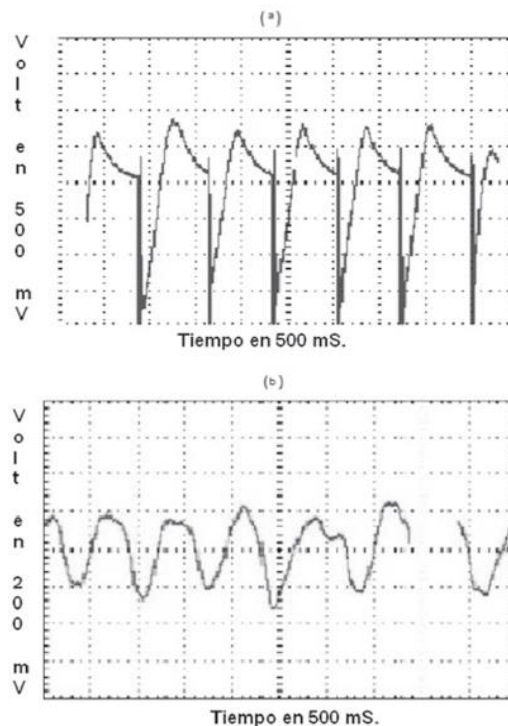


Fig.11- Resultado del comportamiento del piezoeléctrico. AUD-020: a) CASO 1, b) CASO 2. Imagen tomada de (13)

Analizando los dos casos llegamos a la conclusión de que para nuestro sistema encaja mejor el caso b. Esto se debe a que en nuestro sistema de recuperación de energía el material piezoeléctrico ira insertada tanto sobre cada una de las placas de pesas como en las gomas inferiores que sirven de apoyo a estas.

A partir de los resultados se puede afirmar que el circuito equivalente requerido para ser usado en una aplicación de las pesas y obtener de esta forma la energía producida al realizar el movimiento está dado por un capacitor en serie con una fuente de voltaje, debido a que la actividad no es constante y solamente se haría la conversión cuando al material se le ejerza presión.

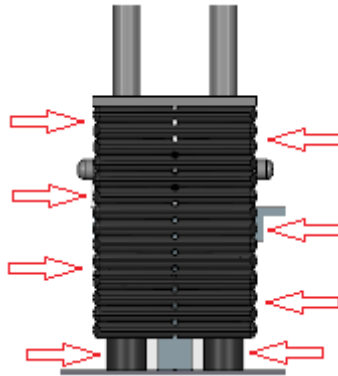


Fig.12 -Ubicación de los materiales piezoeléctricos.
Imagen tomada de (12)

Con respecto a esta tecnología nos encontramos con la problemática de cómo realizar la instalación del cableado y como conectar cada chip al dispositivo donde se vaya a llevar la energía recuperada. Esto es un problema debido a que hay que tener en cuenta que en cada una de las placas de pesas ira insertado dos chip de PZT y que un usuario puede seleccionar, por poner un ejemplo, 30 kg de peso por lo que selecciona 6 placas de pesas (5, 10, 15, 20, 15, 30kg) en movimiento y 8 placas (de los 30 a los 70 kg) estáticas. Por lo que habrá que diseñar un sistema para conseguir eliminar estos tres problemas que surgen:

1. Conseguir que los cables de las pesas seleccionadas para realizar el ejercicio se alargan cuando se realice el movimiento de subida, y se recojan cuando se realice el movimiento de bajada.
2. Conseguir que no se alarguen ni se recojan los cables de las pesas no seleccionadas para realizar el ejercicio y que se quedan estáticas.
3. Conseguir que todos los cables estén ordenados correctamente y evitar enredos y nudos que puedan dañar el sistema.

Para solucionar esta problemática se han planteado 3 posibles soluciones.

Solución 1.

Esta solución consiste en conectar cada uno de los chip de PZT con un cable retractable, es decir, cuando se realiza el movimiento de subida en el que el cable se estira al ser retractable se consigue que se alargue y cuando se realiza el movimiento de bajada se recoge.

Con esto se consigue en primer lugar que cada cable este recogido cuando las pesas están estáticas evitando que se enreden unas con otras y en segundo lugar se consigue que solo se alarguen aquellos cables cuyos chips están en las pesas seleccionadas para realizar el ejercicio.



Fig.13 – Cable retractable. Imagen tomada de (14)

Como problema de esta solución se puede dar que el cable este sometido a mucha tensión.

Solución 2.

En esta segunda posible solución se plantea la posibilidad de conectar cada uno de los chips de PZT a través de un prolongador rizado. Con esta solución lo que se consigue en primer lugar es que cada chip esté conectado individualmente dando libertad de movimiento. Y en segundo lugar al ser un cable rizado y elástica da la posibilidad de alargarse y recogerse.

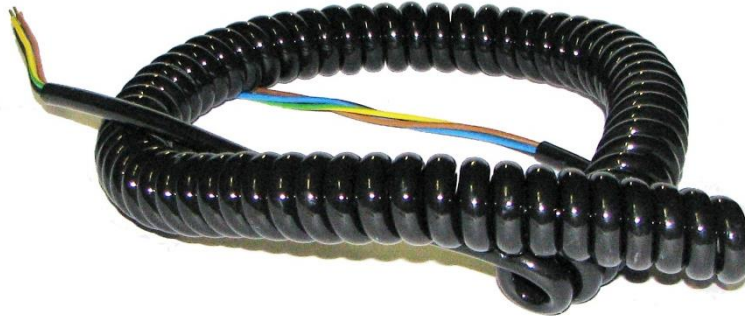


Fig.14 – Prolongador rizado. Imagen tomada de (15)

El problema que puede surgir con esta solución es que los cables se puedan enredar uno con otro cuando estén en reposo y al realizar el movimiento de subida y al estar enredados puedan dañarse.

Solución 3.

La solución 3 consiste en una combinación de las otras dos soluciones. Se utiliza tanto el prolongador rizado como el cable retractable. El sistema estaría instalado de tal manera que el prolongador rizado se conectaría a la batería y de él saldrían los 13 cables retractables que irían conectado a cada chip.

Con esta solución conseguimos en primer lugar mediante la utilización del prolongador rizado quitar tensión al cable en la unión con la batería ya que permite estirarse y recogerse en cierta medida sin posibilidad de enredarse con otro. Y en segundo lugar al utilizar cables retractables conseguimos que cada cable tenga movimiento independiente al resto y tener todos los cables recogidos cuando las pesas estén en reposo evitando que se enreden unas con otras.

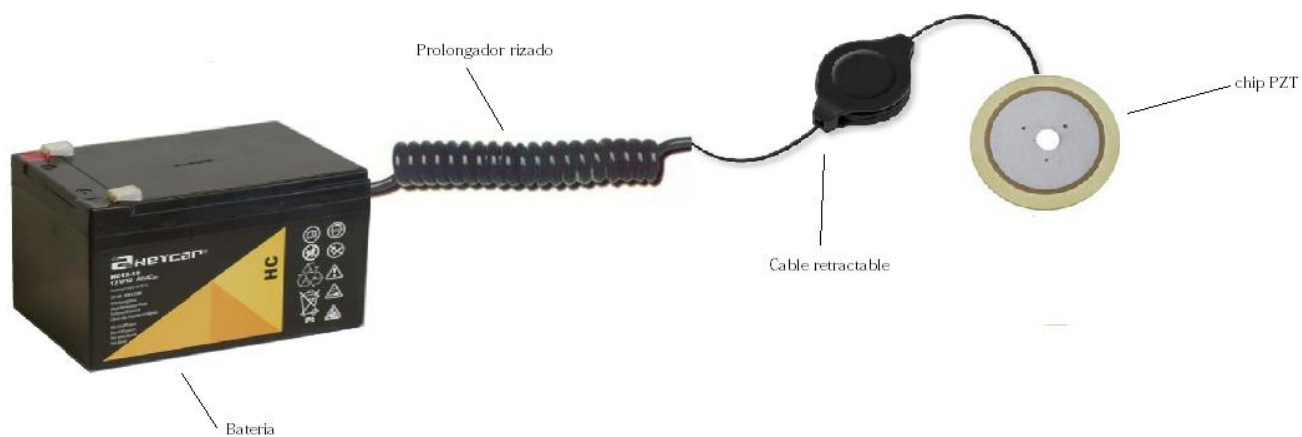


Fig.15 – Sistema conexión chip PZT.

Finalmente analizando las tres soluciones y mirando sus pros y contras se ha decidido por la solución número 3. Con la combinación del prolongador rizado y del cable retractable se consigue tener las ventajas que aporta uno y otro sin presentar ningún problema de compatibilidad de los dos elementos.

Otra de las soluciones que se ha decidido introducir en el sistema de recuperación de energía son las dinamos, en concreto las dinamos de botella. Estas utilizan el movimiento rotativo para generar electricidad. Este dispositivo iría instalado en las diferentes poleas que tiene la máquina. Estas poleas ayudan a levantar el peso y sirven de guías para la sirga. Cada vez que se levanta el peso o se baja estas realizan movimiento rotativo y el objetivo es recuperar esa energía.

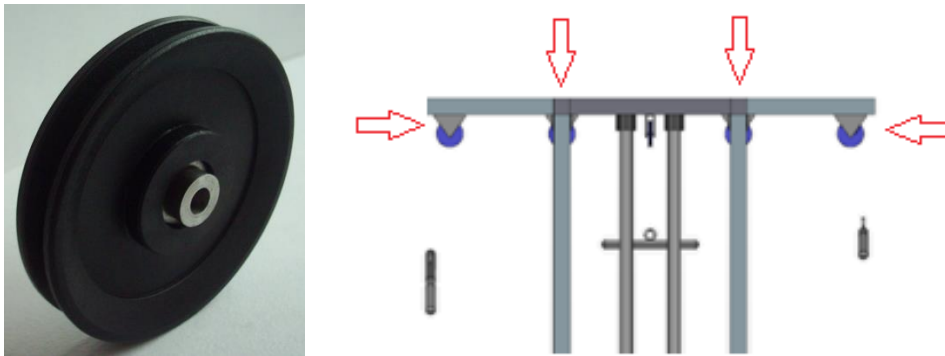


Fig.16 y 17- Polea estándar (Izda) y ubicación de las dinamos en la propia maquina (Dcha).

Una vez que se ha decidido introducir este dispositivo en nuestro sistema de recuperación de energía se debe diseñar tonto la posición de las dinamos como colocación y su conexión a la batería. Cabe recordar que la maquina consta de 7 poleas las cuales seis son poleas altas (colocadas en la parte superior de la máquina) y una de ellas es polea baja (colocada en la parte inferior de la máquina).

Cada una de las poleas llevara una dinamo. Esta dinamo saca corriente alterna por lo que será necesario utilizar un transformador de bobinas. A priori se piensa que con un transformador de 12V más o menos será necesario. La parte que se necesita es el circuito de 4 diodos y el condensador si lo lleva. Hay que fijarse como están conectados a la placa los diodos y el condensador para identificar sin duda los puntos en que hay que conectar la entrada de corriente alterna y la salida de corriente continúa.

La conexión entre el rectificador y la dinamo es más fiable y sencilla si esta tiene dos contactos para los cables de salida. Muchos modelos de dinamo solo tienen un contacto y para el segundo usan el propio cuerpo donde estén instaladas, como puede ser el cuadro de una bicicleta. Se ha estudiado el tema y se ha visto que resulta una conexión más eficaz si se aísla en este caso de la estructura metálica y poner un segundo cable en el lugar del contacto.

De tal manera que de cada dinamo saldrá un cable, esta ira unida a las barras que forman parte del cuadro de la máquina e irán situadas por la cara que da al interior de la máquina para que a simple vista el cable este oculto. Se ha pensado la posibilidad de que el cable fuera por el interior de la estructura pero finalmente se ha pensado en esta idea con el objetivo de que la instalación sea lo más sencilla posible a la hora de realizar la instalación del cableado.

Por lo que cada cable que sale de cada una de las dinamos se llevara hasta la parte de debajo de la maquina donde se conectaran todos ellos al transformador mediante una entrada en alterna y este a su vez tendrá una salida en continua que se llevara hasta la batería.

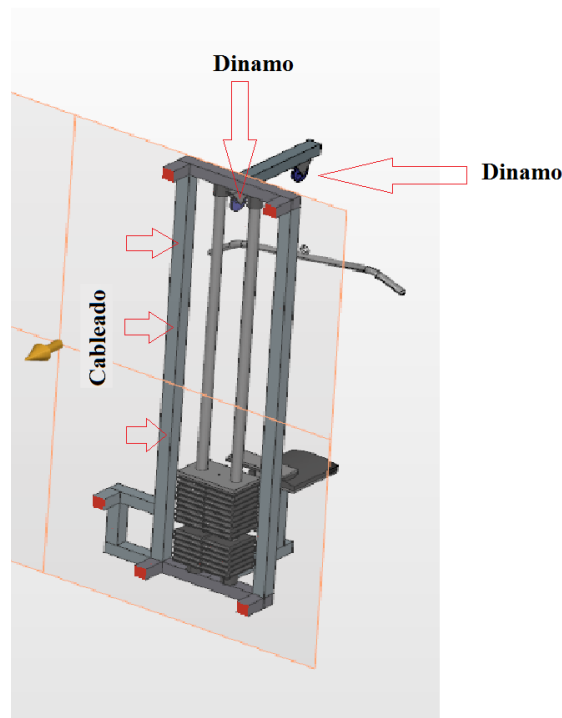


Fig. 18- Vista con corte. Imagen tomada de (12)

Por último otra de las tecnologías que se ha decidido introducir es la triboeléctrica. En un principio y como anteriormente se ha comentado, esta tecnología se había pensado introducir en las guías de las pesas ya que, constantemente las pesas suben y bajan cada vez que se hace una repetición y lo que se pretendía era aprovechar el rozamiento de las pesas con dichas guías forrando a estas con uno de los materiales que se han expuesto en la tabla buscando el máximo aprovechamiento.



Fig.19- Ubicación de las piezas a forrar. Imagen tomada de (12)

Sin embargo tras realizar un estudio más en profundidad y buscando posibles soluciones para nuestra máquina nos hemos dado cuenta que no es viable esta idea. Esto se debe a:

1. El espacio entre las guías y las pesas es mínimo, y no conviene buscar un rozamiento adicional.
2. No existe una manera viable para recoger dicha energía generada.
3. La relación energía generada/inversión, a priori no sería rentable.

A pesar de esto, realizando el estudio de esta tecnología y su correspondiente búsqueda de información, se encontró otro dispositivo que sigue el mismo principio es decir el principio de la triboeléctrica.

Este dispositivo se hace llamar Pulso-Driven Triboeléctrica-Generador. Un grupo de científicos de la Escuela de Ciencia de los Materiales e Ingeniería, Instituto de Tecnología de Georgia, Atlanta realizaron un estudio donde demuestran un novedoso y simple generador con un costo extremadamente bajo para aprovechar la energía mecánica en forma de vibraciones o desplazamientos. Debido al acoplamiento de contacto de carga y la inducción electrostática de generación eléctrica, se consigue con un proceso de ciclado de contacto y la separación entre dos películas de polímero. La densidad de potencia eléctrica instantánea alcanzó tan alto como $31,2 \text{ mW} / \text{cm}^3$. La eficiencia de la corriente catódica llegó hasta el 86,6%. (16)

Este dispositivo consta de una estructura de múltiples capas, como se muestra en la figura. Entre dos capas de polímeros se forma una cavidad por medio de un separador tal y como se explica en el apartado Métodos del estudio (9).

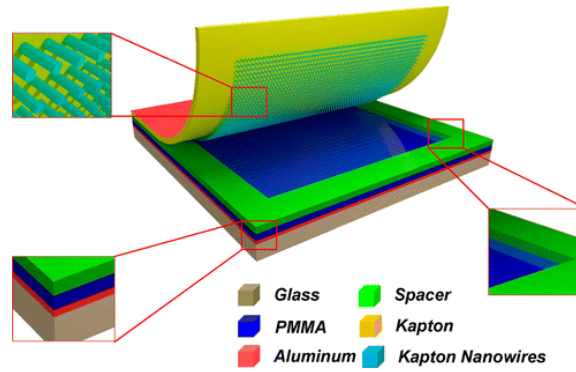


Fig.20- Croquis de Estructura y materiales de Selección del generador.

A priori este dispositivo se ha pensado introducirlo en el mismo lugar que los materiales piezoeléctricos, es decir, entre cada uno de los bloques de pesas. El principio de funcionamiento del generador puede ser descrito por el acoplamiento de la carga de contacto y por inducción electrostática. En la siguiente figura (Fig.21—a,b) representa la salida de la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito. Con una fuerza aplicada externamente (en nuestro caso sería la fuerza que ejercen unas pesas sobre otros por su propio peso), los dos polímeros se ponen en contacto uno con el otro. Debido al efecto triboeléctrico se produce una transferencia de carga de la superficie. Atendiendo a la serie triboeléctrica la cual marca la tendencia a ganar o perder carga, los electrones se inyectan desde el metacrilato de metilo (PMMA) en Kapton resultando las cargas negativas en la superficie Kapton y las cargas positivas en la superficie PMMA.

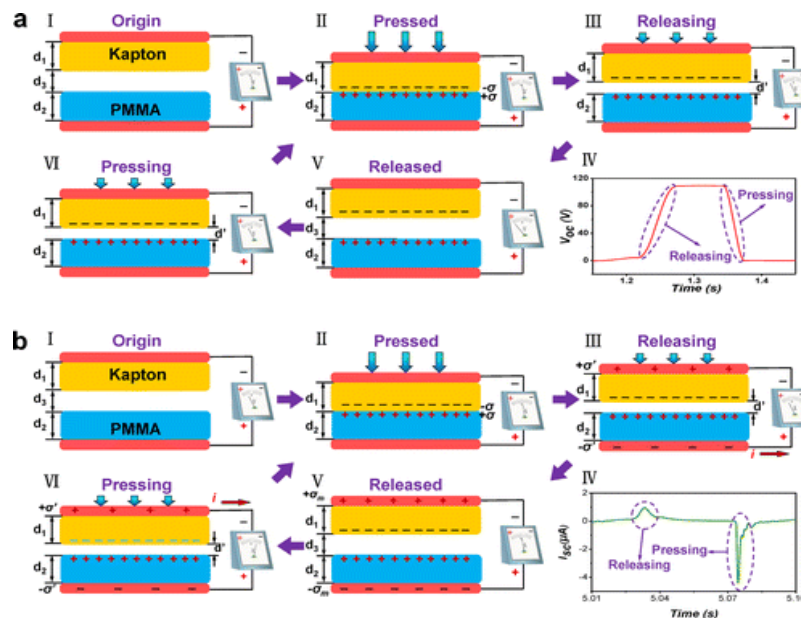


Fig 21- bocetos Que ilustran El Principio de FUNCIONAMIENTO del generador. (A) la Condición de circuito abierto. (B) la Condición de cortocircuito.

Cuando el dispositivo empieza a ser liberado, es decir cuando las pesas se levantan, la película de Kapton tiene la intención de volver de nuevo a su posición original debido a su propia elasticidad. Si definimos el potencial eléctrico del electrodo inferior (U_{BE}) para ser cero, el potencial eléctrico del electrodo superior (U_{TE}) puede calcularse:

$$U_{TE} = -\frac{\sigma d'}{\epsilon_0}$$

Ec.1 -Tomada de (9).

donde σ es la densidad de carga triboeléctrica, ϵ_0 es la permitividad del vacío, y d' es la distancia entre capas.

Se da a conocer el valor del generador, V_{OC} . Este aumenta hasta alcanzar el valor máximo cuando la película de Kapton vuelve completamente a la posición original. Cuando se vuelve a presionar las dos capas de polímero se acercan el uno con el otro y como resultado el valor de V_{OC} cae desde el valor máximo a cero cuando hay un contacto completo entre los dos polímeros.

Si se cortocircuitan los dos electrodos resulta una corriente positiva instantánea durante el proceso de liberación como se puede apreciar en la figura --- b. la densidad de carga inducida (σ') cuando el generador está completamente liberado se puede expresar de la siguiente manera:

$$\sigma' = \frac{\sigma d' \epsilon_{rk} \epsilon_{rp}}{d_1 \epsilon_{rp} + d' \epsilon_{rk} \epsilon_{rp} + d_2 \epsilon_{rk}}$$

Ec.2 -Tomada de (9).

donde ϵ_{rk} , y ϵ_{rp} son la permitividad relativa de Kapton y PMMA, respectivamente, y d_1 y d_2 son el espesor de la película de Kapton y la capa de PMMA, respectivamente. El valor máximo de σ'_{max} se obtiene sustituyendo d_3 , el espaciador de altura, para d' en la ecuación anterior.

En resumen se puede decir que se ha demostrado un nuevo tipo de generador de auto-cargado para recuperar energía mecánica basada en un proceso de acoplado e inducción electrostática. Tiene una gran virtud y es que es simple de fabricar y sencilla aplicación por ello nos anima a introducirlo en nuestra máquina. Además tiene un costo extremadamente bajo que responde adecuadamente a las limitaciones de la tecnología de recolección de energía. El proyecto analizado demuestra que se puede alcanzar valores de densidad de potencia de hasta $31,2 \text{ mW/cm}^3$ y una tensión máxima en circuito abierto de 110V. La eficiencia de corriente catódica demostrada alcanza el 86,6%.

Por todos estos motivos se había pensado introducir este dispositivo en nuestro sistema de recuperación de energía.

Aunque es una tecnología interesante, innovadora y con mucho futuro, se ha decidido simplemente dejar en la memoria del proyecto el estudio realizado, pero finalmente no se instalara en la maquina que estamos desarrollando. En primer lugar debido a que a la hora de realizar el balance energético y viabilidad los datos a utilizar serian cien por ciento experimentales y lo que buscamos son datos reales y fiables. Y en segundo lugar debido al periodo de desarrollo del proyecto no nos daría tiempo a realizar o fabricar dicho dispositivo con el que obtener datos más reales y aproximados.

A pesar de todo y de que este dispositivo no irá instalado en nuestra máquina, se ha querido dejar constancia en la memoria del proyecto como parte de búsqueda de información e investigación, con la posibilidad de que sirva como apoyo para futuros estudios relacionados con el tema o la continuación del mismo proyecto.

5. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN:

A continuación se detallarán las partes que componen este sistema de recuperación de electricidad. Se expondrán tanto los elementos mecánicos que componen la máquina como los elementos que se van a insertar para recuperar la energía, es decir todo el sistema mecánico, junto al sistema eléctrico. Todo esto irá acompañado también de una representación gráfica 3D.

5.1. Componentes mecánicos.

La máquina está compuesta por diversos elementos. El sistema mecánico consta de:

- a) Bloque de pesas entre los 0 y 70 kg. Hay un bloque por cada estación. En él están cada una de las placas de pesas desde los 0 hasta los 70 kg con unas dimensiones de 45x35x10. Estas placas son de acero.

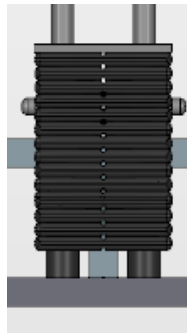


Fig.22- Bloque de pesas. Imagen tomada de (12).

- b) Anillos antifricción. Estos anillos se colocan en la parte inferior de las pesas para soportar el peso y amortiguarlo. Son de polietileno y tienen unas dimensiones de 10x5x5. Se colocan dos por cada bloque de pesas, por lo que en total hay 8 anillos de polietileno.

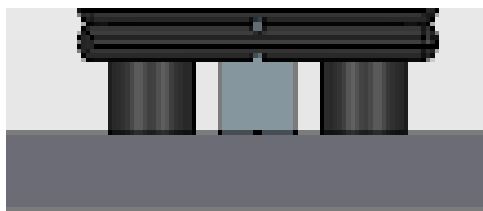


Fig.23- Anillos de polietileno. Imagen tomada de (12).

- c) Tubos guías. Estos tubos son de acero y su forma estándar es circular, aunque también existen con forma de ovalo. Se colocan 2 tubos por cada bloque de pesas y estos sirven de guías para las pesas con lo que existe cierta fricción cuando se realiza el movimiento de subida y bajada. Ambos tubos tienen un diámetro de 50 mm y 1 m de largo.



Fig.24- Tubos de acero. Imagen tomada de (12).

- d) Poleas. Estos elementos son de vital importancia para la máquina y para nuestro dispositivo de recuperación de la energía. En total hay 7 poleas, 6 de ellas altas y una polea baja, como se muestra en las imágenes. La diferencia entre alta y baja es según su posición en la máquina. Estas poleas tienen un diámetro de rueda externa de 80 mm y 70 mm de rueda interna. Gracias a estos elementos el esfuerzo a la hora de levantar el peso es más cómodo y eficaz.

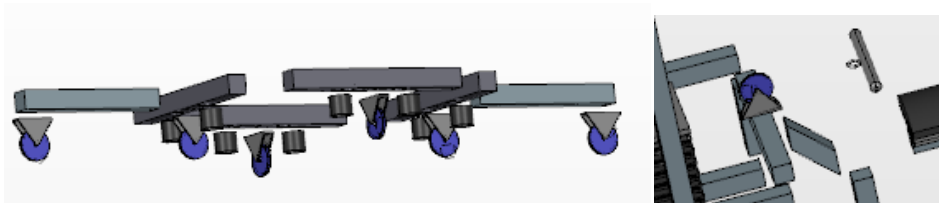


Fig.25 y 26- Sistema de poleas. Imagen tomada de (12).

- e) Sirga de acero recubierta. Este elemento es el que une el bloque de pesas con los agarres pasando por las poleas. Es uno de los elementos que más sufre de la máquina y uno de las averías más habituales. Esta sirga está sometida continuamente a tracción y flexión y su rotura con el paso del tiempo suele ser habitual.
- f) Agarre múltiple. Estos elementos sirven para ejercer la fuerza. Existen diferentes agarres para trabajar diferentes zonas musculares. Están hechos de aluminio para que sean ligeros y suelen estar recubiertos de goma para mejorar su tacto a la hora del agarre y para que el agarre sea más fuerte y evitar que se deslice de las manos.



Fig.27 y 28- Agarres múltiples. Imagen tomada de (12).

- g) Adaptador soporte de la dinamo. Este adaptador llamado mordaza consta de 3 piezas mordaza₁, mordaza₂, y barra acopladora. Esta pieza ha sido diseñada en concreto para este trabajo y en relación con las dimensiones de la máquina. Esta creado en plástico PET y sus dimensiones concretas se definen en los planos anexos.

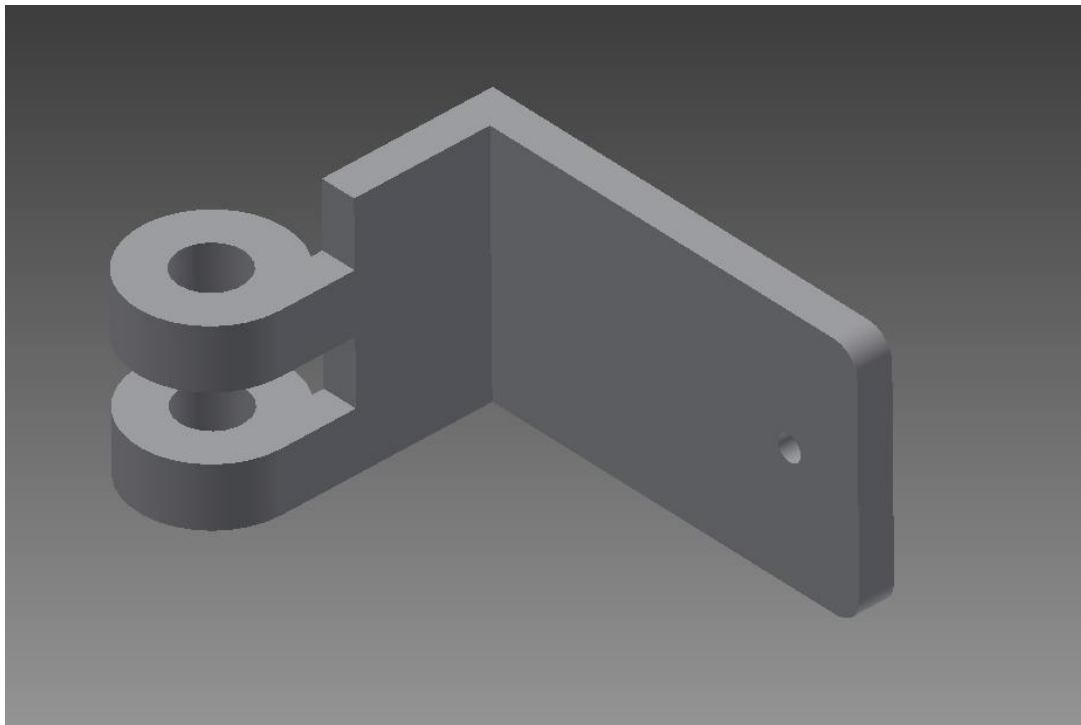


Fig. 29 – Mordaza 1. Imagen tomada de (12)

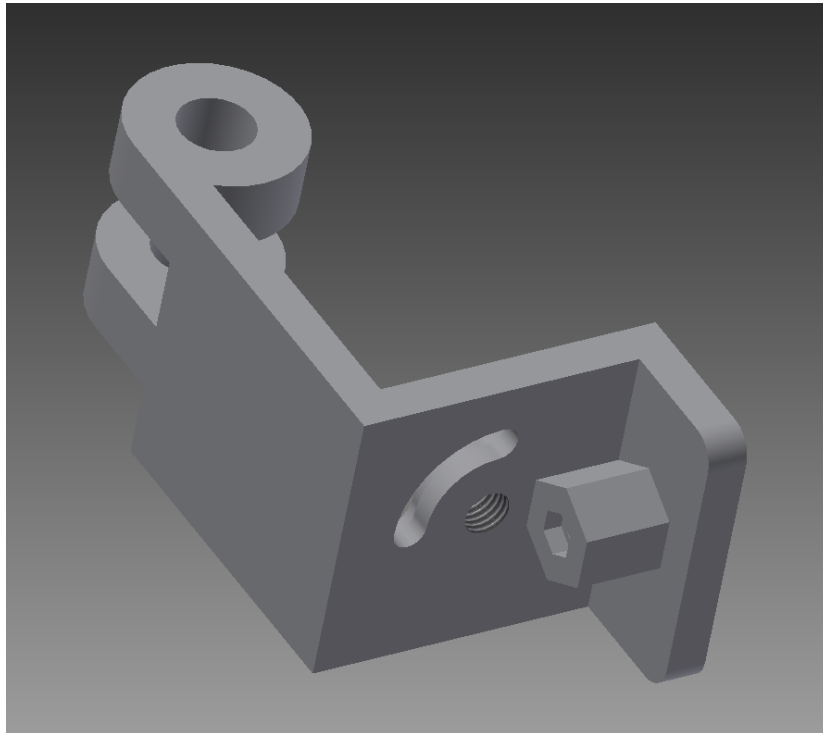


Fig. 30 – Mordaza 2. Imagen tomada de (12)

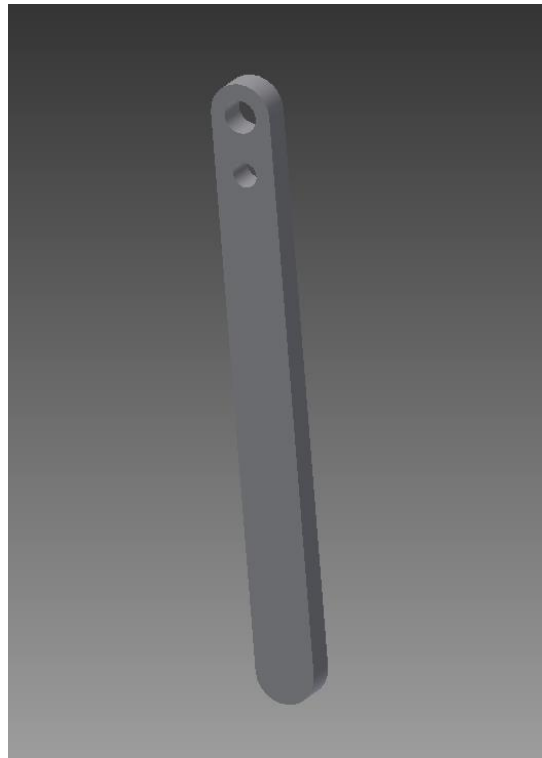


Fig. 31 – Barra acopladora. Imagen tomada de (12)

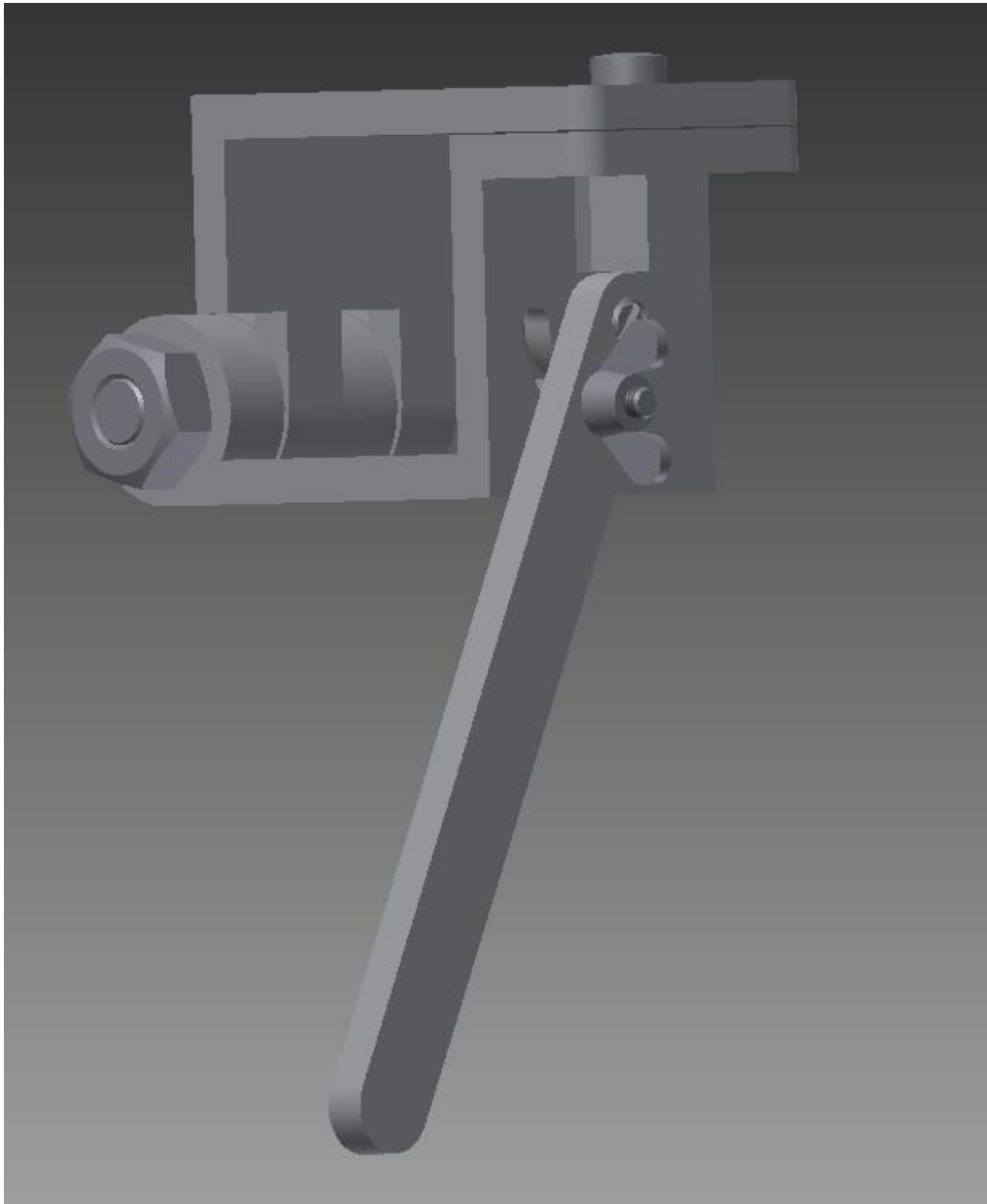


Fig. 32 – Conjunto de la mordaza. Imagen tomada de (12)

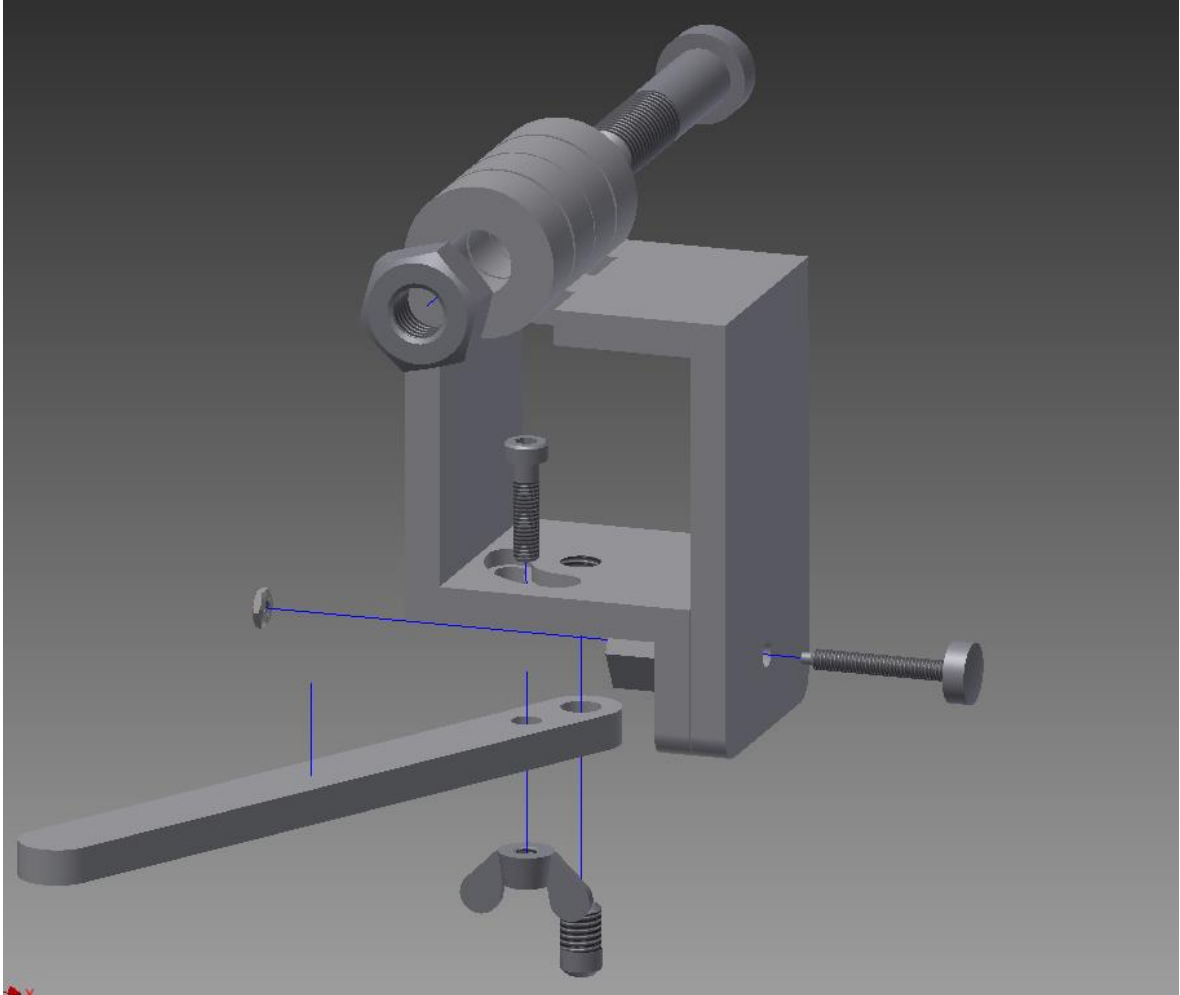


Fig. 33 – Explosión de la mordaza. Imagen tomada de (12)

5.3. Sistema mecánico.

El sistema mecánico de la maquina se basa en el movimiento por medio de poleas. La polea nos permite levantar un determinado peso a una cierta altura. En nuestro caso se trata de un sistema combinado de poleas simples. Este sistema se basa en el sistema simple de poleas el cual consta de una sola polea, el cual para realizar el movimiento debemos de ejercer la misma fuerza que el peso que tenemos que levantar. Lo que se consigue con este sistema mecánico no es reducir la fuerza necesaria para levantar el peso sino que nos permite aplicar la fuerza en una dirección más conveniente.

Si queremos que el sistema de poleas nos ayude a levantar más peso con la misma fuerza tendremos que utilizar una combinación de poleas. Si se utiliza una combinación de dos poleas para subir un peso, tenemos que ejercer la mitad de fuerza que con una polea simple.

Por lo que en nuestro sistema al realizar una fuerza desde el agarre se transmite una tensión a la sirga, está a su vez va unida al bloque de pesos y por medio del sistema de poleas múltiples se produce el movimiento. El bloque de pesas realiza el movimiento de subida y bajada a traves de las dos guías de acero.

5.4. Componentes eléctricos.

En primer lugar hablaremos de las dinamos. Esta no son tales dinamos sino alternadores; es decir, producen corriente alterna, no continua. Sólo la corriente continua puede almacenarse en baterías. Por ello hace falta un circuito rectificador para convertir la corriente alterna de la dinamo en continua que hablaremos en el siguiente punto.

Por otro lado tenemos el zirconato de titanio y de plomo (PZT). Los materiales piezoeléctricos son cristales naturales o sintéticos que no poseen centro de simetría.

Debido a la naturaleza de las vibraciones que queremos aprovechar, la energía producida es arrítmica e irregular en intensidad y voltaje, por lo que presenta similitudes con la corriente alterna. Para almacenarla en la batería será necesario rectificarla a corriente continua. Debido a la baja potencia de la energía producida, el circuito eléctrico debe estar lo más simplificado posible, sin elementos innecesarios que consuman energía.

Los componentes eléctricos serán los siguientes:

- 1.1. Una dinamo por polea.
- 1.2. Generadores piezoeléctricos.
- 1.3. Transformador.
- 1.4. Condensador.
- 1.5. Cableado para las dinamos.
- 1.6. Prolongador rizado.
- 1.7. Trece cables retractables.
- 1.8. Batería Externa Portatil RAVPower® Deluxe 15000mAh (17)

5.4. Sistema eléctrico.

El circuito eléctrico de rectificador de corriente es muy sencillo y se muestra a continuación. Consta de cuatro diodos y, opcionalmente, un condensador que suaviza los altibajos de la corriente de salida. El diodo es un componente electrónico que deja pasar la corriente en un sentido pero no en el inverso.

Tanto los dispositivos dinamo como el material piezoeléctrico generan señal alterna por lo que se requiere de este circuito para poder almacenar la energía recuperada.

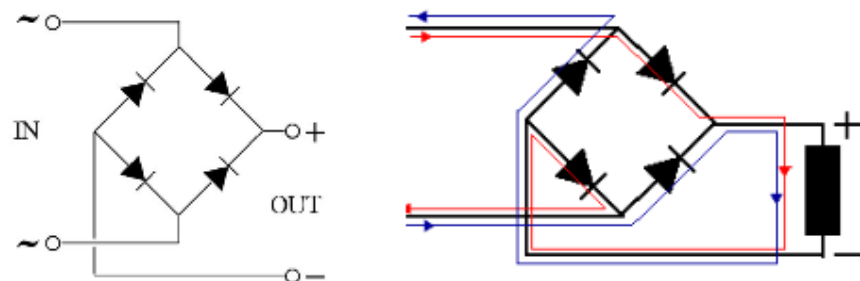


Fig.34 -Rectificador de onda. Imagen tomada de (18)

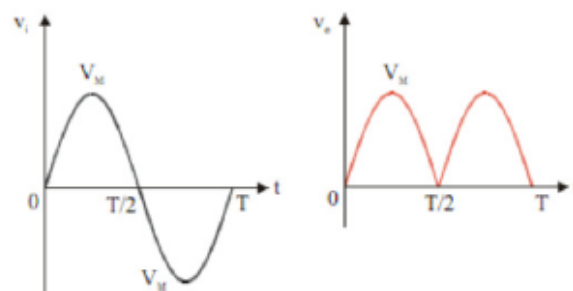


Fig.35 -Efecto del puente rectificador. Imagen tomada de (18)

Posteriormente se coloca un condensador que suaviza la señal. Cuando el voltaje aumenta el condensador se carga, y cuando el voltaje empieza a decaer, es cuando el condensador entrega su carga y trata de mantener el voltaje constante (18)

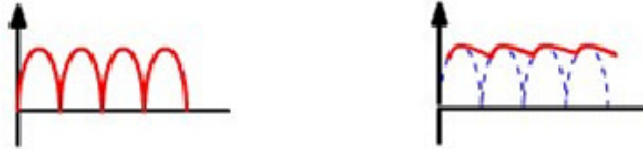


Fig.36-Efecto del condensador. Imagen tomada de (18).

Como se observa, aun quedan unas ondulaciones en la señal. A esto se le llama rizado. Lo ideal sería añadir al circuito un regulador de tensión, para rectificar por completo la señal y eliminar el rizado. Esto conlleva un problema, el regulador de tensión disipa electricidad para conseguir rebajar la tensión hasta el valor deseado. Nuestro propósito es aprovechar la máxima cantidad posible de electricidad, por lo cual no se introducirá este dispositivo en el circuito. Sin embargo, para minimizar este problema, se ha elegido el condensador lo mayor posible, ya que a mayor capacidad de éste, menor rizado (18)

5.5. Montaje de la mordaza.

Uno de los elementos que se ha diseñado en el presente trabajo ha sido lo que hemos llamado como mordaza o pieza de acople para la dinamo. El material elegido para esta pieza es el plástico PET. Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos puede ser procesado mediante extrusión, inyección y soplado, soplado de preforma y termo conformado.

Lo que le hace apropiado a este material para esta aplicación es que tiene buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes por lo que no sufrirá en exceso, tiene alta resistencia al descaste por ello debe aguantar bien la fatiga y buenas propiedades térmicas y ambientales por lo que la humedad de la sala y cambios de temperatura no afectaran a su estado.

En este apartado se mostrara el proceso de montaje y de cómo se debe de colocar en la maquina y adaptarlo a la polea.

La mordaza consta de tres piezas. Mordaza₁ y mordaza₂ que sirven para ajustar la pieza al perfil y la barra acopladora que une la dinamo a lo que es la mordaza y que sirve para ajustar la dinamo a la polea.

Mordaza₁:

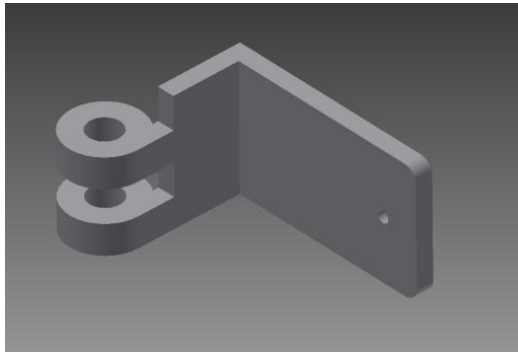


Fig.37-Mordaza₁. Imagen tomada de (12).

Mordaza₂:

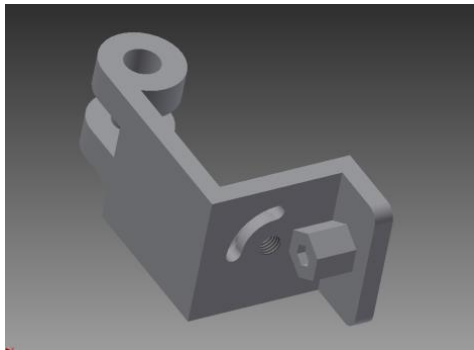


Fig.38-Mordaza₂. Imagen tomada de (12).

Barra acopladora:



Fig.39-Barra acopladora. Imagen tomada de (12)

5.2.1. Proceso de montaje:

- Paso 1: unir la barra acopladora a una de las piezas de la dinamo. Esta unión se basa en un tornillo que solo permite el movimiento giratorio y una palomilla que permite regular el ángulo de giro dentro de un ángulo de 90°. Tanto el tornillo como la palomilla son de métrica 6.

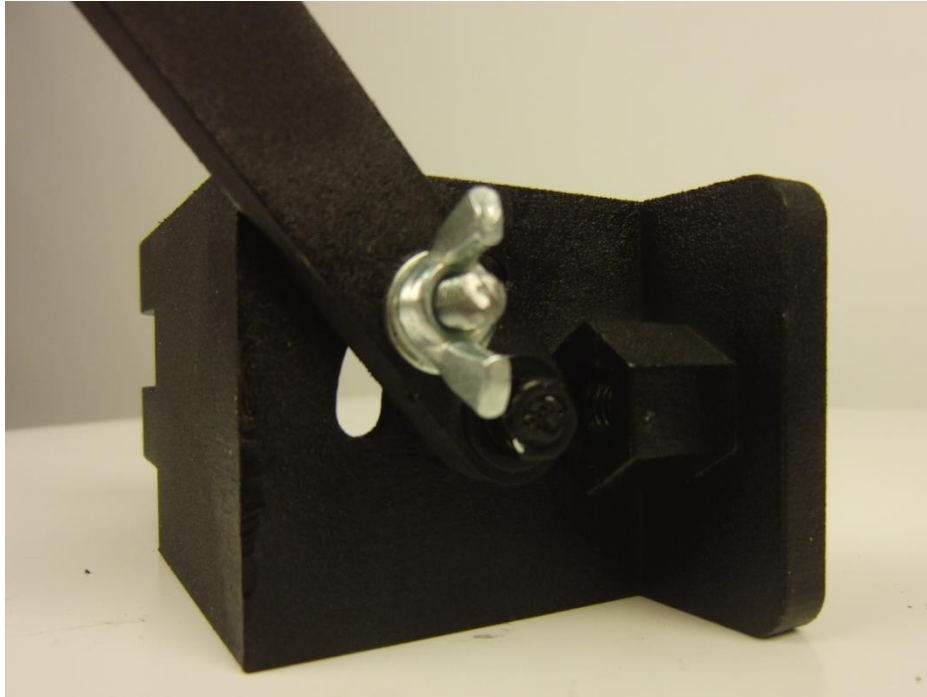


Fig.40-Parte de la mordaza. Imagen tomada de fotografía.

- Pasa 2: unir ambas partes de la mordaza. Esta unión es la más importante ya que de ella depende el juego de la mordaza. Esta unión se realiza mediante un tornillo de métrica 10, dos arandelas y una palomilla de métrica 10 también que permite regular la presión.

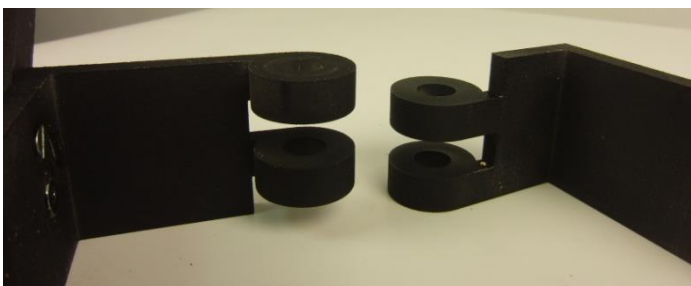


Fig.41 y 42-Partes de la mordaza (Izq), uniones utilizadas (Dcha). Imagen tomada de fotografía



Fig.43-Montaje de la mordaza. Imagen tomada de fotografía.

- Paso 3: Por ultimo introducimos el usillo para unir las dos partes de la mordaza y regular la presión con dicho usillo. Con este elemento podremos regular la presión de la mordaza para colocarla en lugar idóneo, tal y como se explicara a continuación.

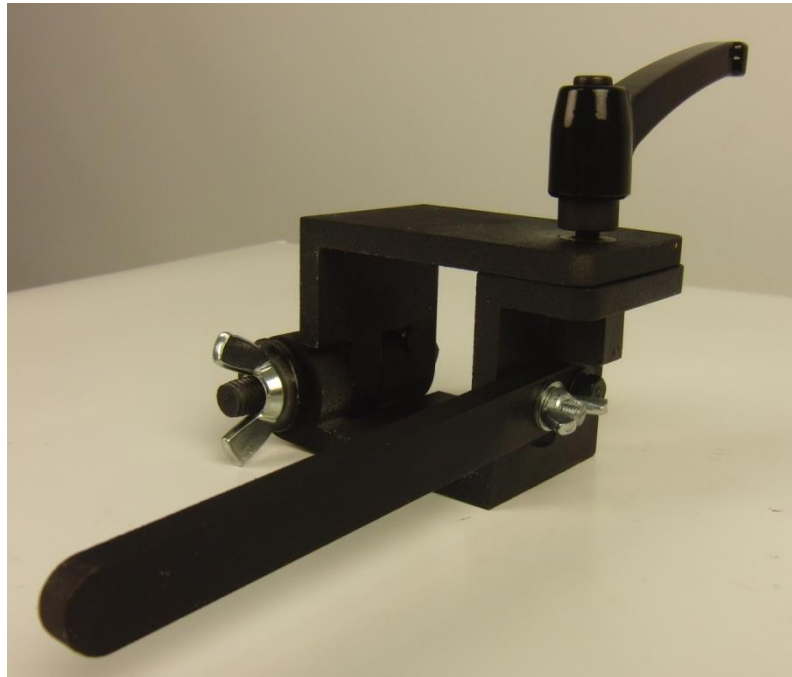


Fig.44-Montaje de la mordaza. Imagen tomada de fotografía.

5.2.2. Proceso de colocación.

Una vez que se ha definido como realizar el moteje de la mordaza de una manera sencilla, se expondrá como colocar la mordaza en el perfil para hacer mas visual su función.

En primer lugar y con la mordaza ya montada la colocamos sobre el perfil. Sin introducir todavía el usillo para regular en la posición idónea. Gracias al juego de la mordaza permite desplazar la pieza más adelante o más atrás del perfil buscando la colocación exacta.

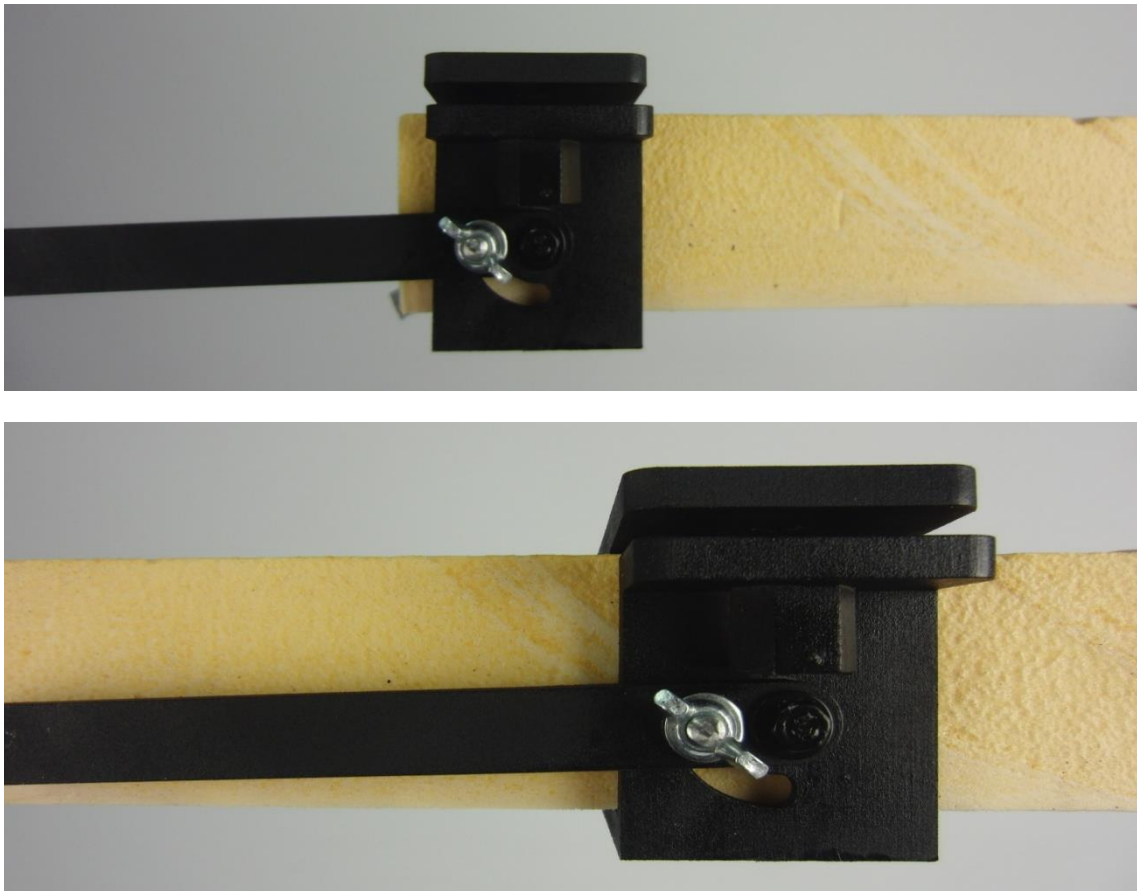


Fig.45 y 46-Colocación de la mordaza en el perfil. Imagen tomada de fotografía.

En segundo lugar cuando ya tenemos la posición de la mordaza idónea introducimos el usillo y hacemos a la pieza inmóvil. Ahora gracias al juego de la palomilla regularémos el ángulo de la barra acopladora para hacer coincidir finalmente la dinamo con la polea. El ángulo con el que se puede jugar para hacerla coincidir es de 90°.



Fig.47, 48 y 49-Posiciones de la barra acopladora. Imagen tomada de fotografía.

Por otro lado y para completar con el montaje se ha diseñado en Autocad la polea y su soporte y se ha fabricado mediante corte por laser. Con esta maqueta lo que conseguimos es una simulación real de cómo se colocaría la mordaza ya que tanto el perfil de espuma como la polea están relajadas a escala real y nos permite colocar esta con gran exactitud.

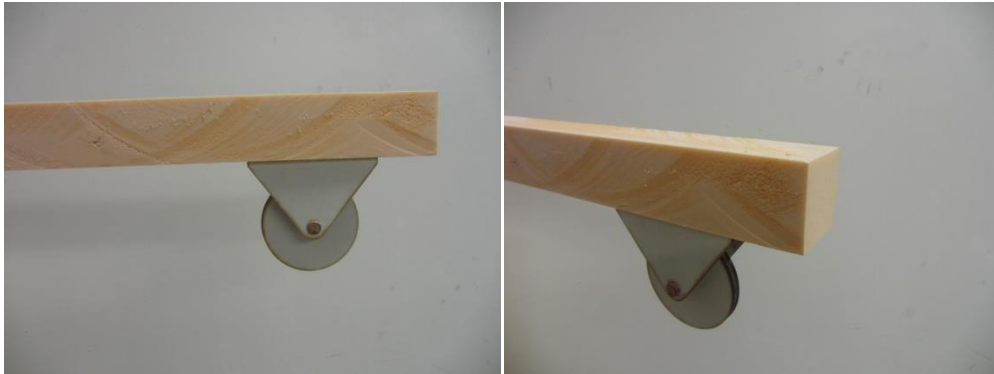


Fig.50, 51-Colocación de la polea. Imagen tomada de fotografía.

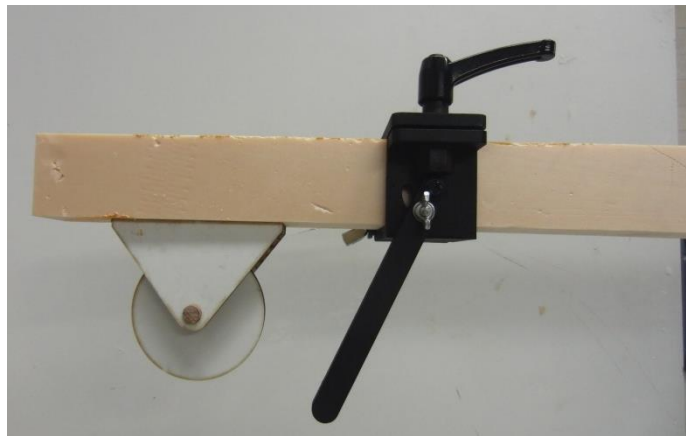


Fig. 52-Colocacion de la polea y mordaza. Imagen tomada de fotografía.

5.2.3. Unión barra acopladora- dínamo

Finalmente queda por definir cómo será la unión entre la dinamo y la pieza diseñada. La dínamo posee una pletina en la parte inferior la cual sirve para unir al cuadro de la bicicleta y en este caso utilizaremos también esta pletina para sujetarlo a la pieza. Además esta pletina también permite un cierto giro el cual sirve para que una vez este en contacto al dinamo con la polea hacer que se junte más o menos con la finalidad de que si se desea se pueda trabajar estando la dínamo en contacto o no sin tener que mover toda la pieza.

Una vez colocada la mordaza sobre el eje y consiguiendo el ángulo idóneo con la barra acopladora, se une a esa la dinamo mediante un tornillo y una palomilla. Con esto se consigue obtener todavía más precisión y adaptarlo mejor a la plea.

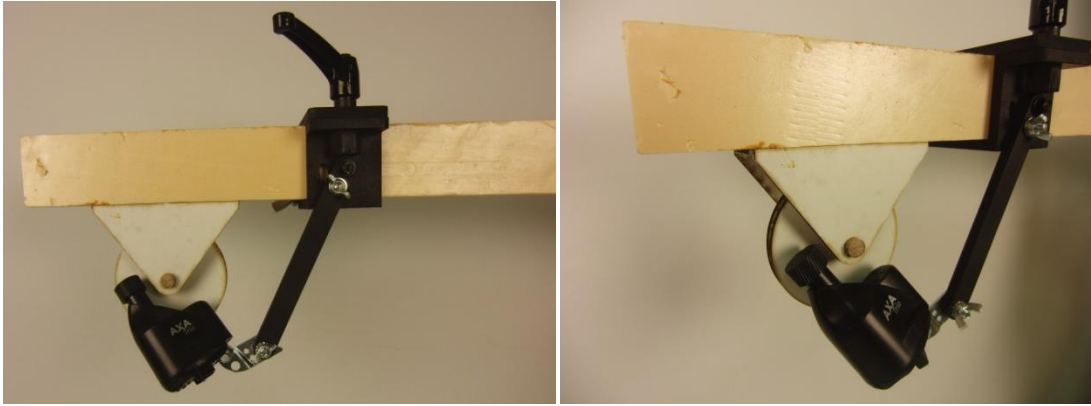


Fig.53 y 54-colocación y posiciones de la dínamo. Imagen tomada de fotografía.

Gracias al movimiento en horizontal que permite la mordaza y el giro de la barra acopladora permite colocar la dinamo en perfecta posición y además colocarla en diferentes puntos de contacto.

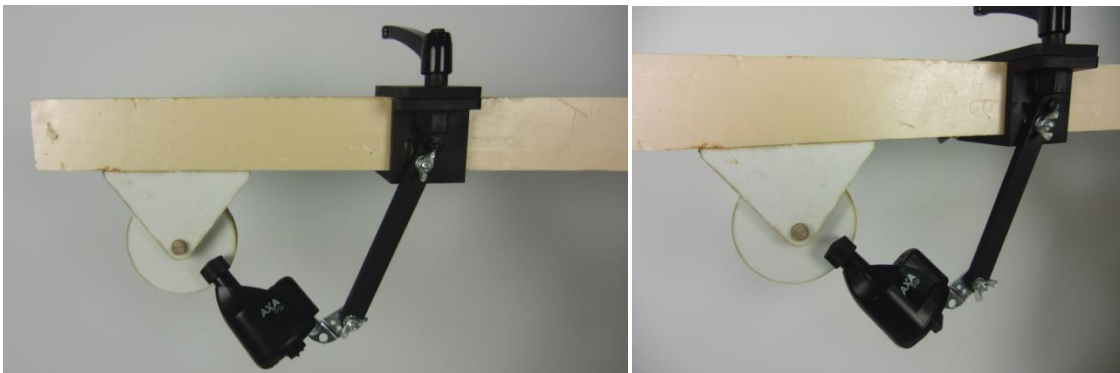


Fig.55 y 56-colocación y posiciones de la dínamo. Imagen tomada de fotografía.

6. REPRESENTACIÓN GRÁFICA. VISTAS 3D.

a) Vista isométrica.

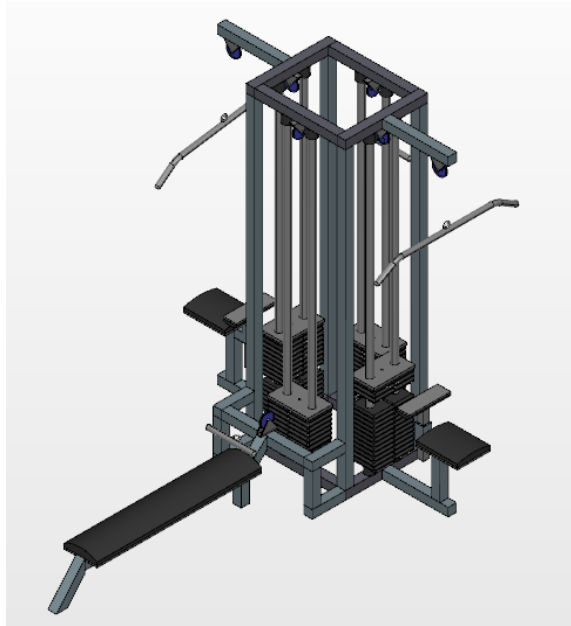


Fig.55- Vista isométrica. Imagen tomada de (12).

b) Vista frontal

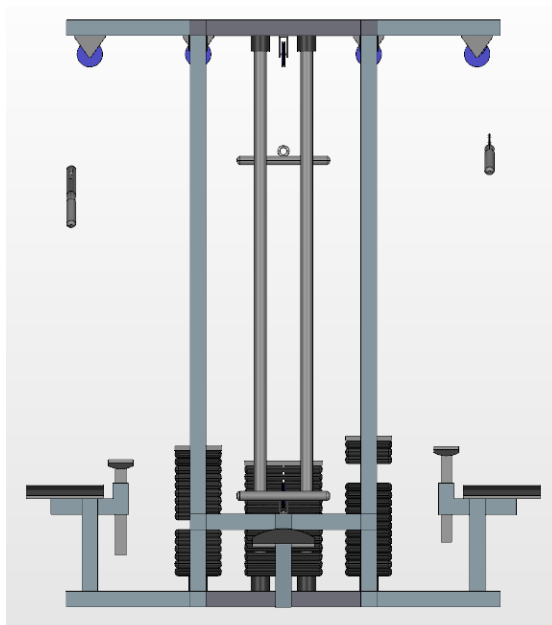


Fig.56- Vista frontal. Imagen tomada de (12).

c) Vista perfil.

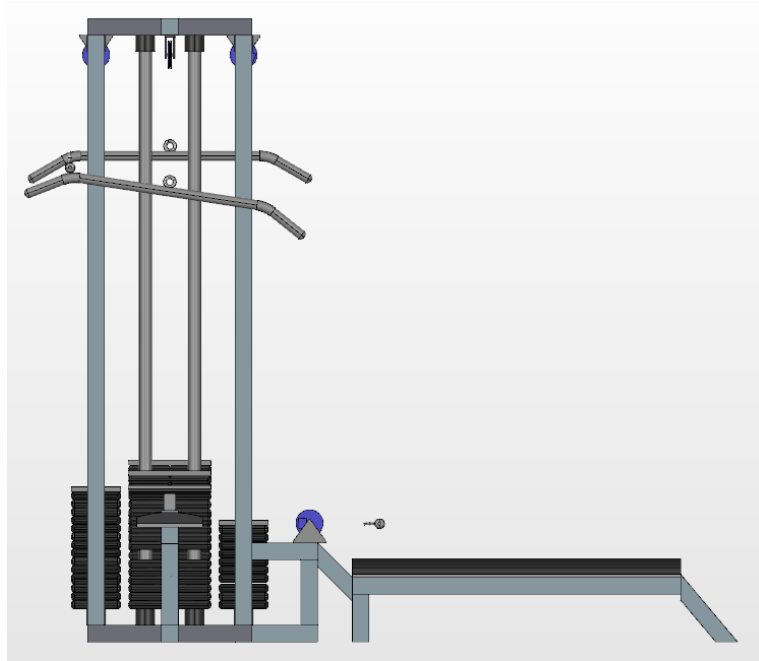


Fig.57- Vista de perfil. Imagen tomada de (12).

d) Vista planta.

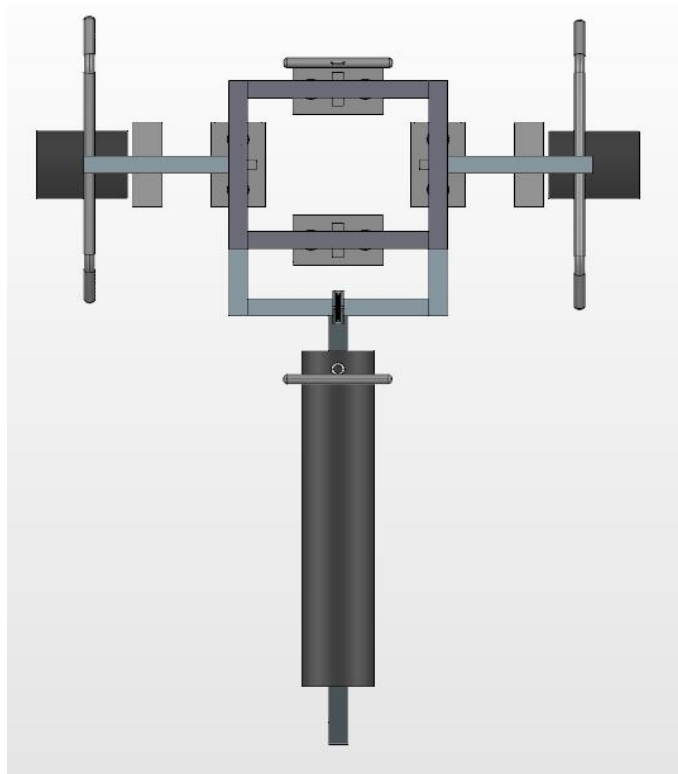


Fig.58- Vista de planta. Imagen tomada de (12).

7. VIABILIDAD ECONÓMICA Y COMERCIAL.

En este apartado se procede a analizar el sistema en varios puntos importantes. A nivel energético y a nivel económico. Es necesario conocer la cantidad de energía que el sistema es capaz de proporcionar, y al mismo tiempo debemos conocer su viabilidad en el mercado. Esto último siempre condicionado al coste del producto.

7.1. Balance energético.

Para conocer la cantidad de energía eléctrica generada por los materiales piezoeléctricos, se utilizará el coeficiente de acoplamiento del PZT (proporcionado por el fabricante).

El coeficiente de acoplamiento se puede interpretar como el rendimiento del material al absorber la energía eléctrica suministrada por la fuente de excitación.(19)

$$k_{33}=0,75$$

El subíndice 33, significa que el sentido de polarización del material es igual al sentido de la deformación.

La energía mecánica que absorbe el PZT debe ser pues un dato conocido. Esto se consigue calculando la **energía de deformación** (Ud).

La energía de deformación que estudiaremos será la de compresión.

$$U_d \text{ compresión} = F^2 / 2K$$

Dónde:

F : Fuerza aplicada sobre el anillo

K : Constante elástica del material

$$K = A \cdot E / L$$

A : Área del material

E : Módulo de Young del material

L : Longitud en el sentido de la deformación (18)

A partir de aquí ya se puede calcular la energía de deformación a compresión. Hay que tener en cuenta que la presión que se hará sobre el material piezoeléctrica depende del peso que seleccione el usuario de la máquina que varía de 5 a 70 kg. Por lo que para realizar el cálculo cogeremos un peso intermedio de 35 kg.

$$F = 35\text{Kg} \cdot 9,8 \text{ N/Kg} = 343 \text{ N}$$

$$K = A \cdot E / L ;$$

El material a utilizar es en forma de disco con un diámetro de 15mm y un grosor de 0.9mm.

$$A = \pi \cdot (7,5)^2 = 176,715 \text{ mm}^2$$

El modulo de Young del Zirconato de Titanio de Plomo va desde 5,9 a 9. Por ello cogeremos un valor intermedio de:

$$E = 7,3 \text{ N/m}^2$$

Longitud en el sentido de la deformación será el grosor del disco por lo que:

$$L = 0,9 \text{ mm}$$

$$K = 176,715 \text{ (mm}^2) * 7,3 * 10^6 \text{ (N/mm}^2) / 0,9 \text{ (mm)} = 1433355000 \text{ N/mm}$$

$$Ud_{\text{compresión}} = (343)^2 / 2 * (1433355000) = 0,0140 \text{ N*mm}$$

Dado que instalamos 2 discos piezoeléctricos en cada pesa y hay 13 pesas, tenemos un total de 26 por cada una de las estaciones.

$$Ud_{\text{compresión}} \text{ por estación} = 0,000364 \text{ Julios}$$

$$\text{Energía eléctrica} = Ud * k_{33} = 0,000273 \text{ Julios por cada compresión.}$$

Se ha calculado la energía que se genera, solamente por los PZT, cada vez que se comprimen y son posteriormente liberados, es decir, cada vez que se realiza una serie. Es conveniente conocer o hacer una aproximación de cuantas personas pueden pasar al día por la maquina y así conocer el número de series realizadas.

Para calcular dicha aproximación tomaremos las siguientes suposiciones:

1. El horario del gimnasio es de 9:00h a 21:00h, es decir, doce horas abierto.
2. Se realiza una serie cada 2 minutos.
3. Cada serie son de 10 repeticiones.
4. El tiempo de duración de cada serie es de 25 segundos.
5. Se va a calcular la cantidad de energía que se obtendría a lo largo de dos años

Por lo que el gimnasio está abierto durante 720 minutos. Si cada 2 minutos realiza un ejercicio una persona, el total de series que se realiza a lo largo del día es de 360 series.

Hay que tener en cuenta que los dispositivos PZT generan energía cada vez que se cogen las pesas, es decir, generan energía cada vez que se comienza una serie. Por lo tanto:

$$\text{Numero de series: } 360 \text{ series/día}$$

$$\text{Energía eléctrica generada: } 0,000273 \text{ Julios/serie.}$$

$$\text{Potencia} = 0,000273 \text{ Julios/ serie} * 360 \text{ serie/ día} = 0,09828 \text{ Julios/ día.}$$

Si el estudio se va a realizar durante dos años:

$$0,09282 \text{ Julios/ día} * 730 \text{ días} = 67,7586 \text{ Julios.}$$

Así observamos que tras el uso de la máquina a lo largo del día realizando una media de 360 series se generan 0,09828 Julios, por lo que a lo largo de los años se obtendrá 67,7586 Julios. Esta energía obtenida es tan solo producida por los dispositivos PZT y por una de las estaciones. Por lo que si se aplica la misma suposición a las 4 estaciones de la máquina:

$$67,7586 \text{ Julios/ estación} * 4 \text{ estaciones} = 271,0344 \text{ Julios.}$$

Por lo que esta es la energía que se obtiene a lo largo de dos años solamente a partir de los materiales piezoeléctricos. A esto hay que restarle las pérdidas del sistema, cableado y componentes. También hay que tener en cuenta que no solo generan los discos que quedan liberados sino que el resto por debajo también sufren variaciones de peso y vibraciones por lo que no estamos teniendo en cuenta toda la energía generada. Pero nos sirve para hacer una buena aproximación.

Una vez conocido la cantidad de energía obtenida a partir de los piezoeléctricos haremos lo mismo para realizar la aproximación de la energía obtenida por las dinamos.

Para realizar el cálculo de la energía que se puede recuperar por el movimiento de las poleas haremos un cálculo real. En vez de realizar una aproximación teórica como hemos hecho para los materiales piezoeléctricos, dispondremos de una dinamo la cual instalaremos en una de las poleas de la máquina que está disponible en la universidad, y mediante un voltímetro calcularemos la cantidad de energía que podemos recuperar mediante este dispositivo.

La prueba se va a realizar con una dinamo convencional la cual nos dará una buena aproximación de la cantidad de energía que se puede recuperar. En un principio se había pensado también el realizar una segunda prueba con una dinamo de alto rendimiento y así comparar con la convencional y ver si es viable una inversión mayor. Pero finalmente por motivos de falta de tiempo esta segunda prueba no se ha realizado.

La dinamo que utilizaremos para realizar la prueba real y conseguir una aproximación se trata de una dinamo convencional la cual principalmente se utiliza para sistema de alumbrado en bicicletas. La elegida es un dispositivo de la marca AXA Trio 2 x 2 y su precio es de 9€.



Fig.59- Dínamo convencional Axa trio. Imagen tomada de (20).

En una primera prueba se ha dispuesto de la dinamo y polímetro. Se ha colocado la dinamo en contacto con la máquina y está conectada al polímetro. Se ha realizado una serie de 10 repeticiones pero no se ha obtenido el resultado deseado. Para conocer la potencia de salida que manda la dinamo, se necesita la instalación de una carga que puede ser la propia batería donde se va a almacenar o un dispositivo LED por ejemplo. Por lo que para la segunda prueba necesitaremos conectar la dinamo a un puente rectificador para convertir la señal alterna que manda la dinamo a continua y esta llevarla a la carga bien sea la batería o la luz leed. Así podremos conocer la potencia que se obtiene con este dispositivo.

Por lo que para la segunda prueba se monta manualmente un puente rectificador de 4 diodos y un condensador como se muestra en la imagen.

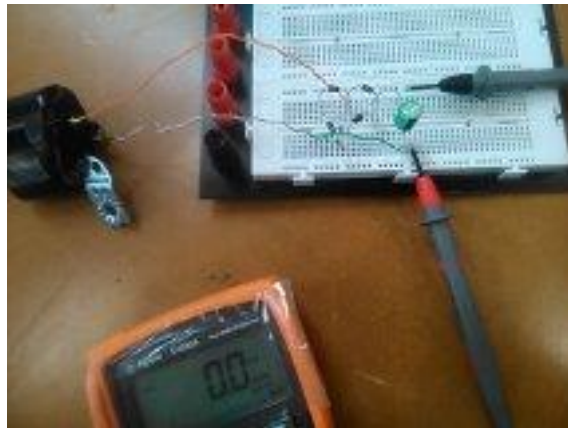


Fig.60- Montaje puente rectificador. Imagen tomada de fotografía.

Con esta prueba lo que se pretende en primer lugar es ver si funciona y conseguimos rectificar la señal alterna que emite la dinamo a continua para ser almacenada. Observamos que es así ya que para esta prueba colocamos como carga un diodo leed el cual se enciende al hacer mover el alternador.

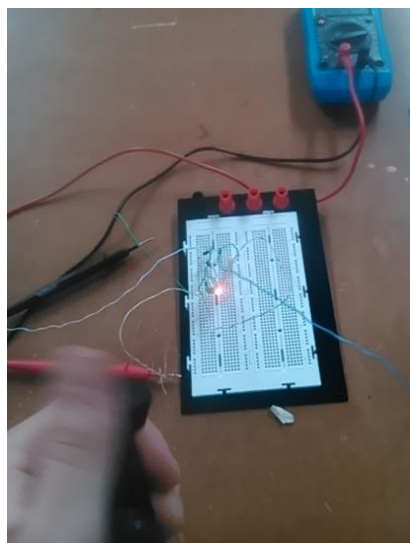


Fig.61- Leed funcionando. Imagen tomada de fotografía.

En esta prueba que se hace girar la dinamo con la mano se mide la corriente y el voltaje de salida en corriente continua y se obtienen valores de 15mA y 1,7V.

Para obtener valor más cercanos a nuestro caso preparamos una base de un metro para desplazar la dinamo en ella. El desplazamiento de subida y bajada de las pesas es de un metro por eso de a dispuesto de tal manera. Este desplazamiento se realiza en un segundo, que es lo que se ha estimado que se realiza una repetición, ya sea de subida o de bajada. Se realizan tres ensayos a distinto ritmo teniendo en cuenta que no todas las personas realizan el ejercicio a la misma velocidad y se obtienen con respecto a la intensidad valores de $I= 99\text{mA}$; $I=105\text{mA}$; $I= 115\text{mA}$ y con respecto al voltaje valores de $V=3,7\text{v}$; $V=3,8\text{v}$; $V=4\text{v}$. Por lo que cogemos como valores la media de cada uno y con los que trabajaremos. Estos valores son:

$$\begin{aligned} I &= 107\text{mA} \\ V &= 3,8 \text{ v} \\ \text{Potencia} &= 3,8 * 0,107 = 0,41 \text{ W} \\ \text{Energía emitida} &= 0,41 \text{ W por segundo} \end{aligned}$$

Como cada serie dura 25 segundos:

$$\text{Potencia emitida} = 0,41\text{W} * 25\text{seg} = 10,25 \text{ Julios/serie}$$

Como se realiza una serie cada dos minutos y el gimnasio está abierto 12h, como se ha planteado anteriormente, se realizan 360 serie:

$$\text{Potencia emitida} = 10,25 \text{ Julios/serie} * 360 \text{ series/día} = 3690 \text{ julios al día.}$$

Como el estudio se va a realizar durante dos años:

$$\text{Potencia emitida} = 3690 \text{ Julios/días} * 730 \text{ días} = 2693700 \text{ Julios/polea.}$$

Como hay 3 poleas por estación, habrá tres dinamos por estación, por lo que:

$$\text{Potencia emitida} = 2693700 \text{ Julios/polea} * 7 \text{ poleas/estación} = 1885900 \text{ Julios/estación.}$$

Como en la máquina existen 4 estaciones:

$$\text{Potencia emitida total} = 1885900 \text{ Julios/estación} * 4 \text{ estación} = 75423600 \text{ Julios/estación.}$$

De la misma manera podemos calcular la carga emitida:

$$\begin{aligned} Q \text{ cada serie} &= I * \text{seg} = 0,107 * 25 \text{ seg} = 2,675 \text{ A} * \text{seg} \\ Q \text{ al día} &= 2,675 * 360 = 963 \text{ A} * \text{seg} \\ Q_{\text{total al día}} &= 963 * 12 \text{ seg} = 11556 \text{ A} * \text{seg} = 3,21 \text{ A} * \text{h} \end{aligned}$$

Por lo que en resumen podemos decir que la energía generada durante 2 años es de 271,0344 Julios a partir de los materiales piezoeléctricos más 75423600 Julios a partir de las dinamos. Esto hace un total de 75423871,0344 Julios en dos años que es lo mismo:

- **37711935,5172 Julios al año.**
- **3142661,2931 Julios al mes.**
- **785665,323275 Julios a la semana.**
- **112237,903325 Julios al día que es lo mismo que 56118,9516625 en 12 h.**

7.2. Balance económico.

Debido a la cantidad de procesos diferentes que podemos emplear para fabricar ciertos componentes, es complicado calcular el precio exacto de cada uno de ellos. Algunos precios han sido tomados de piezas similares características que se pueden encontrar en el mercado. Como por ejemplo el valor del acople de la dinamo el cual su precio puede variar mucho en función del método y tamaño de serie:

NOMBRE	UNIDADES	PRECIO/Ud	PRECIO TOTAL
Bateria Externa Portatil	1	26,33	26,33
Prolongador rizado	1	2,5	2,5
Cable retractable	52	2	104
Anillos Piezoelectricos	52	58	3016
Dinamos	7	9	63
Cable 0,5mm2	80m	0,16 €/m	12,8
Condensadores	2	1,35	2,7
Conector para la dinamo	2	0,15	0,3
Puente de diodos	2	1,5	3
Acople dinamo	1	26,5	26,5
Horas de montaje	6 h	15	90
Total			3347,13 €

Tabla 1. Presupuesto.

Destacar que del precio final que es de 3347,13 €, mas del 90% se concentran en el material piezoeléctrico, y tras consultar a los principales fabricantes, se observa que el precio de este depende en gran medida de la cantidad que se fabrique.

7.3. Estudio Pareto.

El diagrama de Pareto es una herramienta de análisis que ayuda a tomar decisiones en función de prioridades, el diagrama se basa en el principio enunciado por Vilfredo Pareto que dice:

"El 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan".

En otras palabras: un 20% de los errores vitales, causan el 80% de los problemas, o lo que es lo mismo: en el origen de un problema, siempre se encuentran un 20% de causas vitales y un 80% de triviales.

En nuestro caso nos damos cuenta que los materiales piezoeléctrico suponen un 90% del presupuesto y del total de julios recuperados proporciona el 0,0035%, por lo que se asimila a lo que enuncia este estudio de Pareto.

Como comentario de la tabla podemos decir que empezando por la izquierda en la primera columna se representan todos los elementos necesarios ordenados de mayor a menor valor económico que se representa en la segunda columna. En la tercera columna se representa el precio acumulativo. La cuarta y quinta columna siguen la misma idea pero en términos de porcentajes sobre el coste total.

	Precio	Precio Acum.	% Total	% Total Acum.
Anillos Piezoeléctricos	3016	3016	90,10%	90,10%
Cables Retractableles	104	3120	3,10%	93,20%
Horas de montaje	90	3210	2,60%	95,80%
Dinamos	63	3273	1,88%	97,68%
Acople dinamo	26,5	3299,5	0,79%	98,47%
Batería externa Portátil	26,33	3325,83	0,78%	99,25%
Metros de cable	12,8	3338,63	0,38%	99,63%
Puente de diodos	3	3341,63	0,09%	99,72%
Condensadores	2,7	3344,33	0,08%	99,80%
Prolongador rizado	2,5	3346,83	0,07%	99,87%
Conectores para la dinamo	0,3	3347,13	0,13%	100,00%

Tabla 2.- Tabla Pareto.

Una vez concluida la construcción del Diagrama de Pareto la interpretación de los datos se facilita, donde se observa tanto la frecuencia absoluta asociada a cada causa, en nuestro caso los diferentes dispositivos como también la contribución relativa acumulada que generan cada uno de los dispositivos sobre el precio final.

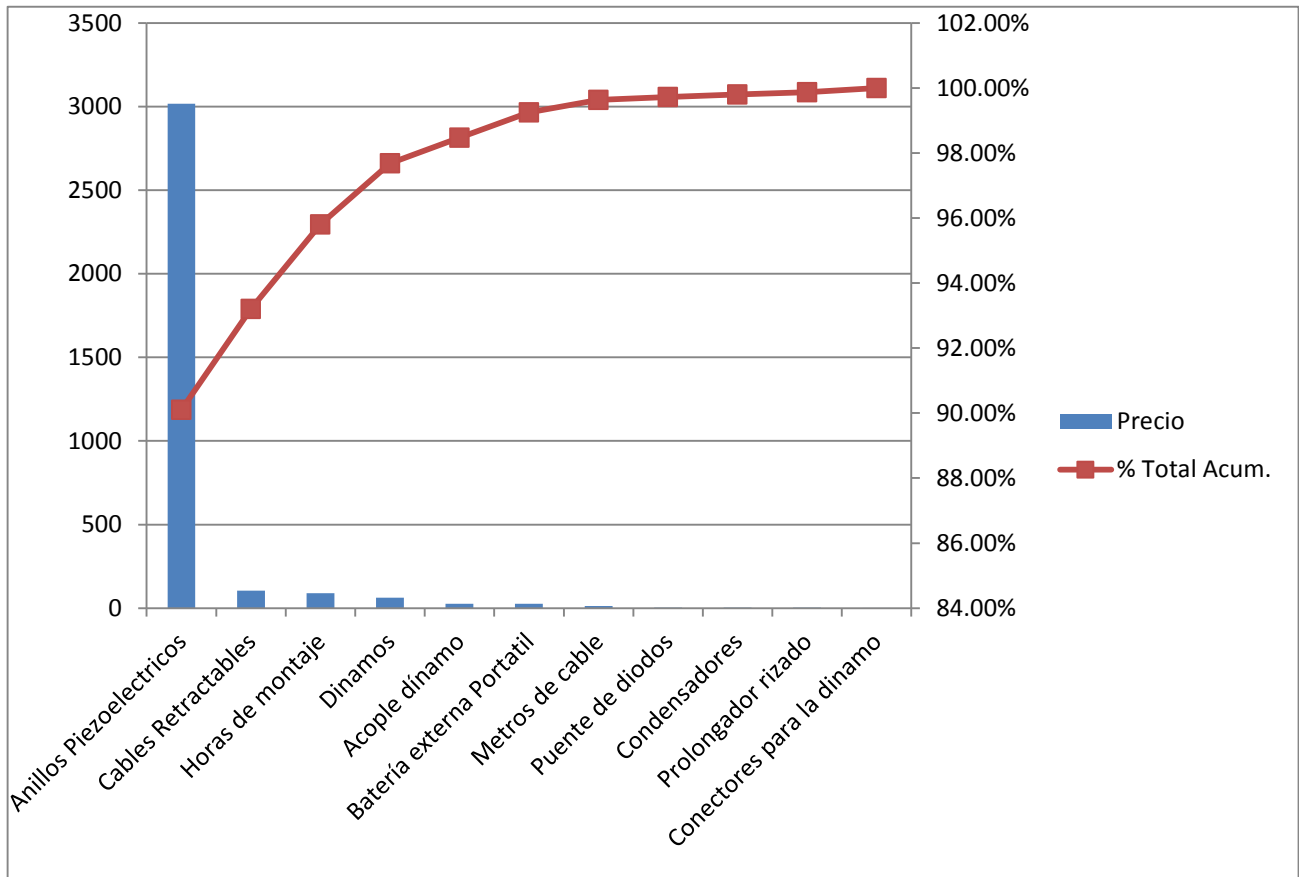


Gráfico 1- Resultado estudio Pareto.

8. VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ESPECIFICACIONES.

8.1. Ensayos virtuales.

Se han realizado análisis para comprobar la resistencia del soporte de la dinamo. El análisis más importante consiste en simular el caso en el que la mordaza está sujeta al perfil de la máquina de manera estática, y al final de del acople rectangular ira situada la dinamo.

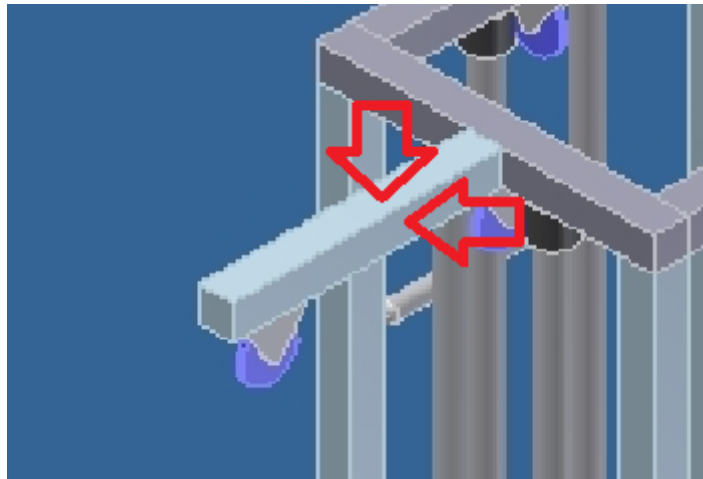


Fig.62- Posición de la mordaza. Imagen tomada de (12).

Con este soporte se consigue dos cosas. Gracias al juego de la mordaza permite situar el soporte más adelante o atrás sobre el perfil cuadrado que soportan la polea. Y en segundo lugar el movimiento del acople rectangular permite un ligero movimiento circular para terminar de ajustar la dinamo.

El material que se ha utilizado es un plástico, en concreto plástico PET. Con las propiedades que se definen en la tabla.

▣ Simulación PET:

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de simulación	Análisis estático
Fecha de la última modificación	26/05/2015, 11:36
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

▣ Material(es)

Nombre	Plástico PET	
General	Densidad de masa	1,541 g/cm ³
	Límite de elasticidad	54,4 MPa
	Resistencia máxima a tracción	55,1 MPa
Tensión	Módulo de Young	10,367 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,417 su
	Módulo cortante	3,65808 GPa
Tensión térmica	Coefficiente de expansión	0,000253 su/c
	Conductividad térmica	0,3 W/(m K)
	Calor específico	2287 J/(kg c)
Nombre(s) de pieza	Mordaza1 mordaza2 acople	
Nombre	Acero, suave	
General	Densidad de masa	7,86 g/cm ³
	Límite de elasticidad	207 MPa
	Resistencia máxima a tracción	345 MPa
Tensión	Módulo de Young	220 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,275 su
	Módulo cortante	86,2745 GPa
Tensión térmica	Coefficiente de expansión	0,000012 su/c
	Conductividad térmica	56 W/(m K)
	Calor específico	460 J/(kg c)
Nombre(s) de pieza	DIN 6912 M12 x 60 DIN 6915 M12 Screw GB/T 840-1988 Type B M4x30 DIN 6912 M5 x 20 DIN 315 M5 Screw GB/T 878-2007 8x14	
Nombre	Acero inoxidable, 440C	
General	Densidad de masa	7,75 g/cm ³
	Límite de elasticidad	689 MPa
	Resistencia máxima a tracción	861,25 MPa
Tensión	Módulo de Young	206,7 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,27 su
	Módulo cortante	81,378 GPa
Tensión térmica	Coefficiente de expansión	0,0000104 su/c
	Conductividad térmica	24,23 W/(m K)
	Calor específico	160,57 J/(kg c)
Nombre(s) de pieza	DIN EN 24035 M4	

Tabla 3- Características de las piezas.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo de elasticidad en X	2960000000	N/m ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.37	N/D
Módulo cortante en XY		N/m ²
Densidad de masa	1420	kg/m ³
Límite de tracción en X	57300000	N/m ²
Límite de compresión en X	92900000	N/m ²
Límite elástico		N/m ²
Coefficiente de expansión térmica en X		/K
Conductividad térmica en X	0.261	W/(m·K)
Calor específico	1140	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Tabla 4- Propiedades del PET.

Tras realizar cálculos y sumatorios de momentos en la pieza a analizar se ha obtenido que las fuerzas que se aplicaran serán:

1. Fuerza de la gravedad con un valor de 9810,000 mm/s². Esta fuerza se aplica sobre la parte superior de la mordaza.
2. Una reacción con un valor de 22,2 N sobre el tornillo giratorio. Su sentido será hacia abajo en el eje X debido a que se ha supuesto en un principio hacia arriba y se a obtenido el valor de -22,2 N.
3. Una reacción con una valor de 25,7N con sentido hacia arriba en el eje X sobre la unión de la palomilla.
4. El peso de la barra acopladora en el medio de esta con un valor de 1,5 N con sentido hacia abajo en el eje X.
5. El peso que supone la colocación de la dinamo en el extremo de la barra acopladora con un valor de 2 N y hacia abajo en el eje X.

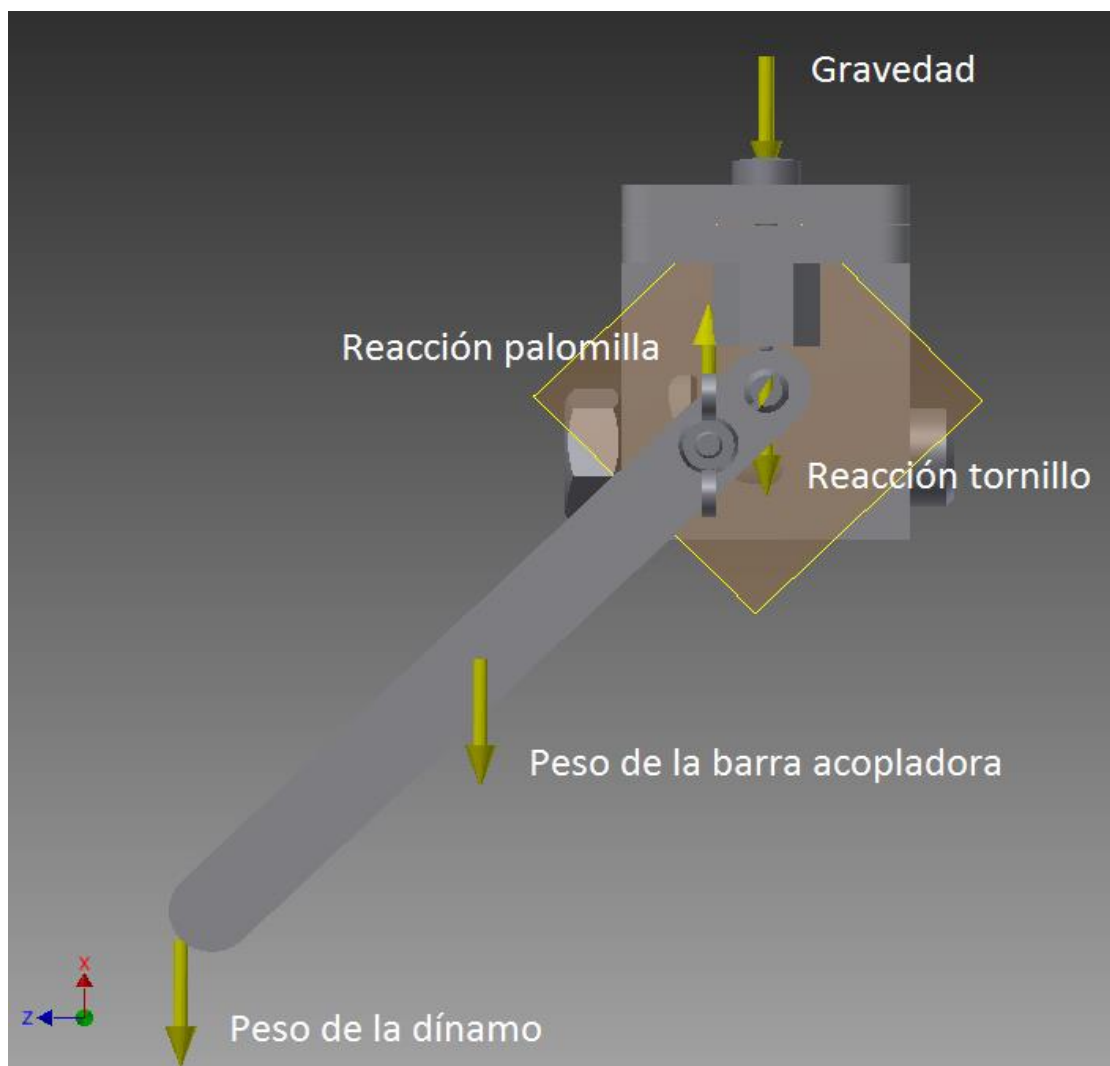


Fig.63- Reparto de fuerzas. Imagen tomada de (12).

ENSAYO ESTÁTICO.

A continuación se analizan las tensiones sufridas en el acople, así como los desplazamientos y la deformación unitaria.

Sacando como conclusión que en ninguno de los casos se supera los valores de fluencia del material, y no solo eso, sino que se queda por muy debajo. Esto se debe a una cosa principalmente y es que el peso de la dinamo es relativamente bajo ya que es de 220 gr lo que no supone un gran esfuerzo para nuestro acople.

8.1.1. Tensiones von Mises:

La tensión de Von Mises es una magnitud física proporcional a la energía de distorsión. En ingeniería estructural se usa en el contexto de las teorías de fallo como indicador de un buen diseño para materiales dúctiles.(21)

El valor máximo es de 6,526 MPa. Este valor se da cerca de la unión entre la mordaza y el acople de la dinamo. Si lo comparamos con el valor límite de tracción material que es de 57300000 N/m² que es lo mismo que 57,3 MPa, se observa que resiste el esfuerzo sin que ninguna zona esté en peligro de rotura.

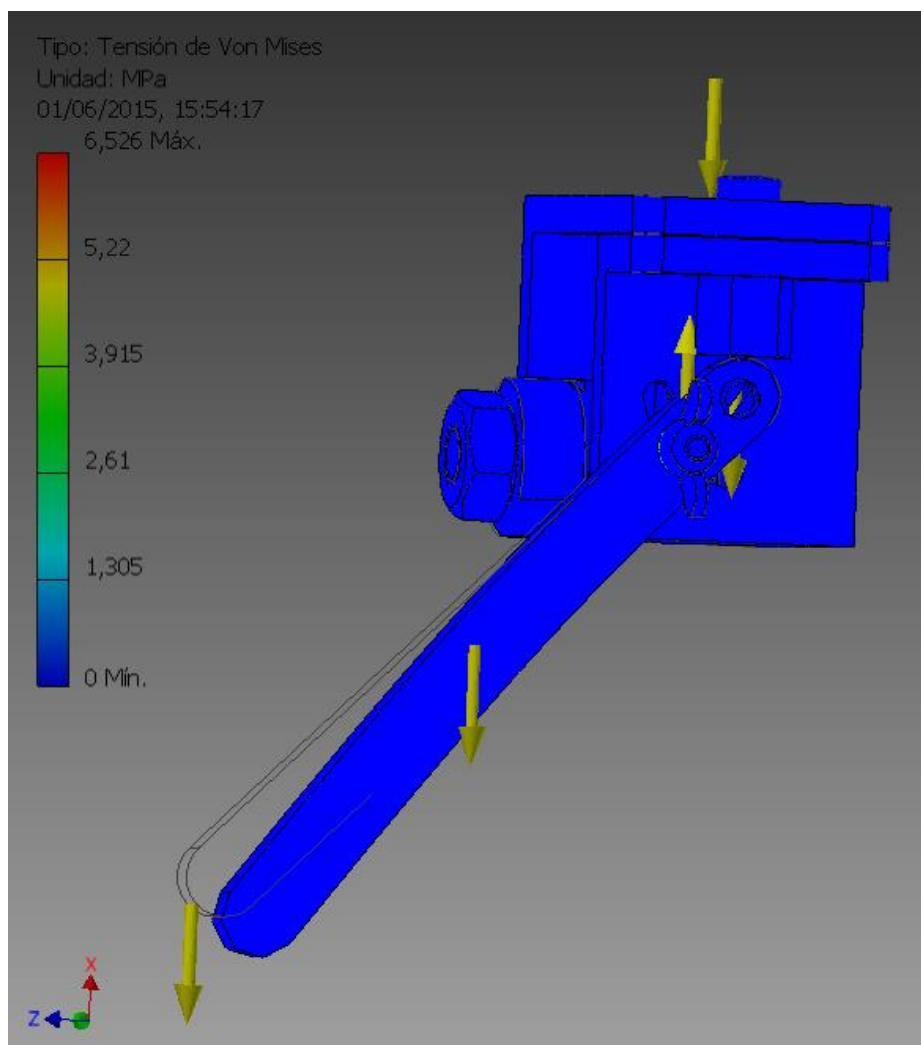


Fig.64- Resultado de las fuerzas. Imagen tomada de (12).

Tensiones en ejes:

Tensión X:

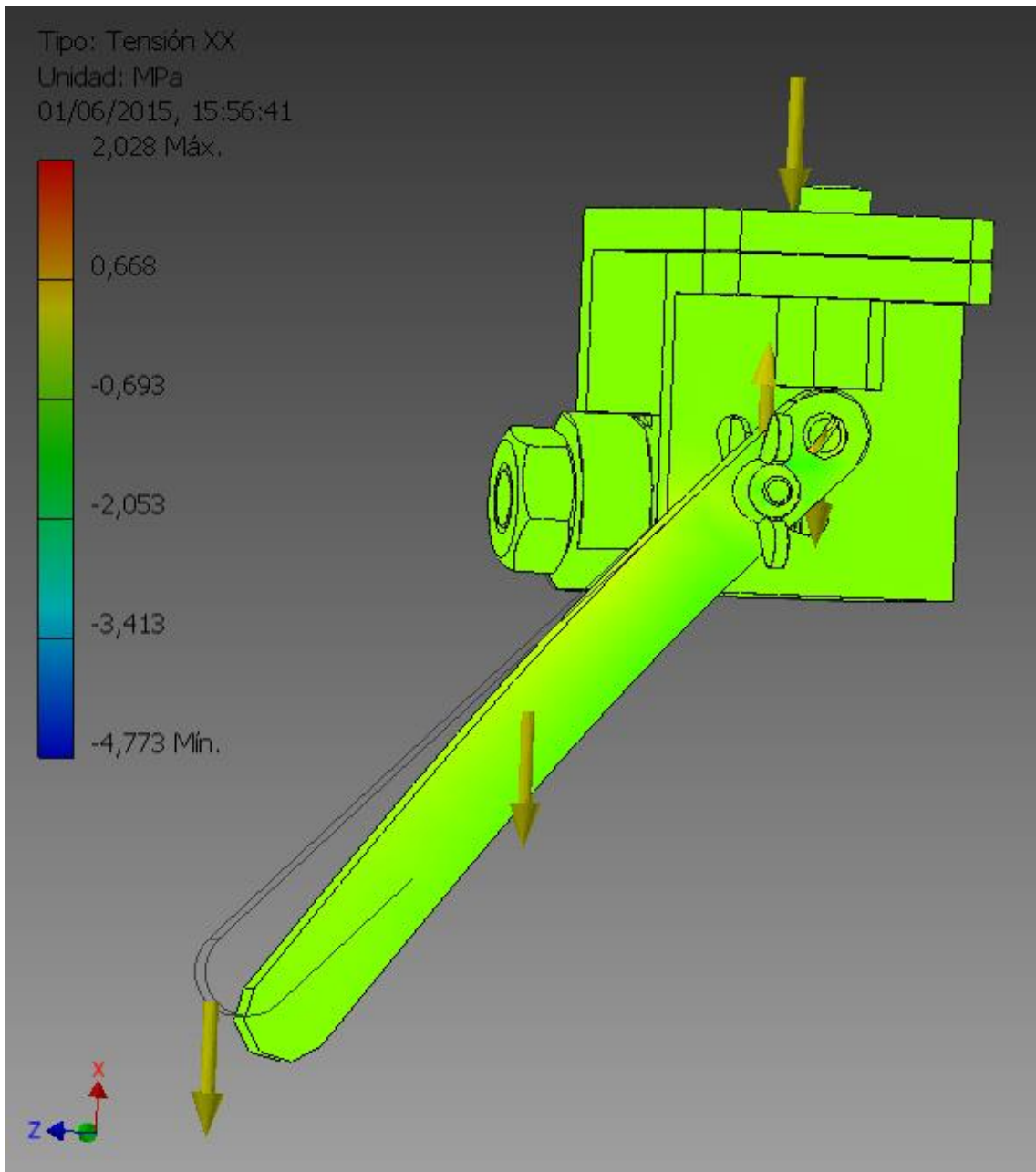


Fig.65- Resultado de las fuerzas. Imagen tomada de (12).

Tensión Y:

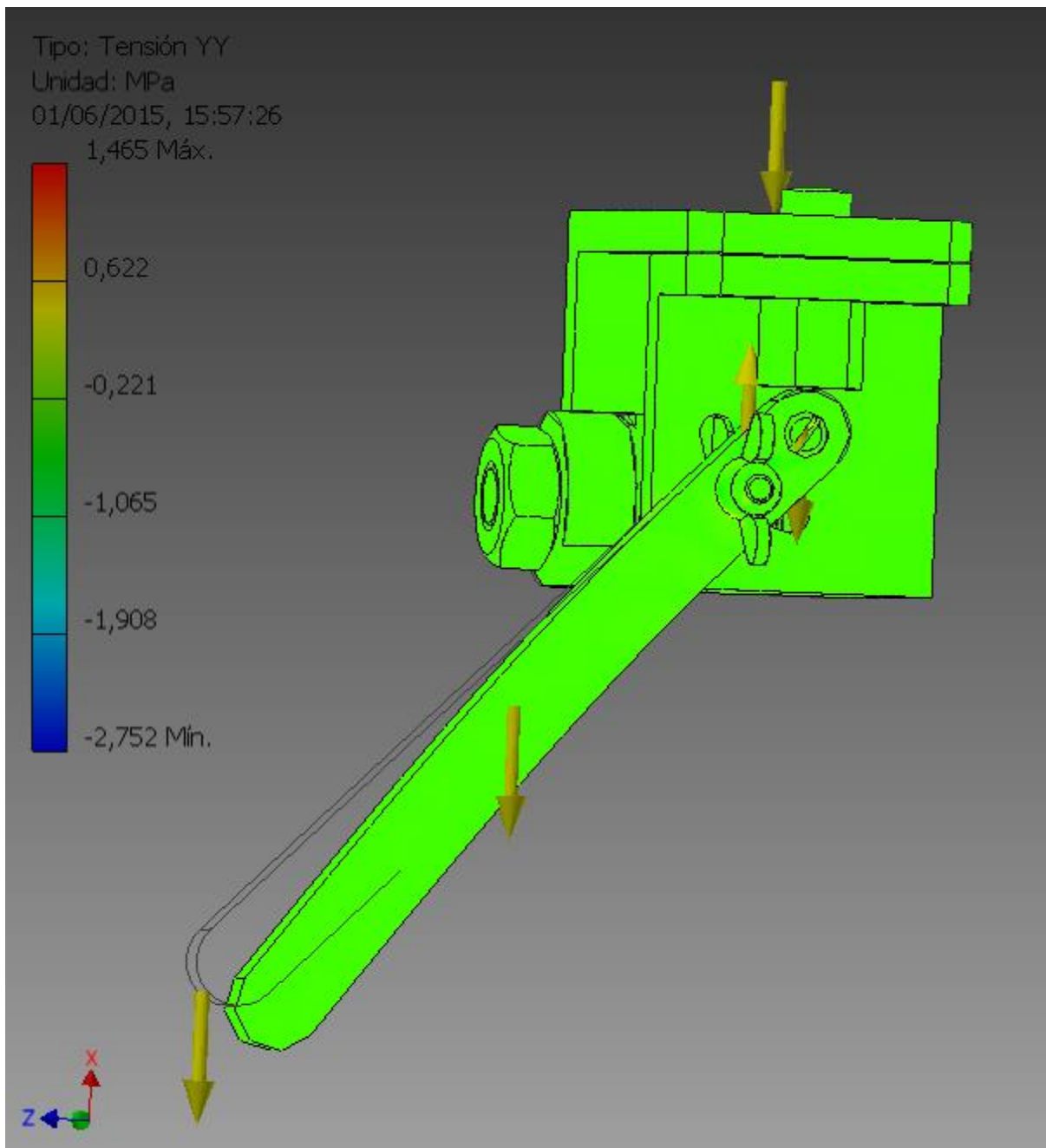


Fig.66- Resultado de las fuerzas. Imagen tomada de (12).

Tensión Z:

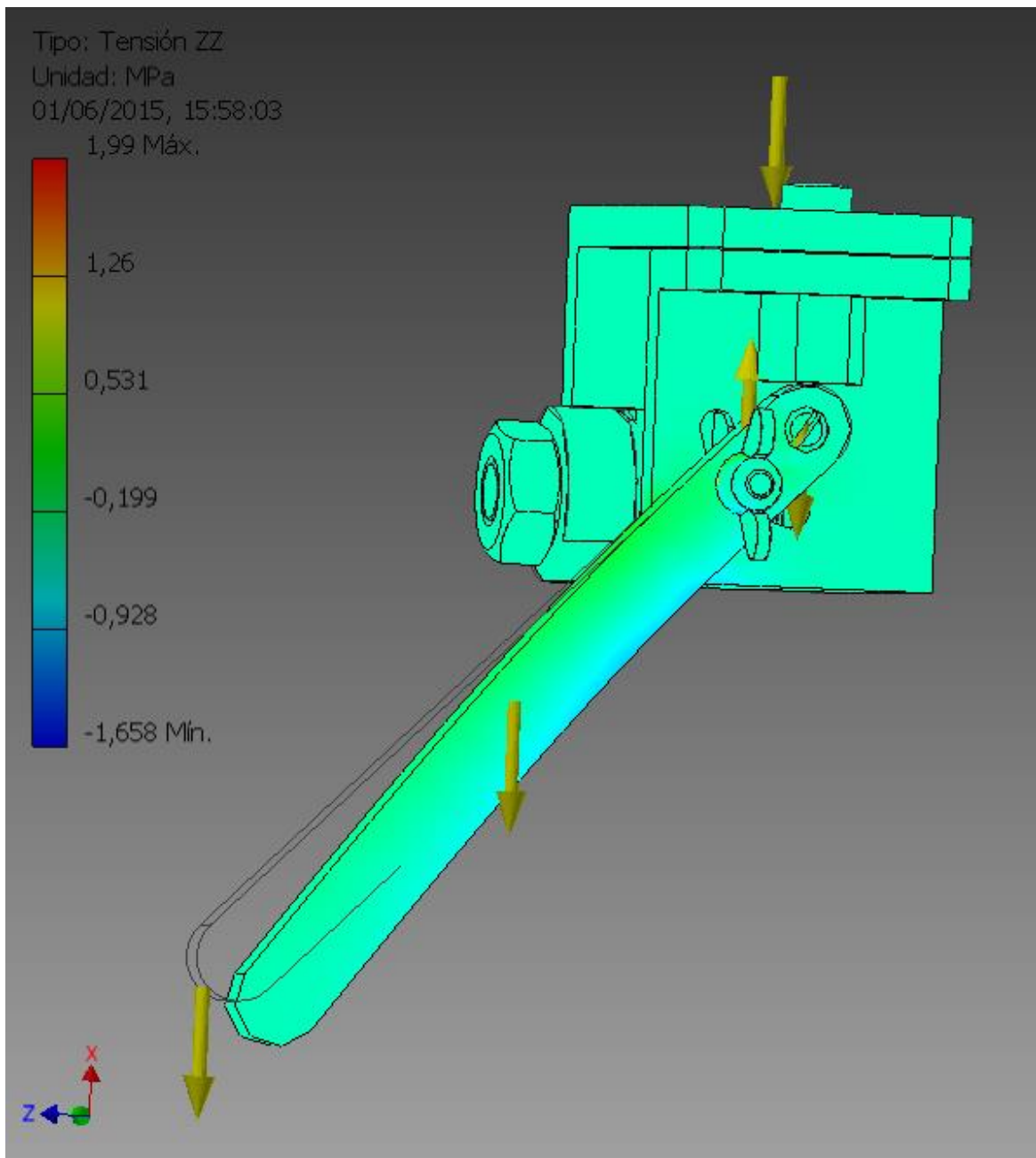


Fig.67- Resultado de las fuerzas. Imagen tomada de (12).

8.1.2. Desplazamientos respectivos:

En este estudio se analiza que partes de la pieza sufren un desplazamiento de su posición original en reposo al aplicar las fuerzas sobre ella. Estas fuerzas son la gravedad, el peso de la dinamo, las reacciones de las uniones y el peso de la propia barra acopladora.

Como comentario de la imagen se puede decir que la parte de la mordaza no sufre ningún desplazamiento debido a que está fijada de manera correcta al perfil de la maquina lo cual es un dato positivo ya que es nuestro propósito.

Si analizamos la segunda pieza que es la que une la dinamo y la mordaza (barra acopladora) vemos que se observan ciertos desplazamientos. El desplazamiento máximo es de 0,04675 mm y se da en el extremo del acople por lo que es un dato positivo ya que apenas se desplaza unas milésimas de milímetros y no afecta para su función.

Otro dato positivo que podemos sacar es que en la zona de unión entre la mordaza y el perfil que sirve de acople no se producen desplazamientos, ni en la unión mediante el tornillo ni en la unión de palomilla.

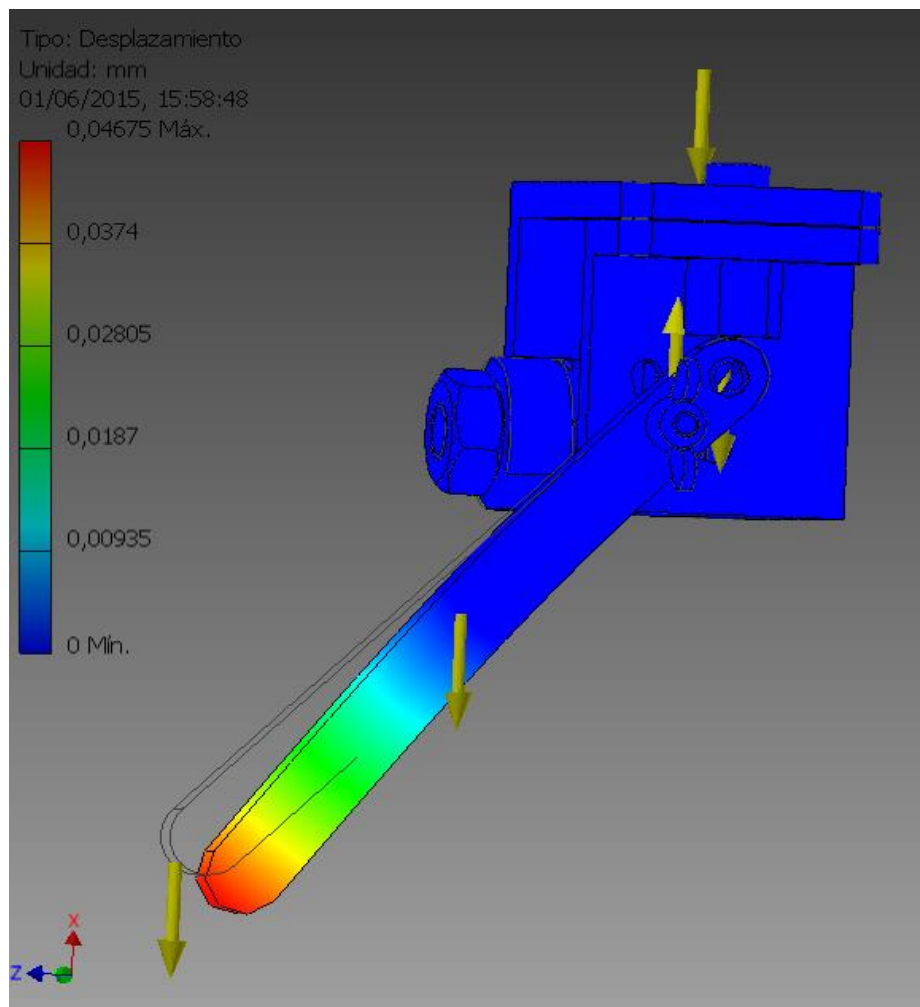


Fig.68- Resultado de las fuerzas. Imagen tomada de (12).

Desplazamiento en los ejes.

Desplazamiento X:

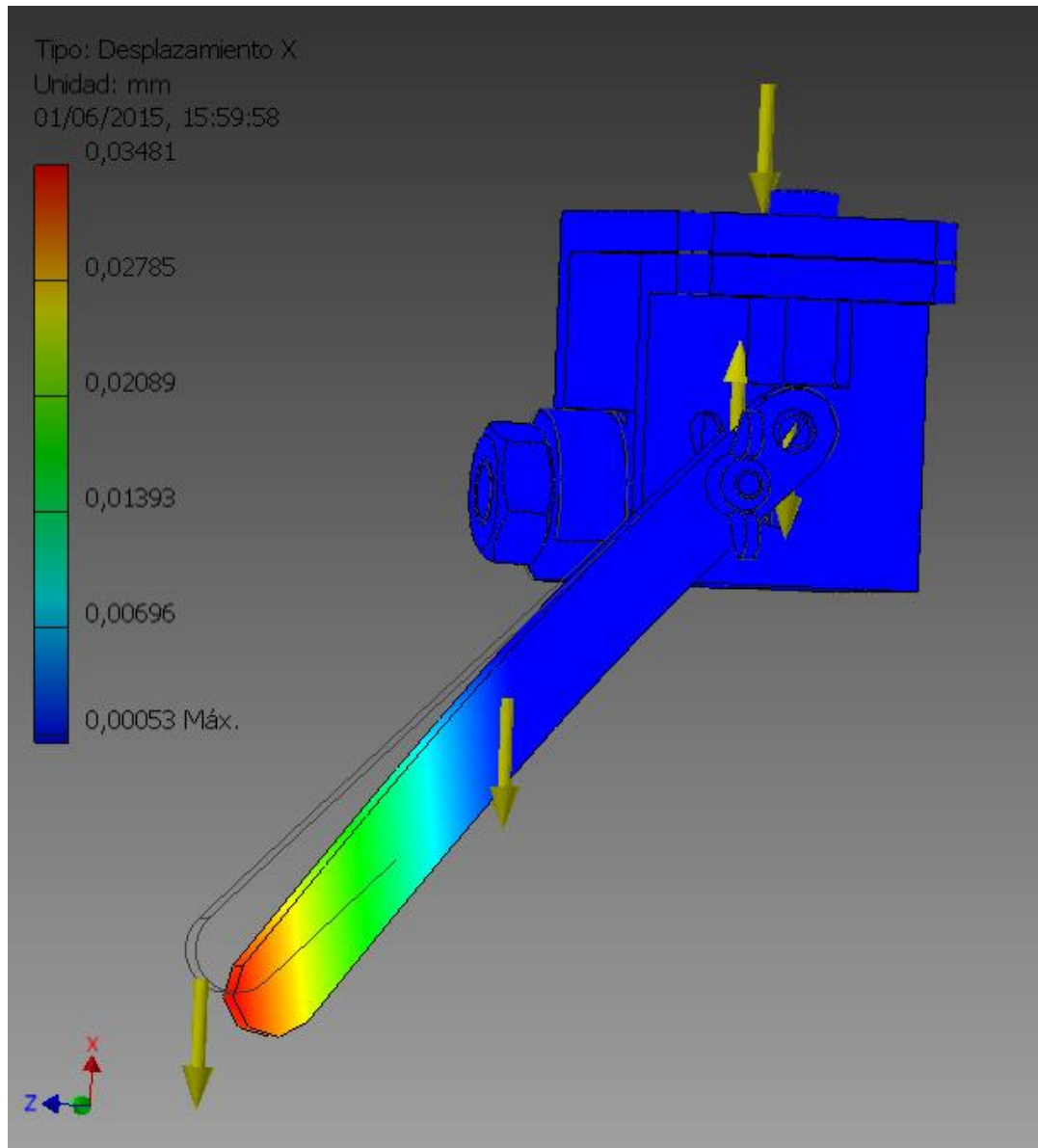


Fig.69- Resultado de las fuerzas. Imagen tomada de (12).

Desplazamiento Y:

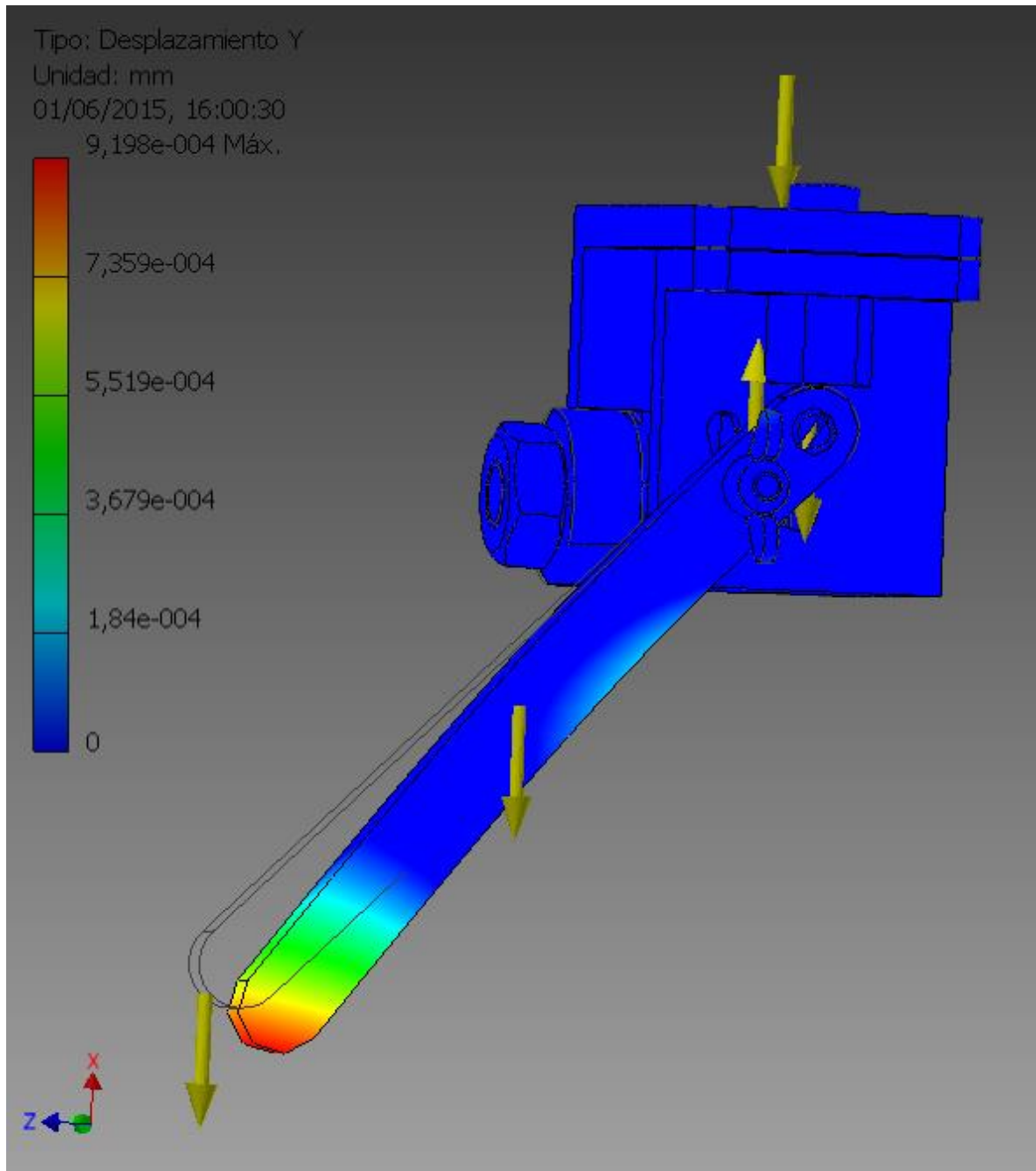


Fig.70- Resultado de las fuerzas. Imagen tomada de (12).

Desplazamiento Z:

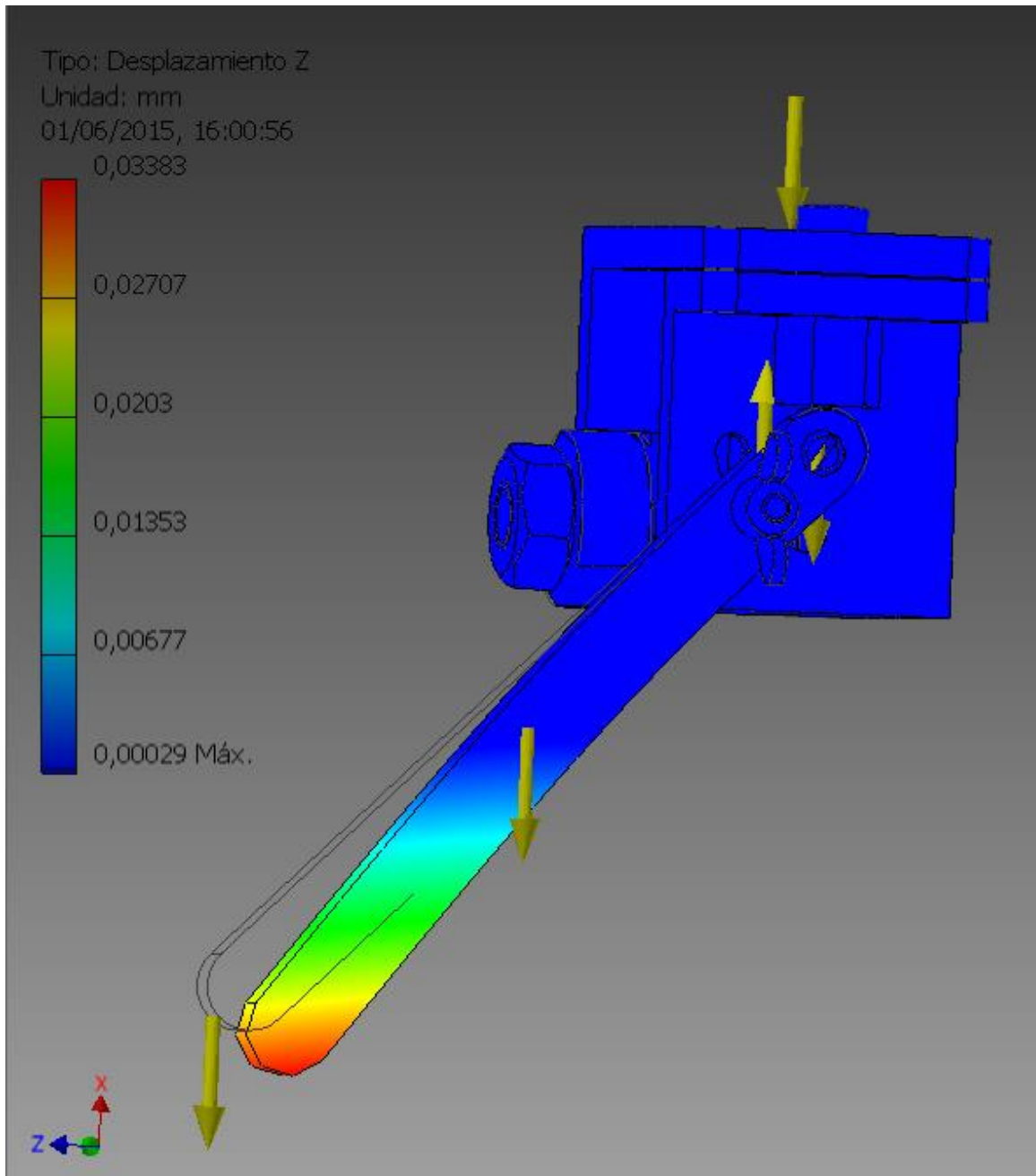


Fig.71- Resultado de las fuerzas. Imagen tomada de (12).

8.1.3. Deformación principal:

La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica. La magnitud más simple para medir la deformación es lo que en ingeniería se llama deformación axial o deformación unitaria se define como el cambio de longitud por unidad de longitud.(22)

Dentro de las propiedades del material (PET) podemos destacar el buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes.

Por lo que podemos decir que la deformación que sufre nuestra pieza es una deformación elástica, por lo que no se deforma plásticamente y mantiene su forma por lo que tampoco llega a la rotura el cual era uno de los objetivos.

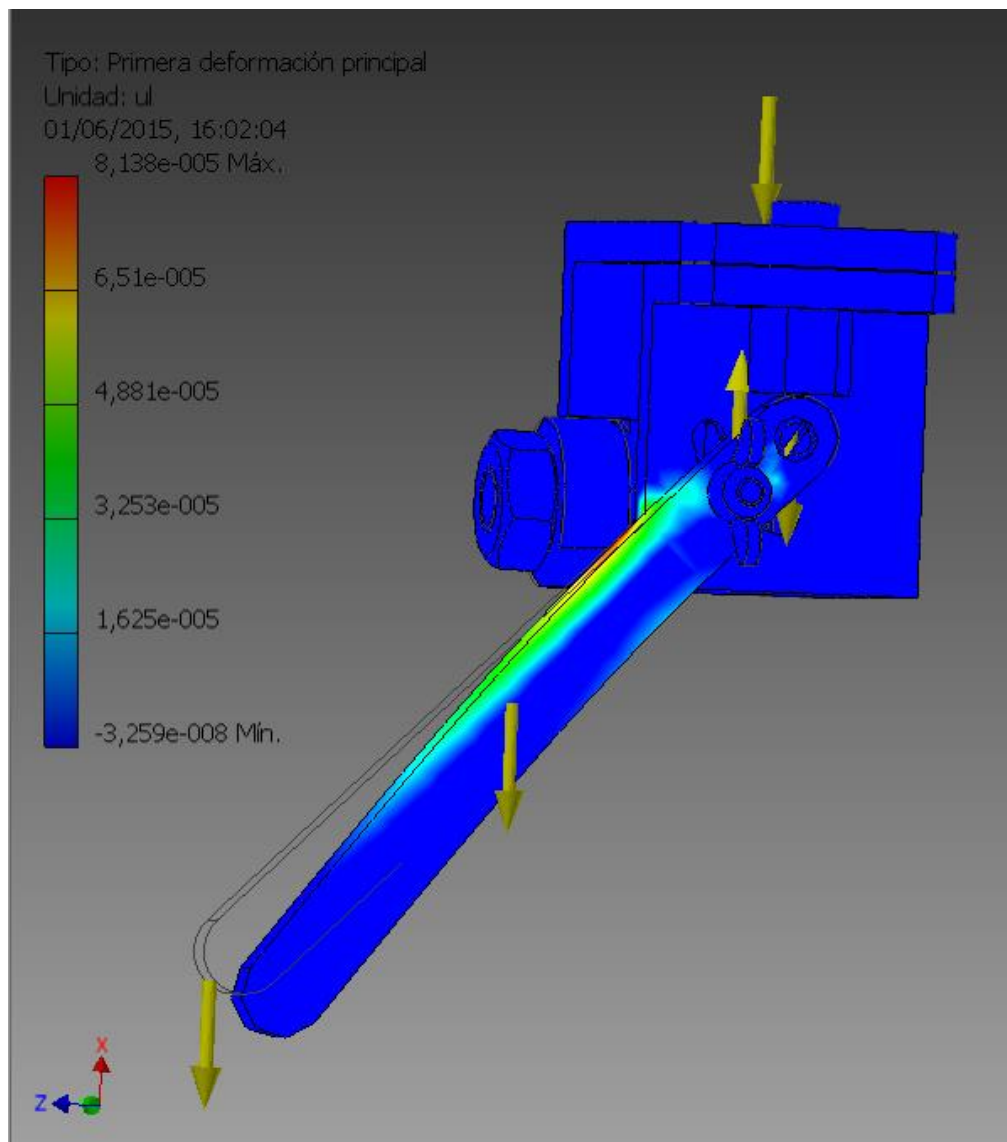


Fig.72- Resultado de las fuerzas. Imagen tomada de (12).

Deformación equivalente:

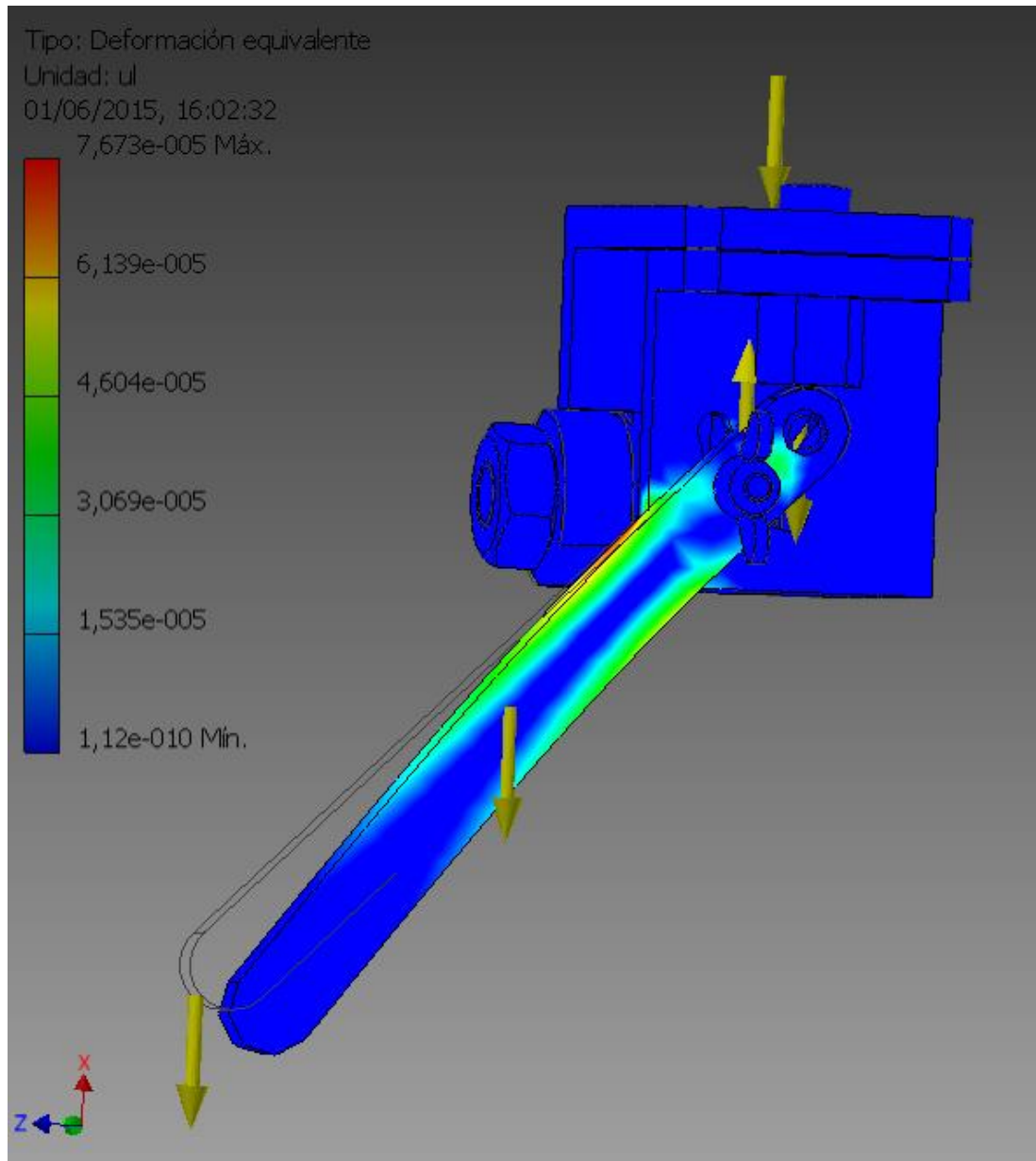


Fig.73- Resultado de las fuerzas. Imagen tomada de (12).

8.2. Interpretación de los resultados energéticos.

En este apartado se va a proceder a comparar el resultado con datos reales, para hacernos una idea del ahorro conseguido, y valorar si podemos emplear la energía recuperada para algo útil.

En primer lugar, se compara el resultado con el gasto medio de electricidad que puede tener una sala de fitness al día. Se ha tomado como ejemplo un gimnasio que consta de una sala de 600 m².

Esta sala consta de:

Dispositivo	Unidades	Potencia en W	Tiempo de uso	kwh por mes	Gasto por mes
Aparato de música	1	80	12 h/día	28,8	17,18
Lámparas fluorescentes	36	9	12 h/día	116,64	59,57
Aire acondicionado	1	150	12 h/día	54	32,2
Alarma	1	10	24 h/día	7,2	4,3
Televisor	1	100	12 h/día	36	21,48
Total				242,64	134,73

Tabla 5- Gasto de un gimnasio medio.

Por lo que podemos decir que el consumo de una sala fitness con respecto al uso de dispositivos eléctricos de la propia sala ronda entre los 240 Kwh por mes que supone un gasto mensual aproximado de 135 €. Como hemos calculado antes a partir de la implantación del sistema conseguimos recuperar aproximadamente 3142662 Julios al mes que es lo mismo que 0,82 kWh al mes, por lo que el porcentaje recuperado es de 0,0034%.

Como se puede observar el porcentaje recuperado por el dispositivo en términos de kWh es bajo con respecto al consumo eléctrico de toda una sala de fitness, por lo que se puede plantear otros fines para la utilización de esta energía recuperada.

Una de las posibilidades es utilizar esta energía para un dispositivo portátil como puede ser un teléfono móvil o un reproductor mp4. Teniendo en cuenta que prácticamente todo el mundo entrena con uno de estos dispositivos para escuchar música a la vez que se hace ejercicio puede ser de gran utilidad instalar un cargador que funcione utilizando la energía recuperada.

Como ejemplo tomaremos los datos de un teléfono móvil Sony Xperia Neo V. Tiene una batería de 1300 mAh, o lo que es lo mismo, 17.316 Julios de capacidad y según el fabricante puede aguantar en modo "espera" 300 horas (23). Por lo cual tenemos un gasto energético de 57,72 Julios cada hora. Como hemos hallado anteriormente mediante el sistema de recuperación se puede llegar a generar 56118,95 Julios en 12 h que es lo mismo que 4676,57 Julios en una hora, por lo que es capaz de recargar el teléfono móvil.

Como a la hora del entrenamiento se supone que el móvil está en funcionamiento con el reproductor encendido, en este modo tenemos un consumo de 500 J/h, en vez de 57,72 J/h de consumo en stand by. En el caso en el que tan solo tuviéramos un cargador en la máquina teniendo en cuenta que tiene una batería de 17.316 Julios de capacidad y la cantidad de julios que se recupera es de 4676,57 en una hora:

$$17316 \text{ J} / (4676 \text{ J/h} - 500 \text{ J/h}) = 4,41 \text{ h}$$

Es decir, obtendríamos una carga completa en 4 h y 41 min. Este dato es tan solo orientativo, ya que para que ocurriera eso tendría que estar trabajando el usuario continuamente durante ese tiempo.

Como se ha considerado que cada usuario trabaja 2 minutos por serie en la máquina se procederá hacer el cálculo con ese dato:

$$2 \text{ min} = 0,03 \text{ h}$$

$$0,033 \text{ h} * (4676 \text{ J/h} - 500 \text{ J/h}) = 139,2 \text{ J}$$

$$(139,2 \text{ J} / 173,8 \text{ J}) * 100 = 0,8 \%$$

De este dato se saca la conclusión de que se consigue el propósito planteado. Con la utilización de este cargado no solo se consigue que no se agote la batería mientras escuchas música entrenando sino que a la vez se carga un cierto porcentaje. Hay que tener en cuenta que el 0,8% sería solo utilizando un cargado, pero como se ha pensado instalar uno por estación, el porcentaje final que se obtendrá será de 0,2%.

Como se puede observar nos permite hasta cargar varios dispositivos a la vez por lo se dispondrán 4 cargadores, uno por estación, así de esta manera en el caso de que coincidan 4 usuarios a la vez en la máquina podrán cargar a la vez sus dispositivos móviles.

Realmente, una carga completa no será factible, pero el objetivo de esta idea es que el usuario no se quede sin batería mientras hace el ejercicio, y aunque no se llegue a cargar el 100% podrá hacer uso de su dispositivo móvil mientras dure el entrenamiento y haga las repeticiones en la máquina.

- 1.1. Por otra parte y relacionado con este caso, se ha pensado en introducir una batería por el siguiente motivo. Colocando una batería en nuestro sistema de recuperación de energía, además del conector para el móvil, se consigue una carga más estable y además se evitaría la pérdida de la energía producida en el caso de que se esté generando energía cuando no hay ningún teléfono móvil conectado. La batería que se ha elegido para este proyecto es la Batería Externa Portatil RAVPower® Deluxe 15000mAh (17). Dada sus características y propiedades es un ejemplo de batería idónea para este proyecto.

8.3. Cumplimiento de las especificaciones.

Como se definió al principio del proyecto, el objetivo es proponer una solución a la recuperación de parte de energía que se pierde en las máquinas de fitness por medio de diversos dispositivos. Finalmente se ha decantado por la utilización de dos de los diversos dispositivos que se planteaban al comienzo.

Por lo que una vez decidido el dispositivo a utilizar, debemos de analizar el grado de cumplimiento que se alcanza basándonos en el pliego de condiciones que se exponía en el punto dos de nuestro proyecto.

En primer lugar, había que tener en cuenta la resistencia de los materiales a utilizar para que esto influenciara la mínimo a la hora de realizar el esfuerzo, aunque tampoco es un inconveniente importante ya que el objetivo del ejercicio es realizar la máxima fuerza posible, pero a pesar de esto se puso como objetivo que se influenciara en el esfuerzo lo mínimo posible. Podemos decir que la resistencia que se aplica es mínima. En primer lugar los materiales piezoeléctricos no someten ningún rozamiento ni esfuerzo por lo que su resistencia al movimiento de las pesas es nula. En segundo lugar la dinamos están en contacto con la poleas, estas utilizan su movimiento y existe un rozamiento entre ellas pero es insignificante con respecto a la oposición de ejercen las pesas.

La segunda especificación que se planteaba era la de conseguir ser respetuoso con el medio ambiente. Esto se consigue en dos sentidos. Una al utilizar materiales reciclados y dos ayudando a disminuir la huella de carbono, que es en lo que se basa este proyecto y el cual es su objetivo principal.

Por otro lado se debía de pensar cuál era el sistema de aplicación, si integración específica, universal o diseño completo de la maquina. Como se expuso en puntos anteriores se ha decidido integrarlo en la maquina llamada "4 estaciones", por lo que es integración específica, pero nos fijamos que su sistema mecánico es similar a la mayoría de las maquina por lo que tiene también un aspecto universal.

También se exponía en el pliego de condiciones que el sistema a diseñar debía de resistir esfuerzos que en ocasiones serán pequeños y en ocasiones grandes, dependiendo de la fuerza y el peso que esté moviendo la persona. Por lo que respecto a este tema, la dinamo no está sometida a ningún esfuerzo, solamente a la fuerza centrífuga de la polea, la cual es soportado por el acople diseñado. Mientras que los chips piezoeléctricos están sometidos a compresión los cuales soportan correctamente estos esfuerzos ya que a partir de ellos son con los que se genera la electricidad.

En quinto lugar se exponía que dé debía de tener en cuenta el tamaño. Seguido se exponía que en el caso de que el sistema este dirigido a una máquina ya existente el sistema estará condicionado a la forma y espacios que tenga dicha maquina. Esto se consigue debido a que la instalación de los dispositivos así como sus conexiones y diseño de elementos, tamaño y ubicación se ha relajado todo con respecto a la forma, medidas y características de la maquina.

En sexto lugar y última condición que se exponía era conseguir un esquema eléctrico sencillo y un número de componentes electricos reducido. Cuantos menos componentes tengas, menos serán las perdidas eléctricas. Del mismo modo buscaremos el diseño más apropiado para reducir las máximas perdidas posibles.

De las cuatro estaciones en total salen unos 9m de cable de 0,5mm² que conectan las dinamos a la batería. Calculamos la potencia perdida en el conductor (P_{Cu}).

$$P_{Cu} = \rho \cdot L/s \cdot I^2$$

Dónde:

ρ : resistividad del material (0,017 _ mm² / m)

L: longitud conductor

s: sección del conductor (en mm²)

I: intensidad que transcurre por el conductor

$$P_{Cu} = 0,017 \cdot 9/0,5 \cdot (0,107)^2 = 0,0035 \text{ w}$$

De la misma manera se hace el cálculo para los materiales piezoeléctricos. Como se ha expuesto anteriormente por cada estación se instalan 13 cables retractables por lo que se calcula una longitud de cable en total aproximadamente de 15 m.

$$P_{Cu} = 0,017 \cdot 15/0,5 \cdot (0,0019)^2 = 0,0000018 \text{ w}$$

$$\text{Total } P_{Cu} \text{ piezoeléctricos de las cuatro estacione} = 0,0000073\text{w}$$

$$\text{Pérdida total en cableado} = 0,0035073 \text{ w} = 0,0035073 \text{ J/s}$$

Anteriormente se ha calculado que la cantidad de energía recuperada a lo largo del día (12h) era de 112237,90 J.

La suma de las dinamos y de los materiales piezoeléctricos es de 0,0035073 J en un segundo por lo que esa pérdida representa aproximadamente el 0,0000031248% de la energía generada.

En los puentes rectificadores también se producen pérdidas, aunque aquí el valor más acusado es la caída de tensión. En cada diodo se pierden 0,7 voltios. Como la electricidad transcurre por dos diodos siempre, la caída de tensión será de 1,4 voltios.

En los condensadores también podemos encontrar pérdidas, como corrientes de fuga. Sin embargo, en condensadores pequeños y trabajando con corriente continua, estos se suelen considerar ideales. Por lo que despreciaremos las pérdidas.

8.4. Repercusión a gran escala.

Existen ciertas instalaciones donde esta tecnología pueda aprovecharse de mejor manera o que puedan beneficiarse más gracias a este sistema. Como hemos comprobado para instalar este sistema en una sola máquina y almacenarlo para utilizarlo en la red eléctrica no es muy viable ya que constituye menos del 1% del consumo medio.

Sin embargo existen mega gimnasios los cuales cuentan que ciento de máquinas y miles de usuarios que pasan por ellas cada día. Un ejemplo de estos gimnasios es el LIFE TIME FITNESS GYM situado en Tulsa (Oklahoma). Su superficie es de 10591 m², dispone de más de 400 máquinas, numerosos aparatos de ejercicios y dos piscinas, pistas de basket y varias salas de actividades.

Si tomamos como ejemplo este gimnasio y se instala el sistema en todas sus máquinas podríamos hacer una aproximación a gran escala. El estudio que se ha realizado anteriormente para una máquina se ha demostrado que a lo largo de dos años se podía llegar a recuperar 37,71 Mega Julios por lo que al mes aproximadamente 1,6 Mega Julios al mes. Esto en una con una sola máquina que cuente con el sistema de recuperación de energía. Considerando que en el LIFE TIME FITNESS GYM de Oklahoma dentro de sus 400 máquinas de musculación la mitad permiten introducir el dispositivo diseñado podremos hacer la aproximación a gran escala.

1,6 Mega Julios por máquina al mes.

200 máquinas

**Energía total recuperada = 1,6 mega julios * 200 máquinas = 320 Mega Julios al mes,
que es lo mismo que 88,88 Kwh.**

Estos datos obtenidos a gran escala si los comparamos con la factura eléctrica del gimnasio de tamaño medio (600m²) que contaba con un gasto de 260 Kwh al mes y suponía 145€ podemos comprobar que supone un 34,2% la energía que se recupera con respecto a la que se consume y con ello se conseguiría un ahorro en torno a 50€ al mes. Habrá que tener en cuenta que el consumo del LIFE TIME FITNESS GYM será mayor al contar con mayor número de metros cuadrados pero nos sirve para hacer una aproximación y una idea a gran escala.

9. CONCLUSIONES

Tras la realización de este proyecto que ha servido como Trabajo fin de Grado puedo concluir en lo siguiente.

- Se ha podido valorar el posible ahorro a largo plazo y en grandes instalaciones. Sin embargo, para una sola máquina en un gimnasio medio, este ahorro o mejora de la eficiencia no se muestra tan llamativo. Es decir, el bolsillo del propietario de un pequeño gimnasio no notará el ahorro.

A pesar de ello, es un avance más en este campo. Debemos darnos cuenta de que se está al principio de una nueva era y que este tipo de generación eléctrica será cada vez más frecuente y efectiva, de hecho ya lo es con respecto a años anteriores donde se empezó a investigar. Ya existen otras investigaciones que van por el mismo camino, incluso algunos de ellos ya están poniéndose en práctica. Es el caso de Eco-Power. Eco-Power ofrece una gama de máquinas de cardio las cuales generan electricidad. El revolucionario sistema consiste en una gama de productos de cardio en los que una vez que los usuarios comienzan a hacer ejercicio sobre estas máquinas, se genera energía que retroalimenta el sistema para compensar otros consumos de la instalación. Es decir, comparten la misma filosofía que el proyecto realizado. (24)



Fig.74- Bicicleta estática innovación. Imagen tomada de (25) .

- Debemos asumir que no existe un remedio milagroso que consiga un gran ahorro energético, pero existen multitud de pequeños avances, que en conjunto, podían ayudar a conseguir máquinas muchos más eficientes.

Para ellos, debemos seguir investigando y desarrollando nuevos productos. Es necesario llegar a un punto en el que sea viable unir todos estos avances tecnológicos para conseguir una reducción en el consumo energético, así como en la emisión de gases contaminantes.

- Con respecto al estudio realizado y a los datos obtenidos mediante los dos ensayos realizados, uno 100% teórico (materiales piezoeléctricos) y otro 100% experimental (dínamo) se puede concluir que no es viable la utilización de materiales piezoeléctricos en el sistema.

El estudio se ha realizado a lo largo de dos años. En este periodo se ha calculado que se puede llegar a recuperar 271,0344 Julios a partir de los materiales piezoeléctricos más 75423600 Julios a partir de las dinamos. Esto hace un total de 75423871,0344 Julios. Destacar que del precio final el 90% se concentra en materiales piezoeléctricos que además tan solo generan el 0,00035% de la energía total recuperada.

En conclusión podemos decir que para hacer el proyecto más viable económicamente es recomendable prescindir de la tecnología piezoeléctrica para así reducir el coste de inversión en 221,78 € y conseguir un proyecto económicamente más viable.

- A nivel personal y formativo, ha sido un trabajo enriquecedor en todos los sentidos.

En primer lugar ha sido un placer combinar dos disciplinas que me apasionan como son el mundo del diseño y desarrollo de productos e idea y el mundo del fitness. Combinar estos dos campos tan distintos y sin nada en común ha sido un reto que me ha encantado afrontar.

En segundo lugar otra motivación a la hora de realizar este proyecto es su objetivo. La idea de combinar el deporte con la colaboración para reducir las emisiones de CO₂ y la dependencia de la utilización de hidrocarburos es otro de los pros de este trabajo. Ya que nos encontramos en un mundo donde la dependencia de hidrocarburos supera el 70% y la tasa de obesidad está en torno al 25% según la OMS.

En tercer lugar este trabajo ha sido enriquecedor porque he tenido la oportunidad de aplicar en el mismo trabajo varios conocimientos adquiridos de varios campos estudiados largo de la carrera. Así de esta manera se han aplicado conocimientos de electricidad y electrónica, desarrollos matemáticos, proceso de documentación y síntesis, análisis mecánicos, diseño de piezas, utilización de programas CAD, ensayos virtuales e interpretación de datos.

- En conclusión final este proyecto a unido dos disciplinas totalmente distintas, aplicando y desarrollando diversos conocimientos de distintas áreas de la Ingeniería con el objetivo de reducir la huella de carbono y a la vez fomentando el deporte y vida sana.

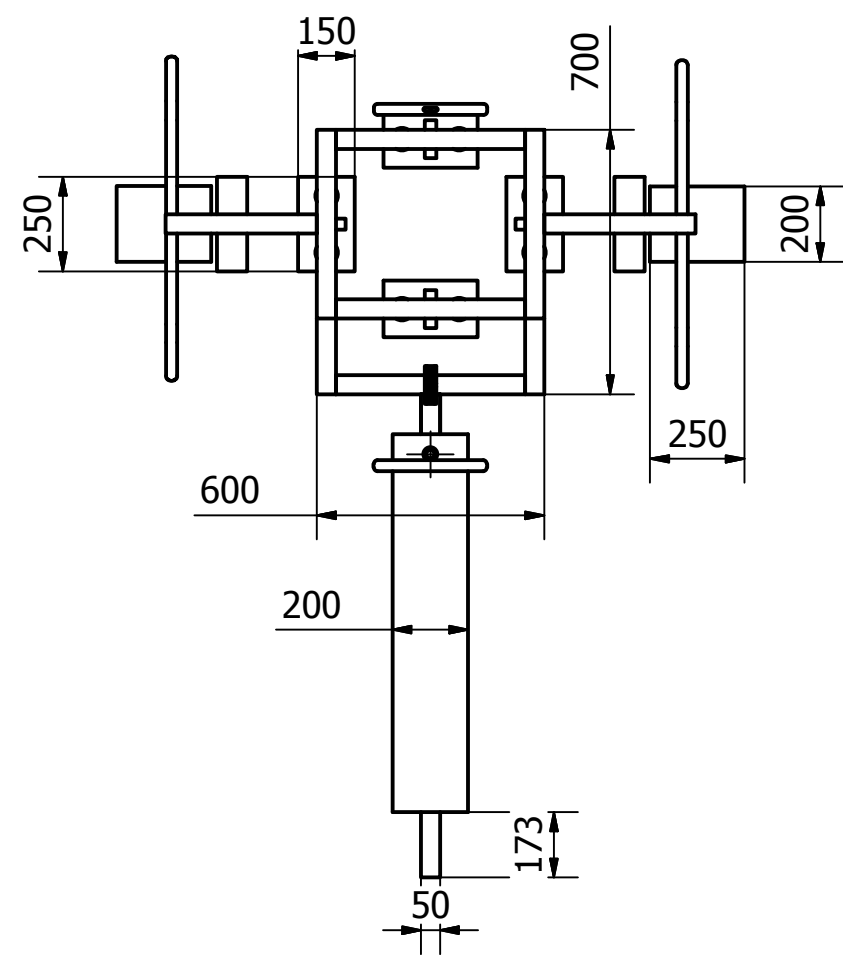
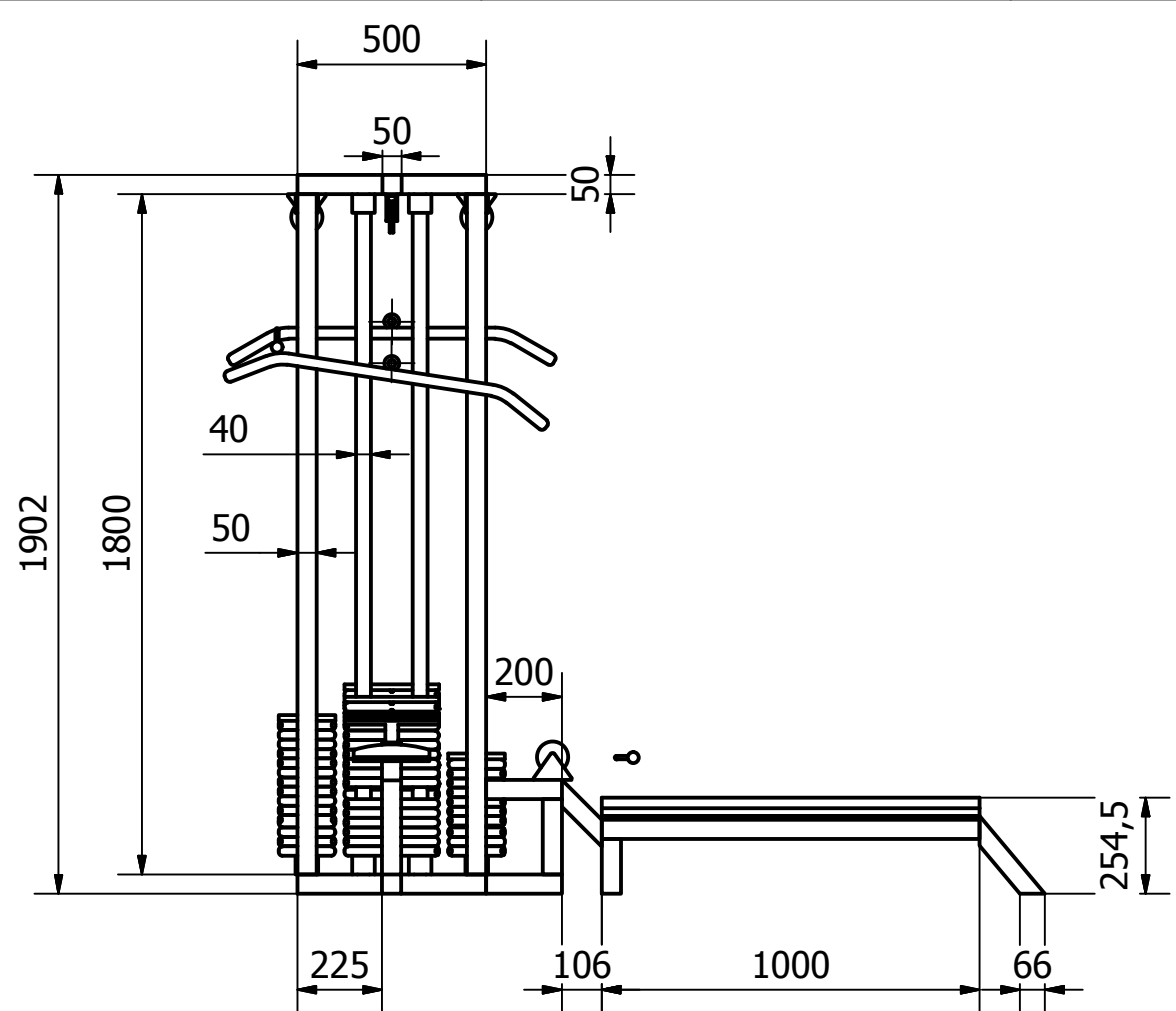
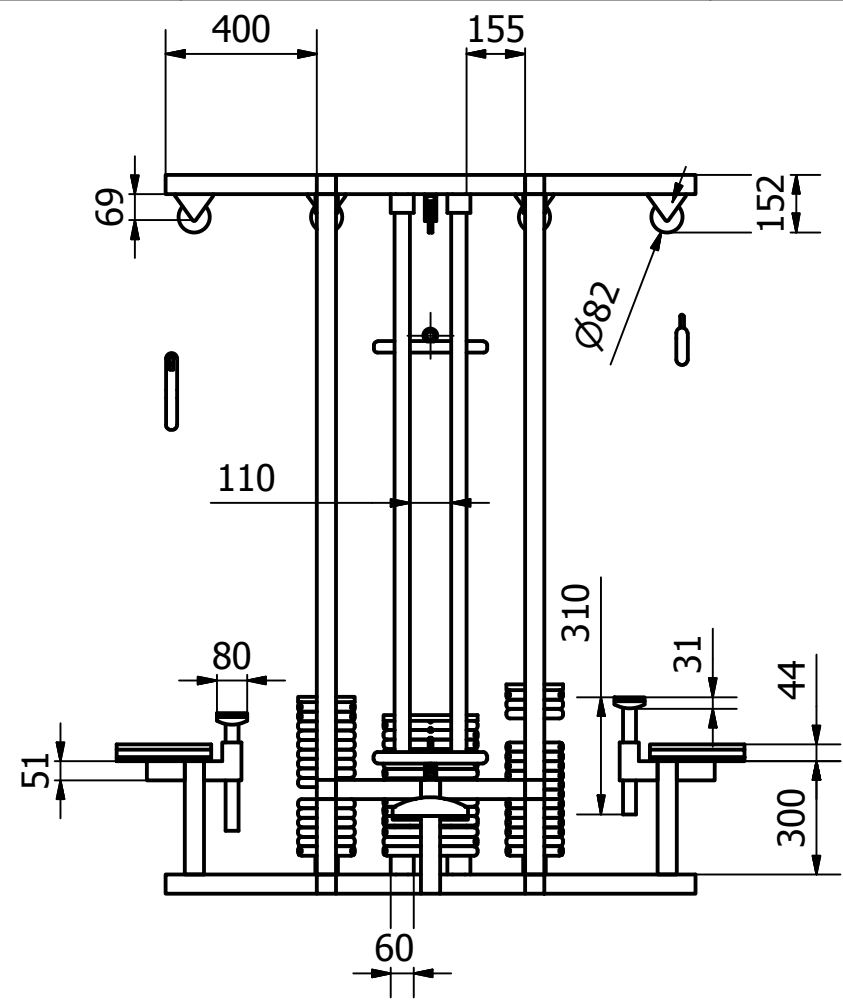
10. BIBLIOGRAFIA.


1. PDCA Home: El portal de la gestión, calidad y mejora continua [Internet]. [cited 2015 Jun 8]. Available from: <http://www.pdcahome.com/>
2. Energía eléctrica a partir de energía mecánica. [Internet]. Available from: <http://www.acmor.org.mx/cuamweb/reportescongreso/2011/Secund/721electronica.pdf>
3. Generador triboeléctrico para producir electricidad aprovechable a partir de fricción — Noticias de la Ciencia y la Tecnología (Amazings® / NCYT®) [Internet]. Noticias de la Ciencia y la Tecnología (Amazings® / NCYT®). [cited 2015 Mar 9]. Available from: <http://noticiasdelaciencia.com/not/4925/generador-triboelectrico-para-producir-electricidad-aprovechable-a-partir-de-friccion/>
4. Equipamiento Normas Europeas — Portal del Consejo Superior de Deportes [Internet]. [cited 2015 Mar 9]. Available from: <http://www.csd.gob.es/csd/instalaciones/politicas-publicas-de-ordenacion/actuaciones-en-el-ambito-tecnico/equipamiento-normas-europeas>
5. Generador eléctrico de carga flexible [Internet]. Fieras de la Ingeniería. [cited 2015 Mar 9]. Available from: <http://www.fierasdelaingenieria.com/generador-electrico-de-carga-flexible/>
6. Fieras de la Ingeniería [Internet]. Fieras de la Ingeniería. [cited 2015 Jun 8]. Available from: <http://www.fierasdelaingenieria.com/>
7. ecogeek.org [Internet]. Available from: <http://ecogeek.org/>
8. La bicicleta sin pilas, dinamos sin rozamiento. Available from: <http://www.terra.org/categorias/comunidad-ecotransporte/la-bicicleta-sin-pilas-dinamos-sin-rozamiento>
9. Efecto triboeléctrico [Internet]. Wikipedia, la enciclopedia libre. 2015 [cited 2015 Mar 9]. Available from: http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Efecto_triboelectrico&oldid=80320321
10. Aula Virtual [Internet]. [cited 2015 Jun 8]. Available from: <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/>

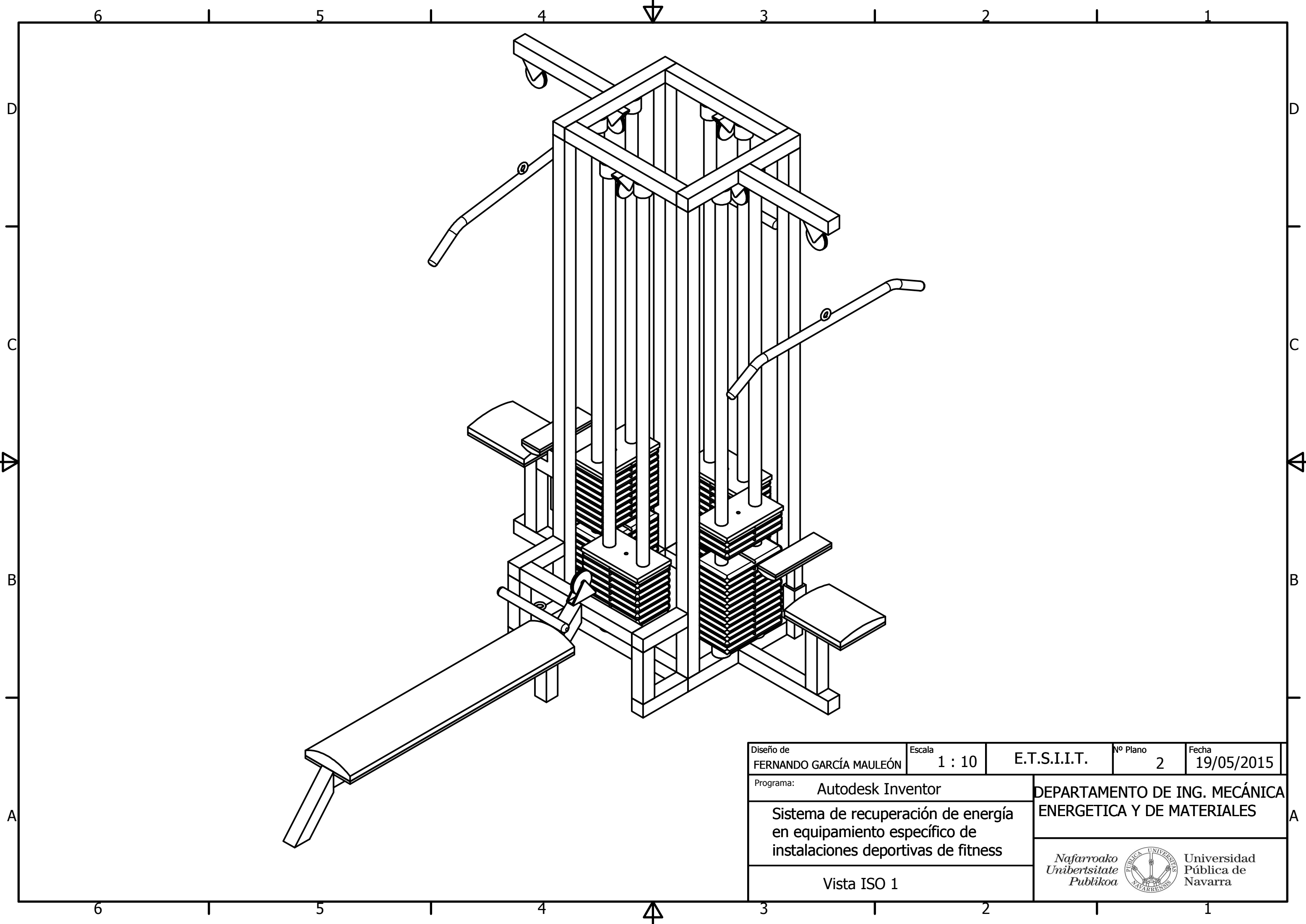
11. Venta de maquinas de gimnasio peru, fabricacion de gimnasios, equipamiento fitness, trotadoras, spinning, elipticas, proyectos de gimnasios, venta, accesorios [Internet]. [cited 2015 Jun 8]. Available from: <http://www.powerfitnesspro.com/>
12. Programa CAD.
13. Fuente generadora de energía a pequeña escala [Internet]. Available from: http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=0CDwQFjAE&url=http%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4991518.pdf&ei=0Q8lVey_Osa2UdaKg_AJ&usg=AFQjCNGmRFLkPDsxoNSlss2qGNVhKoM1eQ&sig2=m6jo6sdTkU XweGCJNqzCg&bvm=bv.88198703,d.d24
14. » Shanu Retractable Stereo Aux 3.5mm Cable [Internet]. [cited 2015 Jun 8]. Available from: <http://shanuindia.com/electronics/audio-cables/shanu-retractable-stereo-aux-3-5mm-cable/>
15. Sörensen Mandos [Internet]. [cited 2015 Jun 8]. Available from: <http://www.masparts.es/shop/artikelueber.php?wgruppeid=233>
16. Guang Zhu , Caofeng Pan , Wenxi Guo , Chih-Yen Chen , Yusheng Zhou , Ruomeng Yu Y Zhong Lin Wang *. La electrodeposición Pulso-Driven Triboeléctrica-generator para Micropatterning. 13 Agosto 2012 [Internet]. Available from: <http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/nl302560k>
17. RAVPower® Deluxe 15000mAh Batería Externa Portátil (3era Generación, con Doble Salida USB de 5V 2,1A / 5V 2,4A, Flashlight Linterna Integrada, Tecnología iSmart) - RP-PB19 Negro.
18. Jose Javier Corral Sanz. SISTEMA PIEZOELÉCTRICO DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.
19. Antônio Henrique Alves Pereira. Ceramicas piezoeléctricas: funcionamiento y propiedades [Internet]. 2010. Available from: <http://www.atcp.com.br/>
20. Axa_Trio_2_x_2_-_Luz_de_dinamo_-_negro_01[1000x700].jpg (Imagen JPEG, 1000 × 700 píxeles) - Escalado (93 %) [Internet]. [cited 2015 Jun 9]. Available from: http://images.internetstores.de/products/4894/04/02fbfd/Axa_Trio_2_x_2_-_Luz_de_dinamo_-_negro_01%5B1000x700%5D.jpg?forceSize=true&forceAspectRatio=true
21. Tensión de Von Mises [Internet]. Wikipedia, la enciclopedia libre. 2014 [cited 2015 May 15]. Available from: http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Tensi%C3%B3n_de_Von_Mises&oldid=72845351
22. Deformación [Internet]. Wikipedia, la enciclopedia libre. 2015 [cited 2015 May 15]. Available from: <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Deformaci%C3%B3n&oldid=82380347>
23. BA700 [Internet]. Sony Xperia (España). [cited 2015 May 20]. Available from: <http://www.sonymobile.com/es/products/accessories/phone-battery-ba700/>


24. Maquinas cardio que generan energia Bicicletas elipticas Green System [Internet]. [cited 2015 Jun 9]. Available from: <http://www.rocfit.com/cardio-generar-energia.html>
25. Power Plate PowerBike [Internet]. [cited 2015 Jun 9]. Available from: <http://www.mundofitness.es/power-plate-powerbike.html>

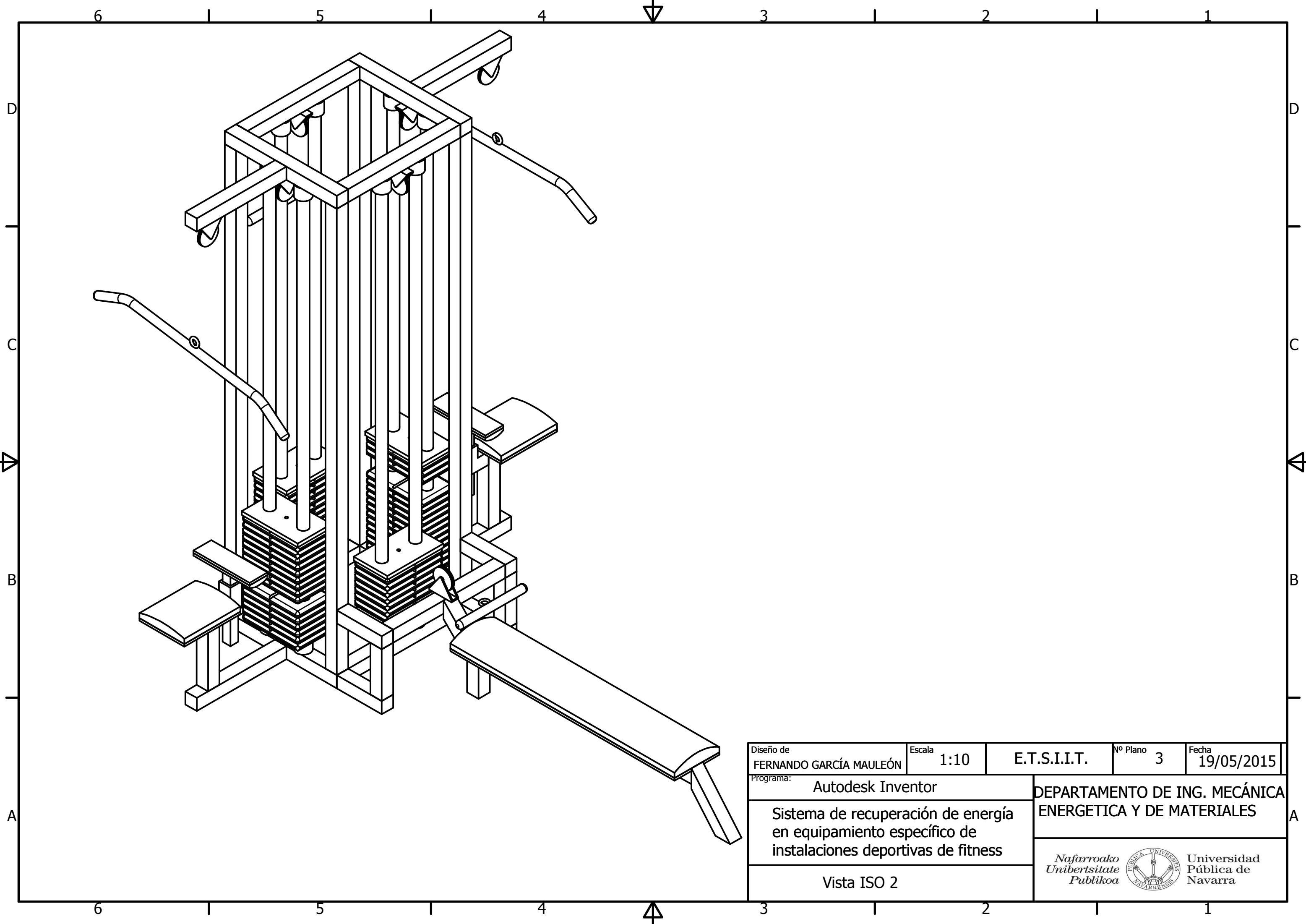
- ANEXOS -




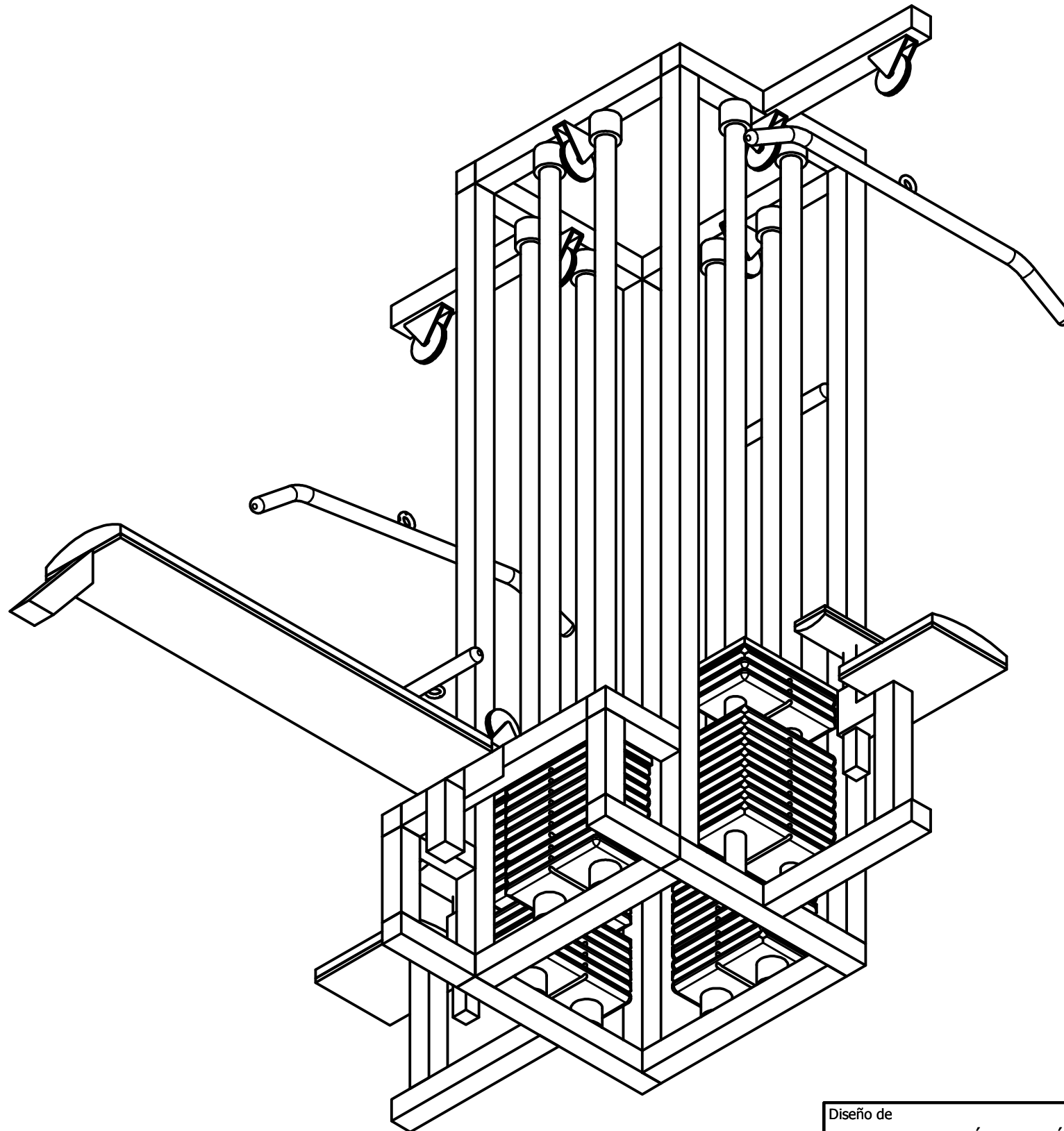
Diseño de FERNANDO GARCÍA MAULEÓN	Escala 0,2:4	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 1	Fecha 19/05/2015
Programa: Autodesk Inventor		DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES		
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness		 Universidad Pública de Navarra		
Máquina 4 estaciones				




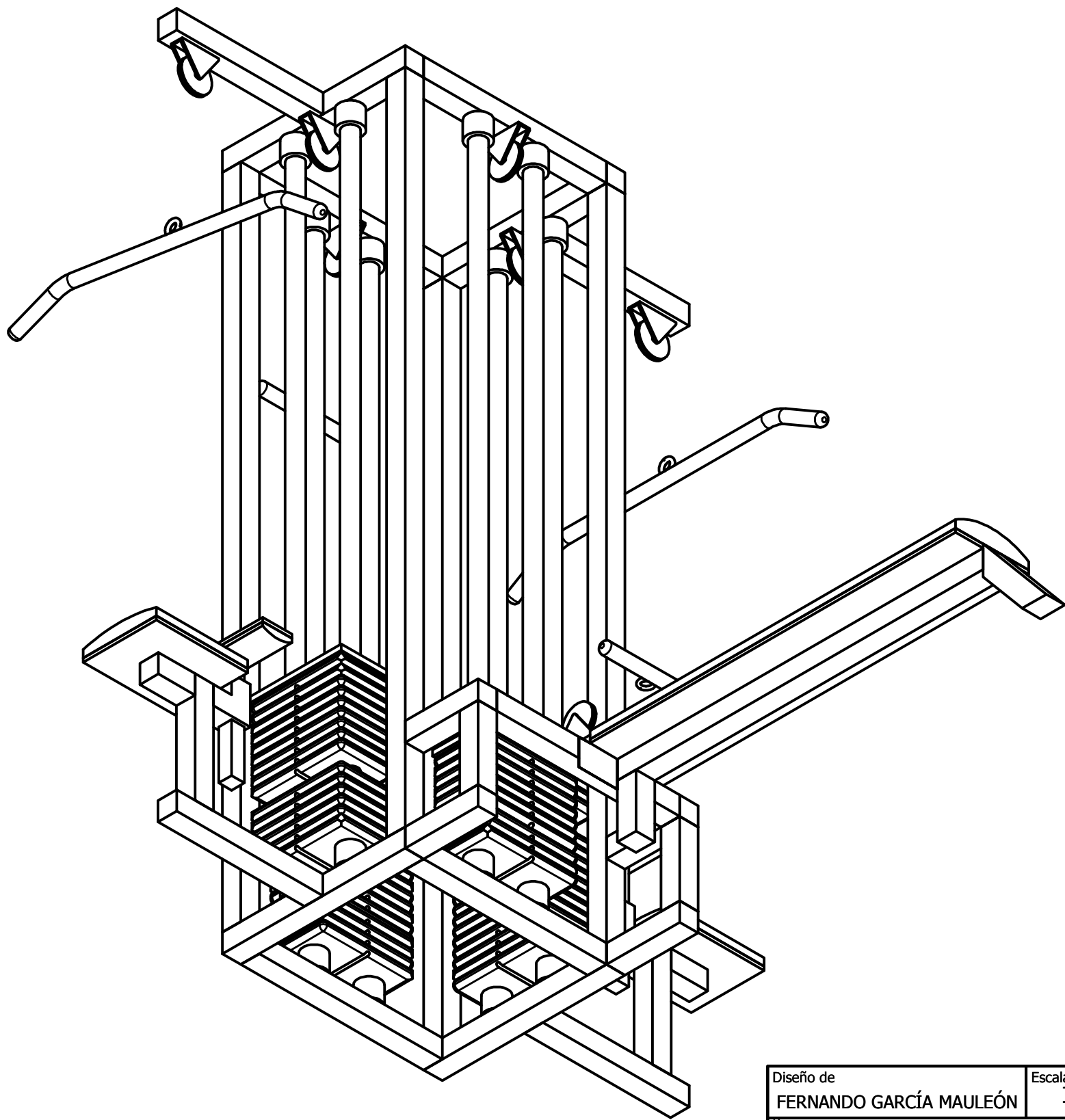
Diseño de FERNANDO GARCÍA MAULEÓN	Escala 1 : 10	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 2	Fecha 19/05/2015
Programa: Autodesk Inventor			DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES	
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness				
Vista ISO 1			<i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>  Universidad Pública de Navarra	




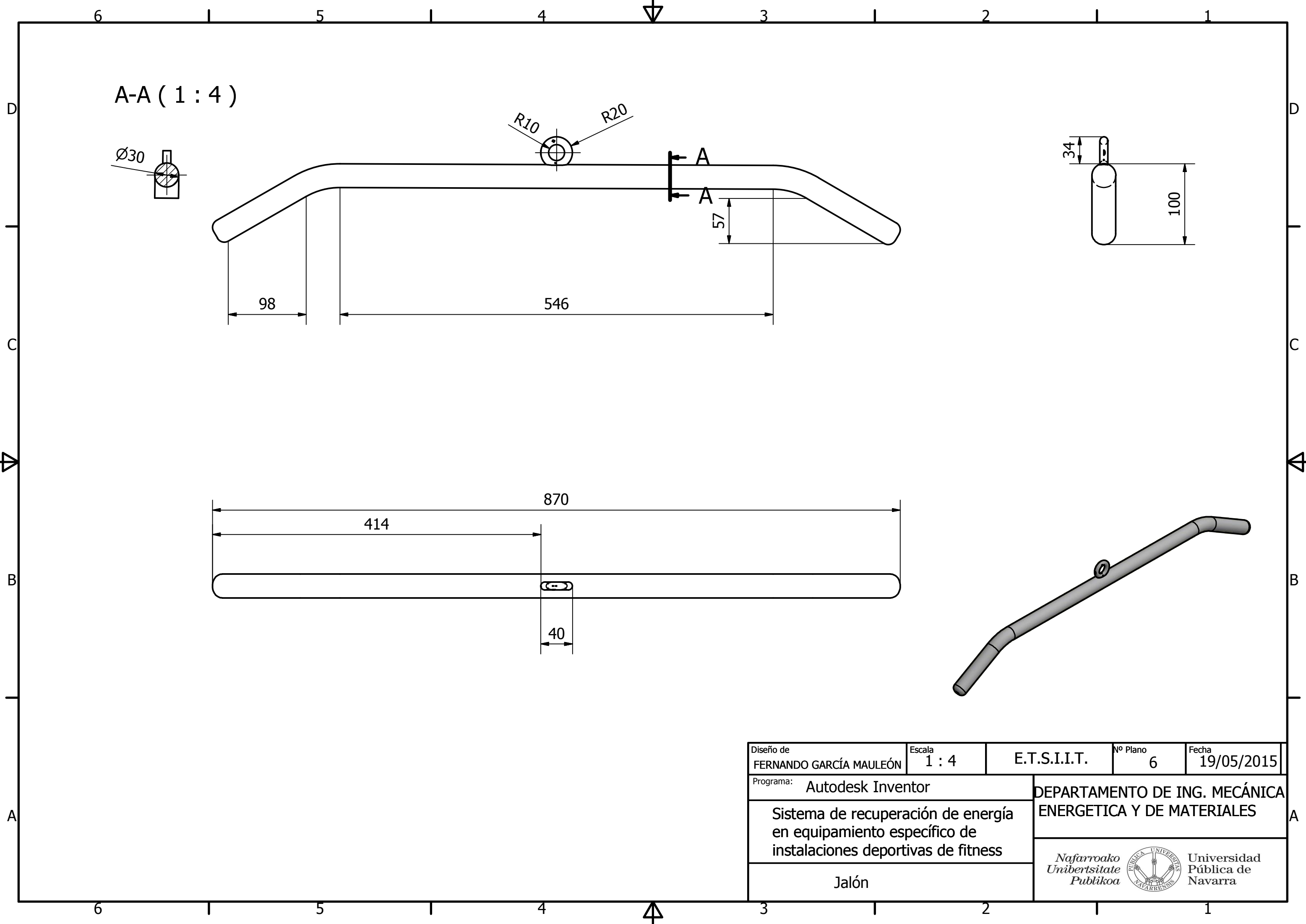
Diseño de FERNANDO GARCÍA MAULEÓN	Escala 1:10	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 3	Fecha 19/05/2015
Programa: Autodesk Inventor			DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES	
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness				
Vista ISO 2			<i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>  Universidad Pública de Navarra	




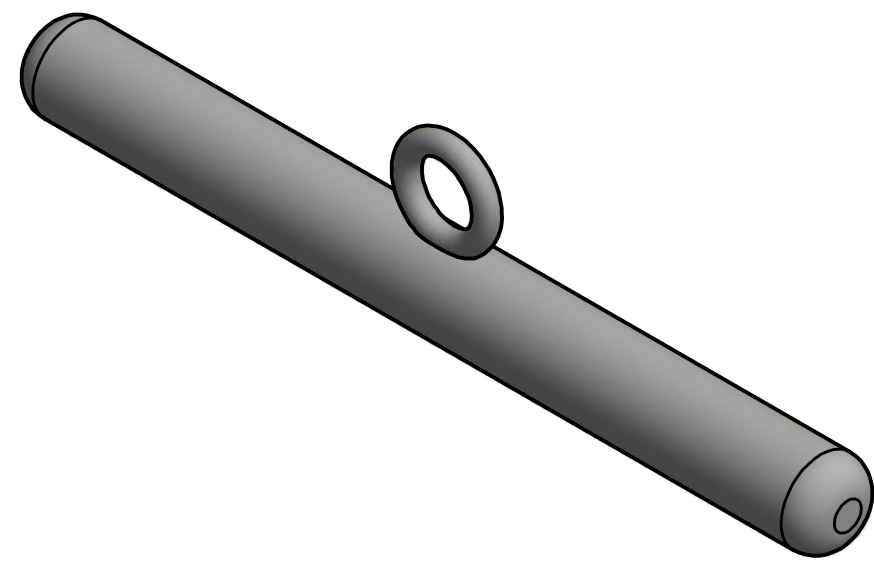
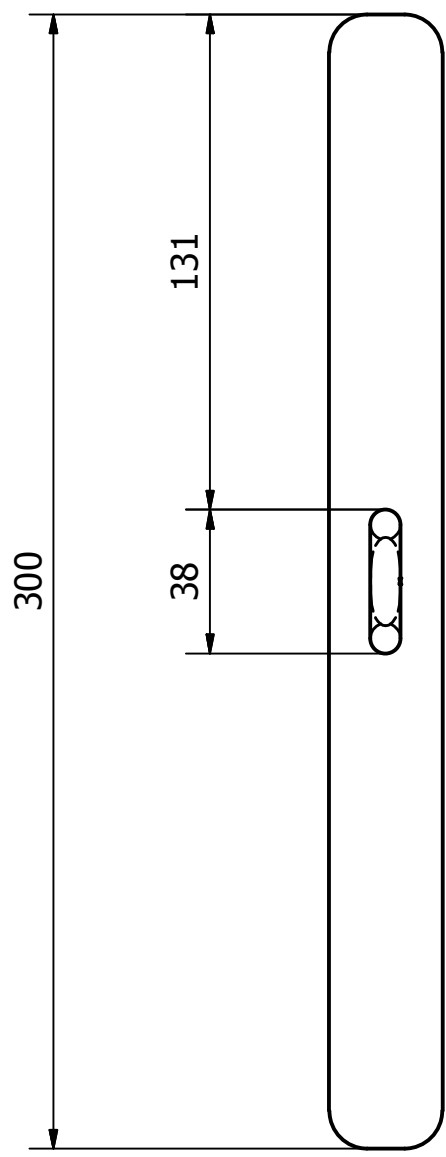
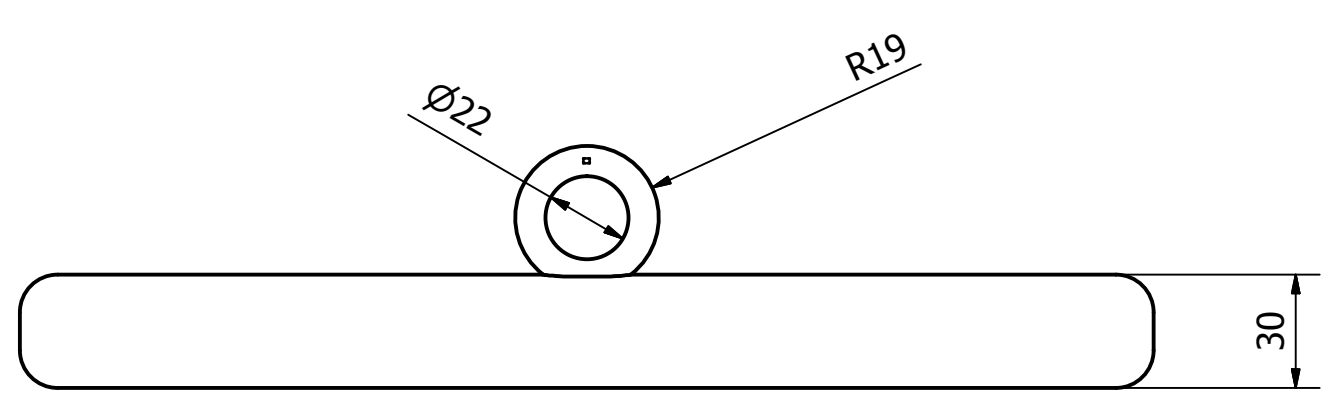
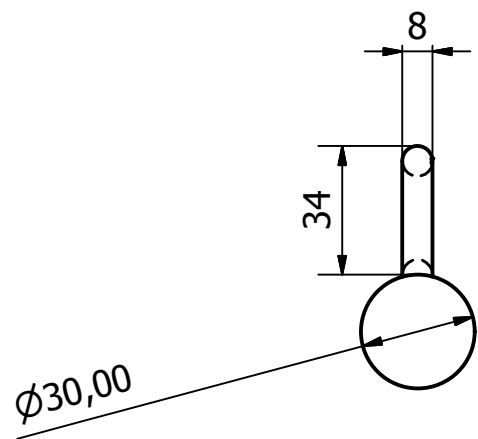
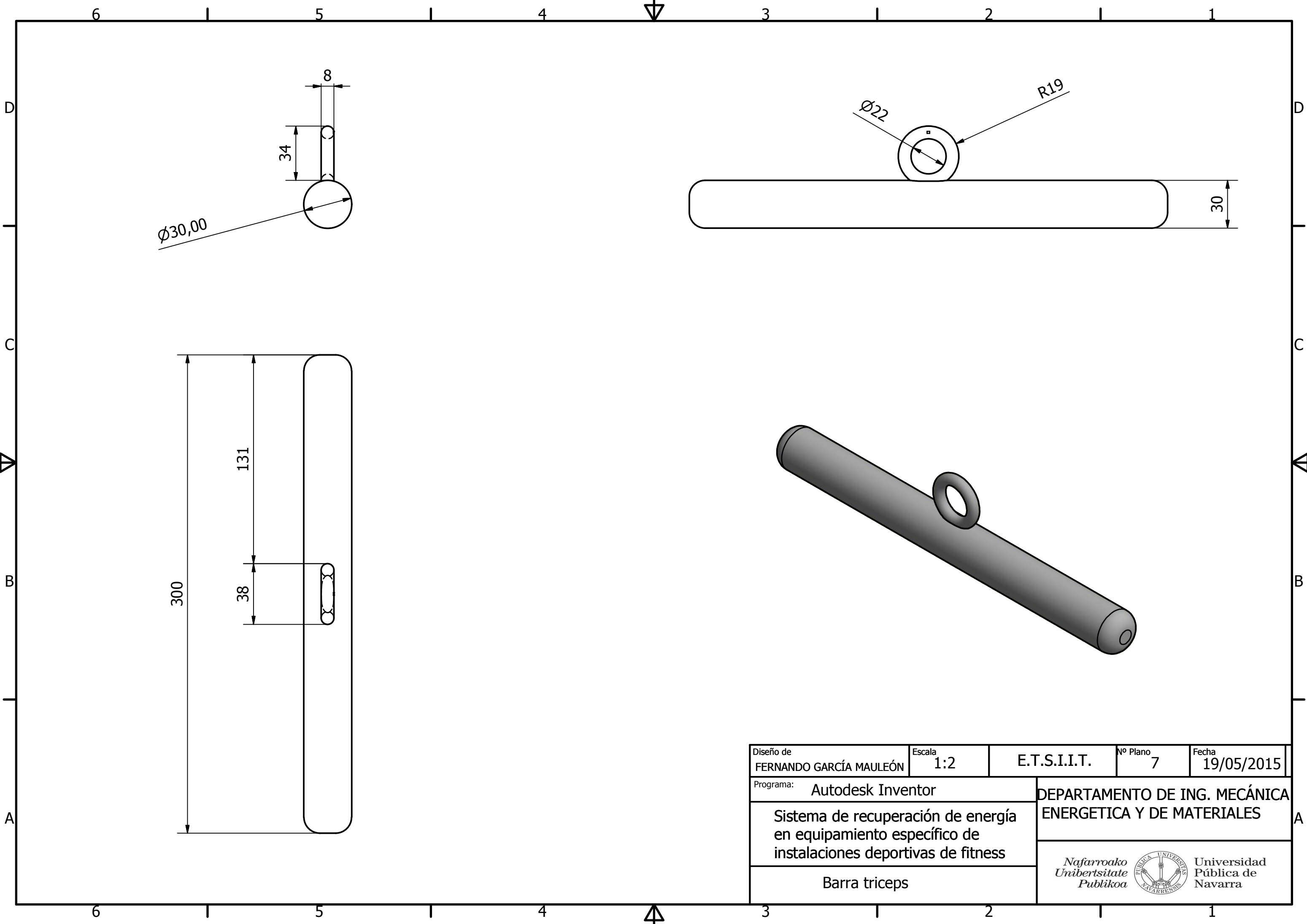
Diseño de FERNANDO GARCÍA MAULEÓN	Escala 1:10	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 4	Fecha 19/05/2015
Programa: Autodesk Inventor			DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES	
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness				
Vista ISO 3			<i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>  Universidad Pública de Navarra	




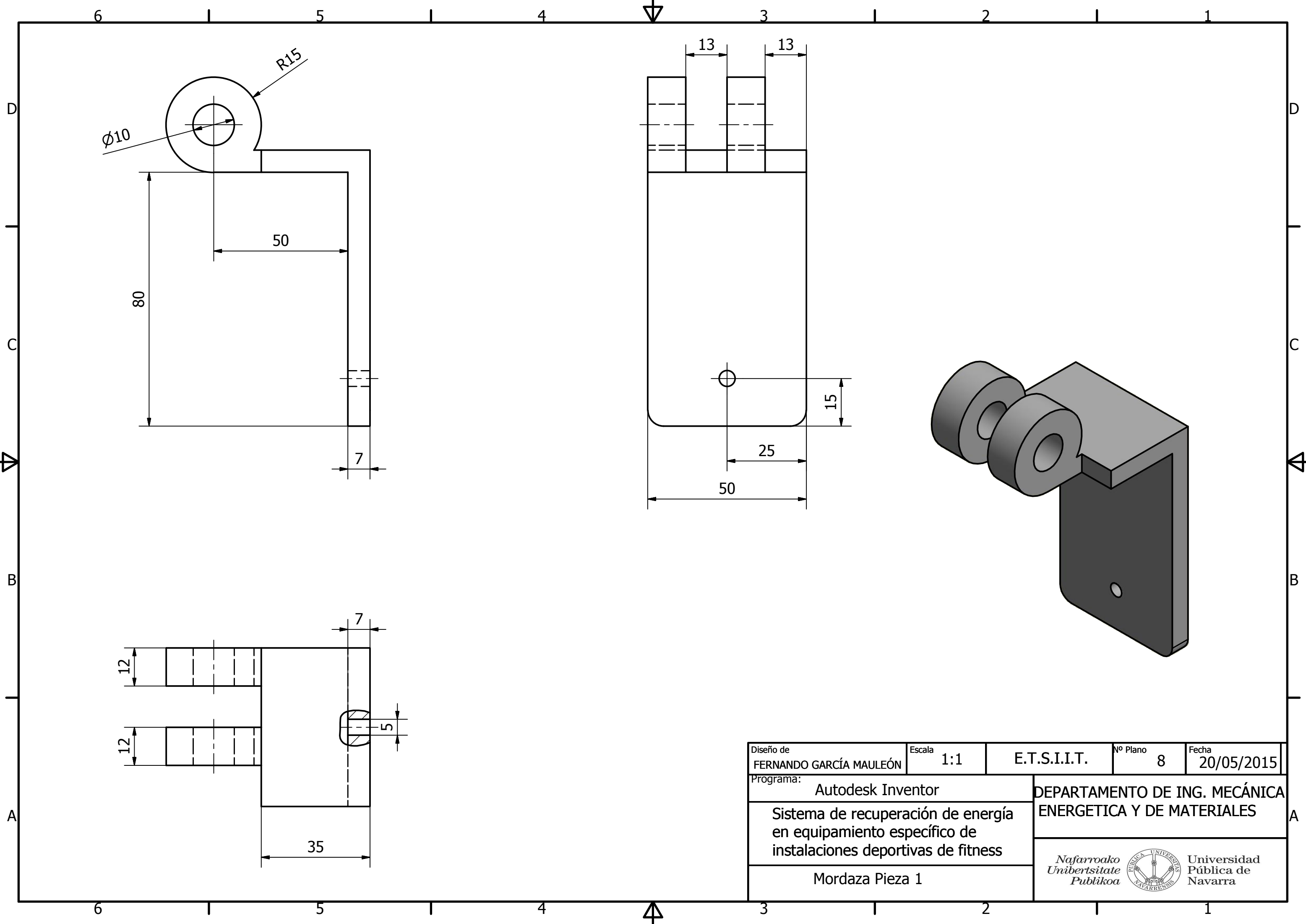
Diseño de FERNANDO GARCÍA MAULEÓN	Escala 1:10	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 5	Fecha 19/05/2015
Programa: Autodesk Inventor		DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES		
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness		 Universidad Pública de Navarra		
Vista ISO 4				




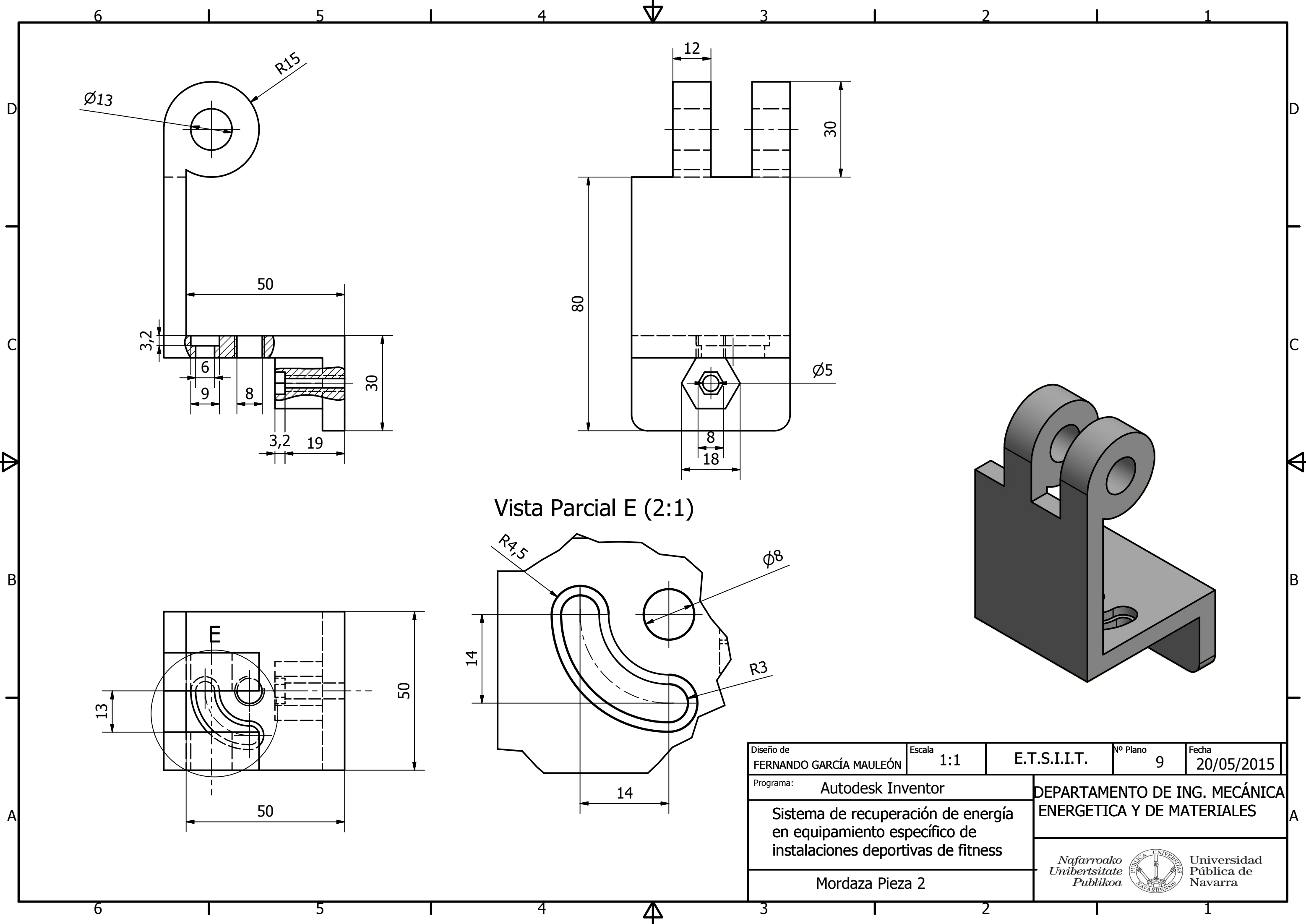
Diseño de FERNANDO GARCÍA MAULEÓN	Escala 1 : 4	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 6	Fecha 19/05/2015
Programa: Autodesk Inventor			DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES	
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness				
Jalón			<i>Nafarroako Unibertsitate Publikoa</i>  Universidad Pública de Navarra	



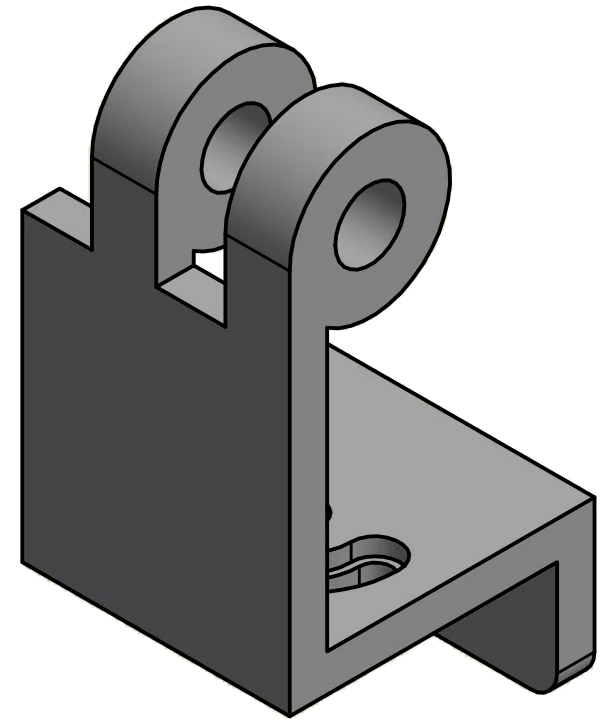
Diseño de FERNANDO GARCÍA MAULEÓN	Escala 1:2	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 7	Fecha 19/05/2015
Programa: Autodesk Inventor			DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES	
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness			 Universidad Pública de Navarra	
Barra triceps				




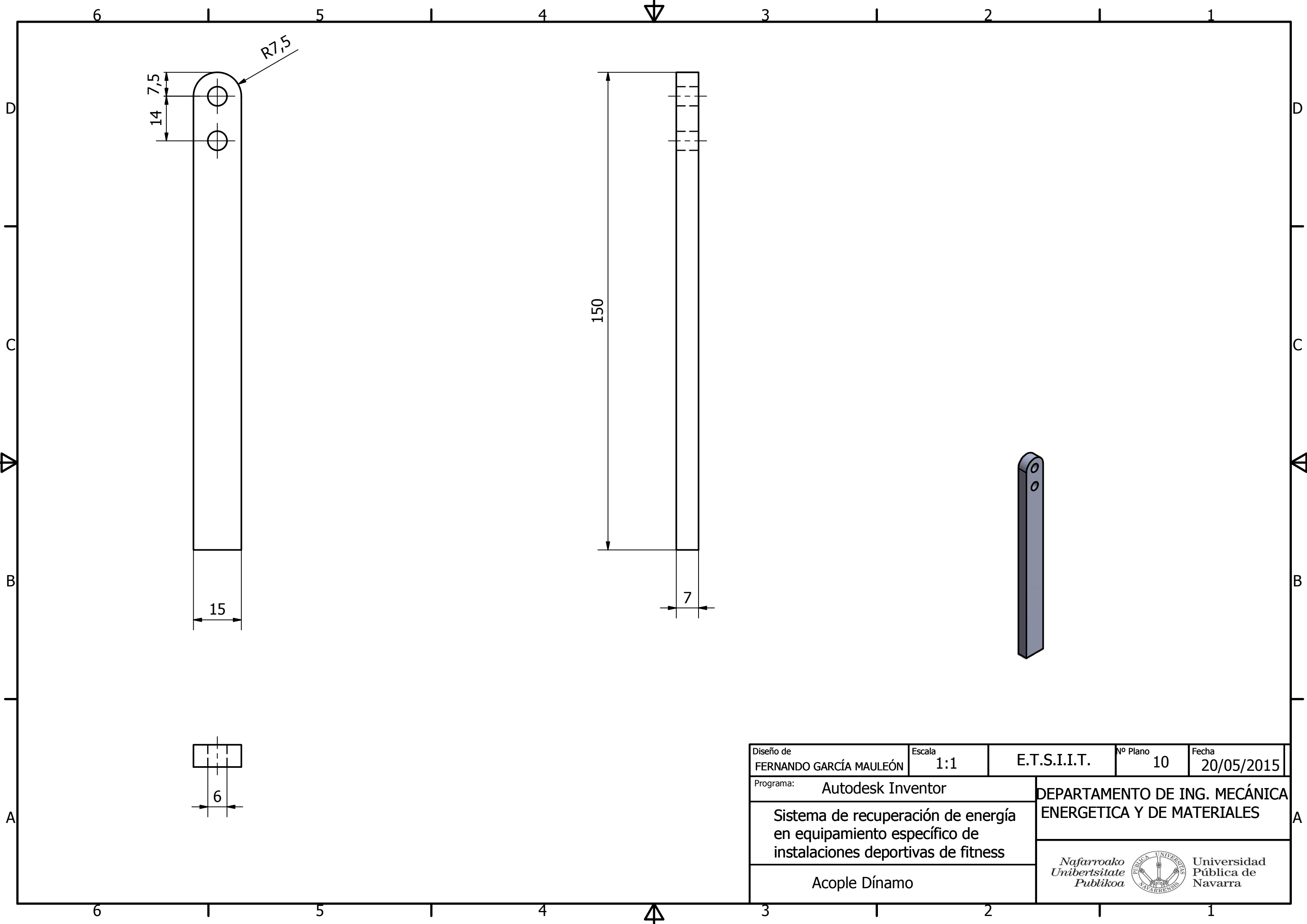
Diseño de FERNANDO GARCÍA MALEÓN	Escala 1:1	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 8	Fecha 20/05/2015
Programa: Autodesk Inventor		DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES		
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness		 Universidad Pública de Navarra		
Mordaza Pieza 1				




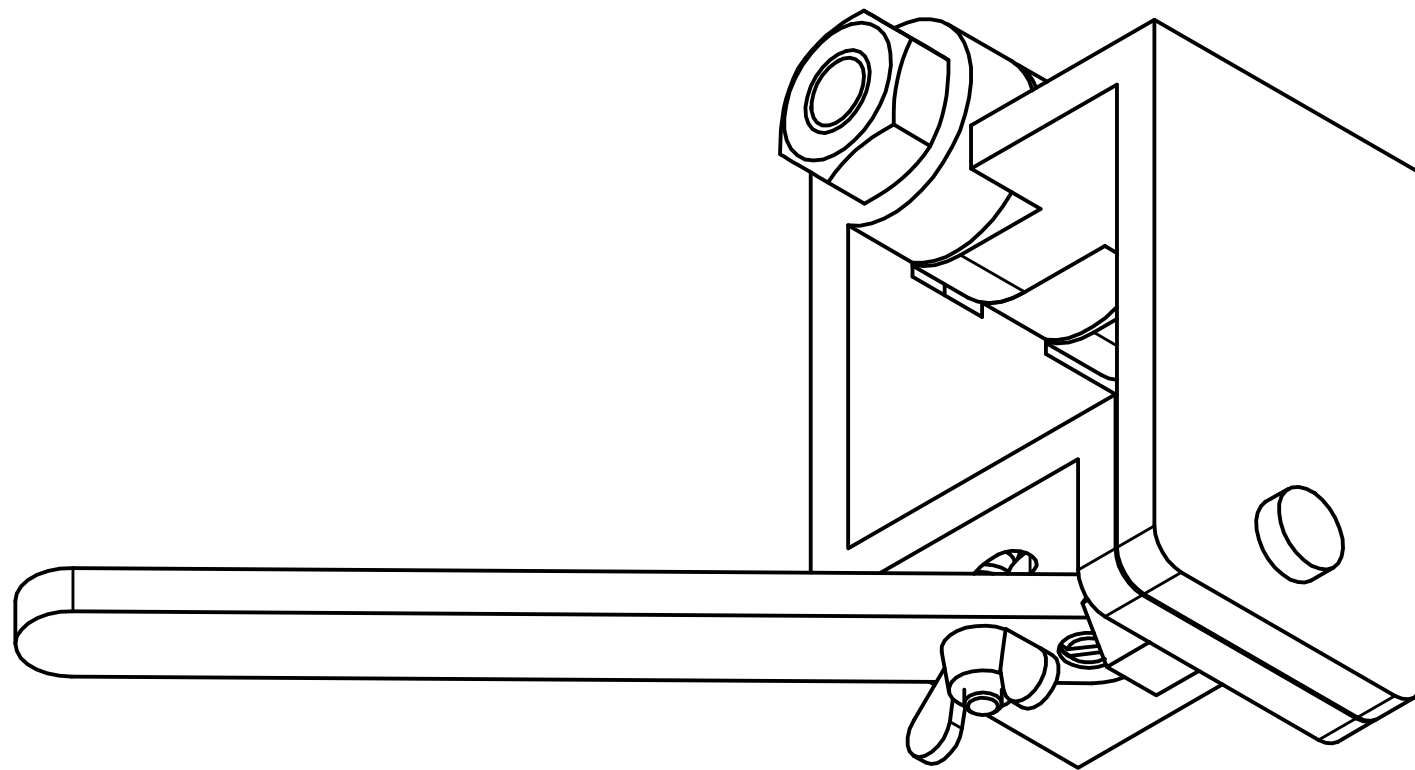
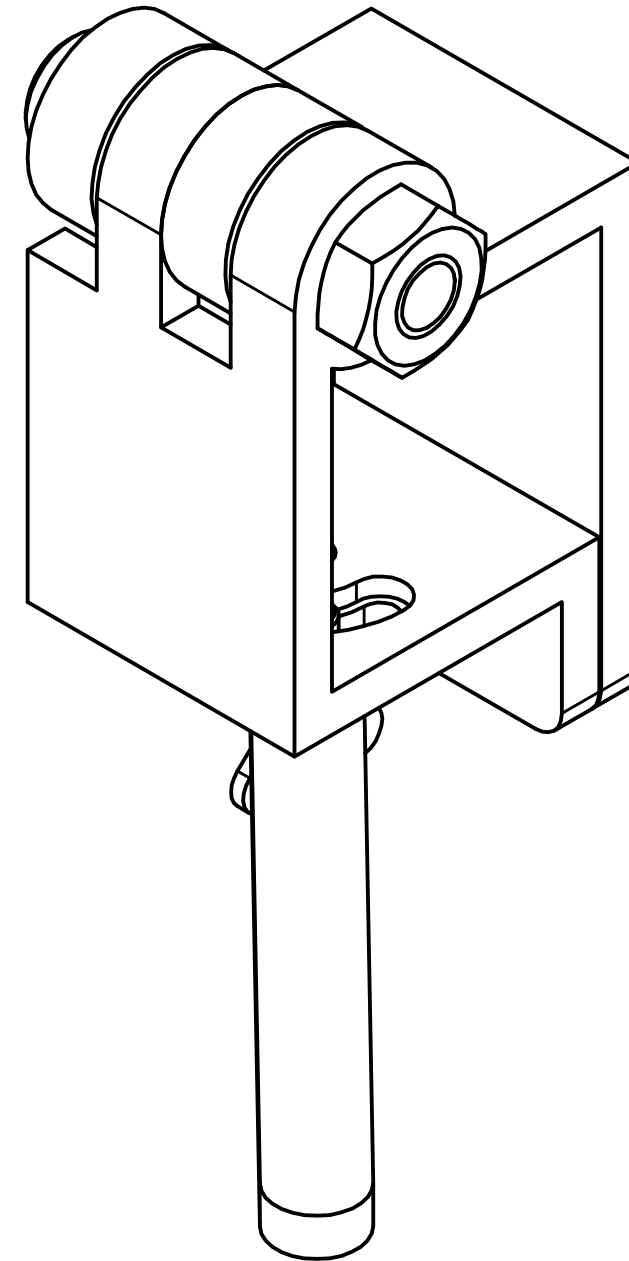
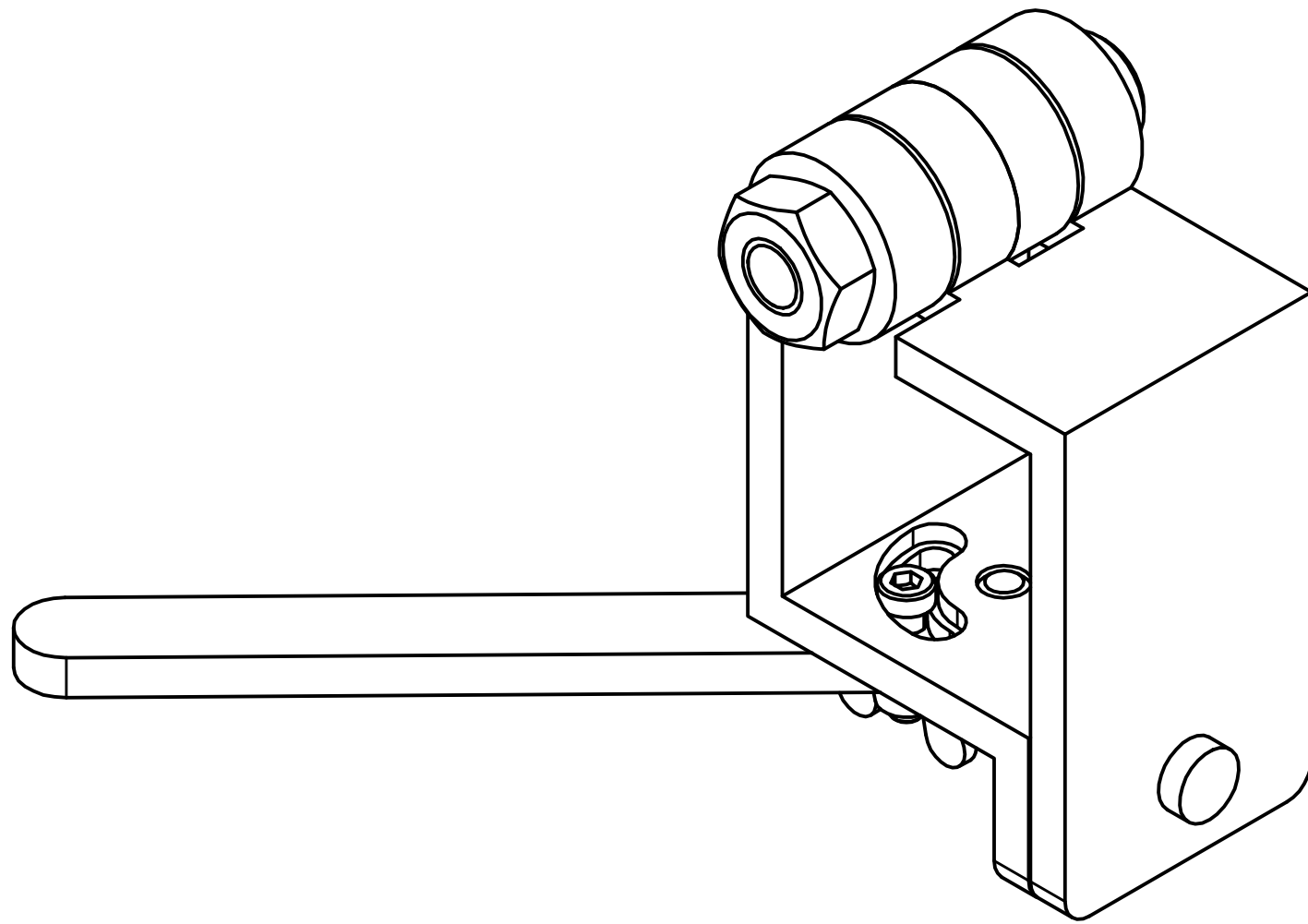
Vista Parcial E (2:1)




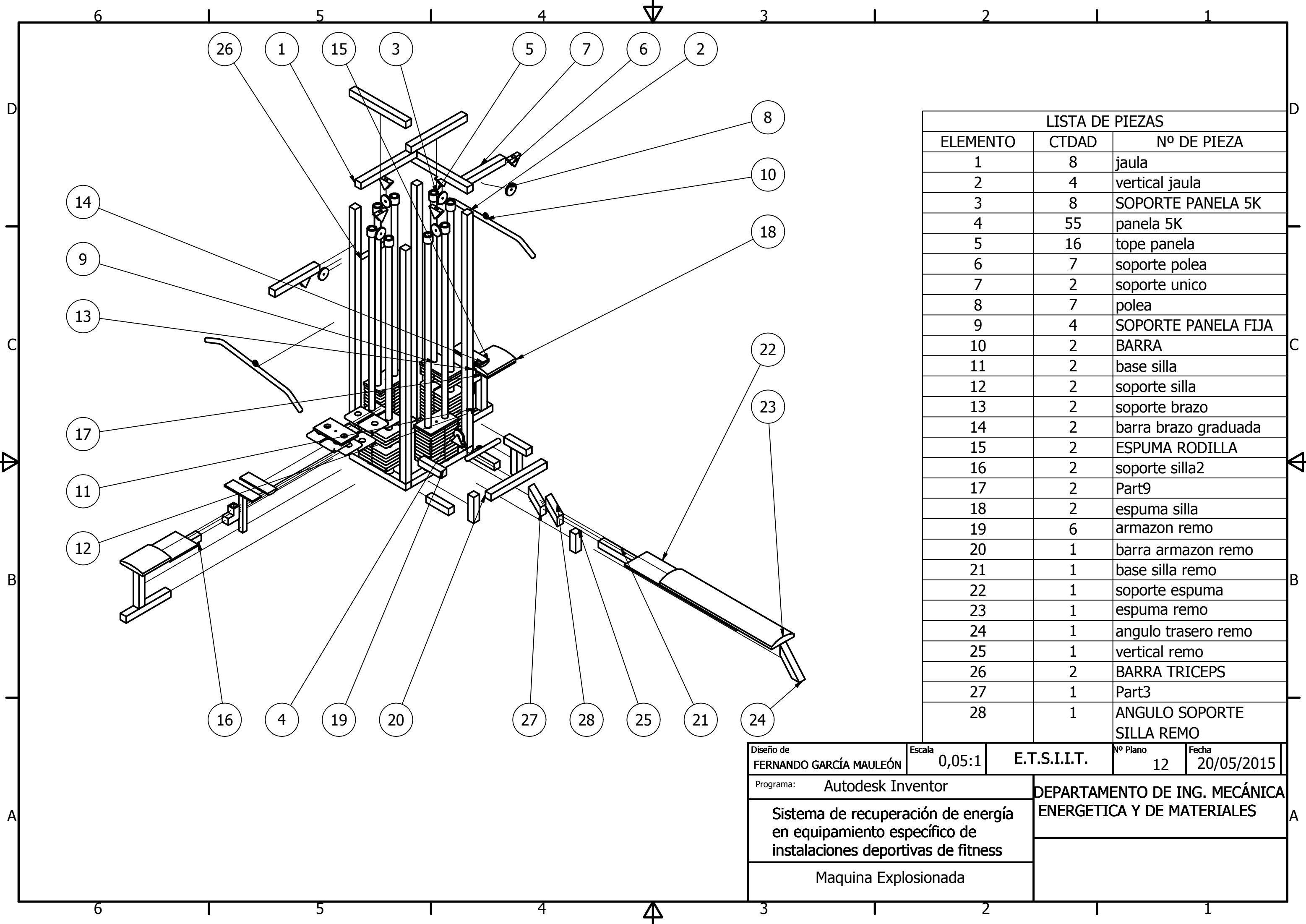
Diseño de FERNANDO GARCÍA MAULEÓN	Escala 1:1	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 9	Fecha 20/05/2015
Programa: Autodesk Inventor			DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES	
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness			 Universidad Pública de Navarra	
Mordaza Pieza 2				



Diseño de FERNANDO GARCÍA MALEÓN	Escala 1:1	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 10	Fecha 20/05/2015
Programa: Autodesk Inventor			DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES	
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness			 Universidad Pública de Navarra	
Acople Dínamo				

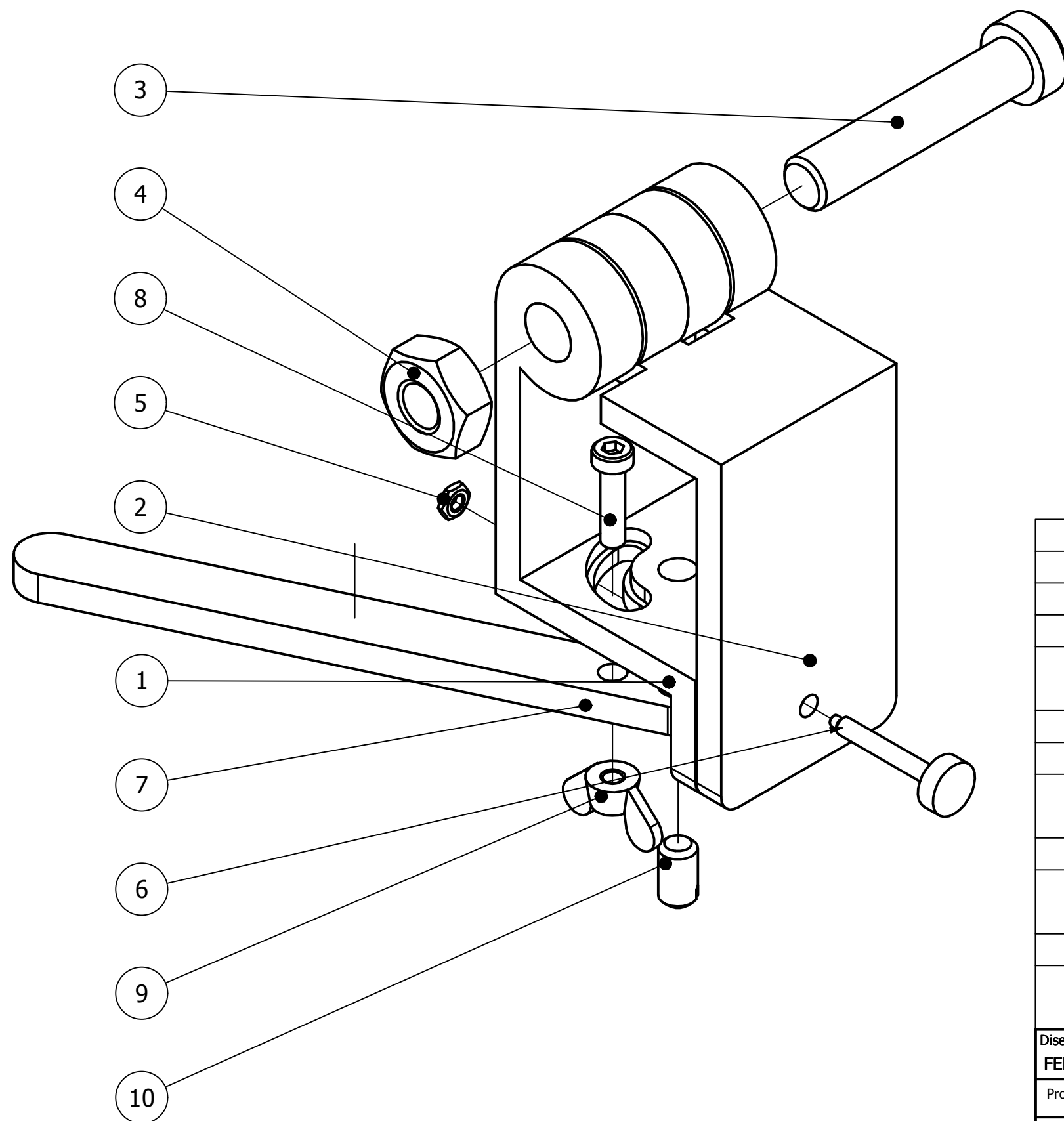


Diseño de FERNANDO GARCÍA MALEÓN	Escala 1:1	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 11	Fecha 20/05/2015
Programa: Autodesk Inventor			DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES	
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness				
Mordaza ISO			 Universidad Pública de Navarra	



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	8	jaula
2	4	vertical jaula
3	8	SOPORTE PANELA 5K
4	55	panela 5K
5	16	tope panela
6	7	soporte polea
7	2	soporte unico
8	7	polea
9	4	SOPORTE PANELA FIJA
10	2	BARRA
11	2	base silla
12	2	soporte silla
13	2	soporte brazo
14	2	barra brazo graduada
15	2	ESPUMA RODILLA
16	2	soporte silla2
17	2	Part9
18	2	espuma silla
19	6	armazon remo
20	1	barra armazon remo
21	1	base silla remo
22	1	soporte espuma
23	1	espuma remo
24	1	angulo trasero remo
25	1	vertical remo
26	2	BARRA TRICEPS
27	1	Part3
28	1	ANGULO SOPORTE SILLA REMO

Diseño de FERNANDO GARCÍA MAULEÓN	Escala 0,05:1	E.T.S.I.I.T.	Nº Plano 12	Fecha 20/05/2015
Programa: Autodesk Inventor			DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES	
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness				
Maquina Explosionada				



LISTA DE PIEZAS					
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN		
1	1	Mordaza1			
2	1	mordaza2			
3	1	DIN 6912 - M12 x 60	Tornillo de cabeza cilíndrica		
4	1	DIN 6915 - M12	Tuerca hexagonal		
5	1	ISO 4035 - M4	Tuerca hexagonal		
6	1	Screw GB 840 B M4 x 30	Plastic diamond knurled thumb screws Type B		
7	1	acople			
8	1	DIN 6912 - M5 x 20	Tornillo de cabeza cilíndrica		
9	1	DIN 315 - M5	Tuerca de palomilla		
10	1	Pin GB 878-86 8 x 14	Parallel pins with external thread		
Diseño de		Escala		Nº Plano	Fecha
FERNANDO GARCÍA MAULEÓN		1:1	E.T.S.I.I.T.	13	20/05/2015
Programa: Autodesk Inventor			DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA ENERGETICA Y DE MATERIALES		
Sistema de recuperación de energía en equipamiento específico de instalaciones deportivas de fitness					
Mordaza Explosión ISO 1					

Small Signal Fast Switching Diodes



FEATURES

- Silicon epitaxial planar diode
- Electrically equivalent diodes:
1N4148 - 1N914
- Material categorization:
For definitions of compliance please see
www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT
HALOGEN
FREE

APPLICATIONS

- Extreme fast switches

MECHANICAL DATA

Case: DO-35

Weight: approx. 105 mg

Cathode band color: black

Packaging codes/options:

TR/10K per 13" reel (52 mm tape), 50K/box

TAP/10K per ammpack (52 mm tape), 50K/box

PARTS TABLE

PART	ORDERING CODE	TYPE MARKING	INTERNAL CONSTRUCTION	REMARKS
1N4148	1N4148-TAP or 1N4148TR	V4148	Single diode	Tape and reel/ammpack

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Repetitive peak reverse voltage		V_{RRM}	100	V
Reverse voltage		V_R	75	V
Peak forward surge current	$t_p = 1\text{ }\mu\text{s}$	I_{FSM}	2	A
Repetitive peak forward current		I_{FRM}	500	mA
Forward continuous current		I_F	300	mA
Average forward current	$V_R = 0$	$I_{F(AV)}$	150	mA
Power dissipation	$l = 4\text{ mm}, T_L = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	440	mW
	$l = 4\text{ mm}, T_L \leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	500	mW

THERMAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Thermal resistance junction to ambient air	$l = 4\text{ mm}, T_L = \text{constant}$	R_{thJA}	350	K/W
Junction temperature		T_j	175	$^{\circ}\text{C}$
Storage temperature range		T_{stg}	- 65 to + 150	$^{\circ}\text{C}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	V_F			1	V
Reverse current	$V_R = 20\text{ V}$	I_R			25	nA
	$V_R = 20\text{ V}, T_J = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	I_R			50	μA
Reverse current	$V_R = 75\text{ V}$	I_R			5	μA
	$I_R = 100\text{ }\mu\text{A}, t_p/T = 0.01,$ $t_p = 0.3\text{ ms}$	$V_{(BR)}$	100			V
Diode capacitance	$V_R = 0\text{ V}, f = 1\text{ MHz},$ $V_{HF} = 50\text{ mV}$	C_D			4	pF
Rectification efficiency	$V_{HF} = 2\text{ V}, f = 100\text{ MHz}$	η_r	45			%
Reverse recovery time	$I_F = I_R = 10\text{ mA},$ $i_R = 1\text{ mA}$	t_{rr}			8	ns
	$I_F = 10\text{ mA}, V_R = 6\text{ V},$ $i_R = 0.1 \times I_R, R_L = 100\text{ }\Omega$	t_{rr}			4	ns

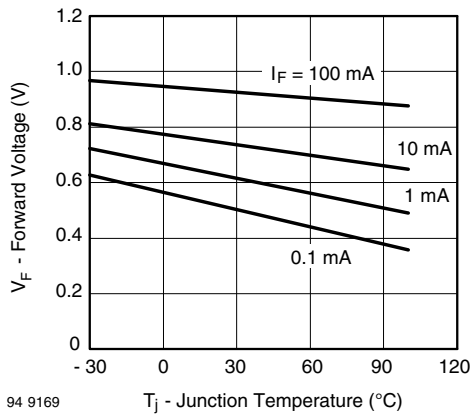
TYPICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Junction Temperature

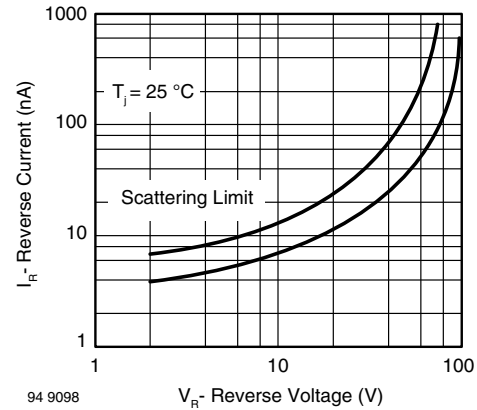


Fig. 3 - Reverse Current vs. Reverse Voltage

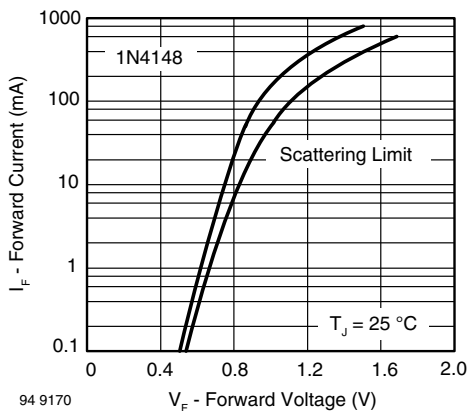
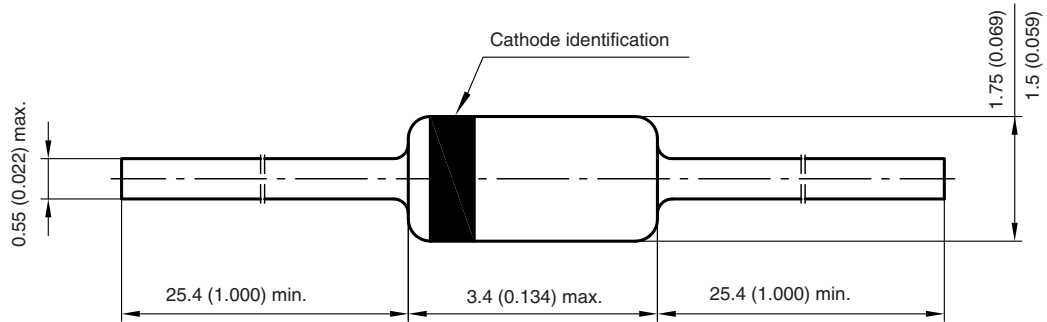


Fig. 2 - Forward Current vs. Forward Voltage



PACKAGE DIMENSIONS in millimeters (inches): **DO-35_02**



Document no.: 6.560-5004.12-4
Created - Date: 17. March 2008
21145



Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and/or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

Material Category Policy

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as RoHS-Compliant fulfill the definitions and restrictions defined under Directive 2011/65/EU of The European Parliament and of the Council of June 8, 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) - recast, unless otherwise specified as non-compliant.

Please note that some Vishay documentation may still make reference to RoHS Directive 2002/95/EC. We confirm that all the products identified as being compliant to Directive 2002/95/EC conform to Directive 2011/65/EU.

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as Halogen-Free follow Halogen-Free requirements as per JEDEC JS709A standards. Please note that some Vishay documentation may still make reference to the IEC 61249-2-21 definition. We confirm that all the products identified as being compliant to IEC 61249-2-21 conform to JEDEC JS709A standards.

Aluminum Capacitors Axial High Temperature, High Ripple Current



Fig. 1

QUICK REFERENCE DATA	
DESCRIPTION	VALUE
Nominal case sizes (Ø D x L in mm)	10 x 30 to 21 x 38
Rated capacitance range, C _R	47 µF to 6800 µF
Tolerance on C _R	± 20 %
Rated voltage range, U _R	16 V to 100 V
Category temperature range	-40 °C to +125 °C
Endurance test at 150 °C	1000 h
Endurance test at 125 °C	4000 h
Useful life at 125 °C	8000 h
Useful life at 85 °C, 1.4 x I _R applied	40 000 h
Shelf life at 0 V, 125 °C	1000 h (100 V: 500 h)
Shelf life at 0 V, 150 °C	≤ 63 V: 500 h
Based on sectional specification	IEC 60384-4/EN 130300
Climatic category IEC 60068	40/125/56

FEATURES

- Extra long useful life: Up to 8000 h at 125 °C
- Extended temperature range: Usable up to 150 °C
- Low ESR levels provide very high ripple current capability
- Miniaturized, high CV-product per unit volume
- Polarized aluminum electrolytic capacitors, non-solid electrolyte
- Axial leads, cylindrical aluminum case, insulated with a blue sleeve
- Taped versions up to case Ø 15 mm x 30 mm available for automatic insertion
- Lead diameter Ø d = 1.0 mm, available on request
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912


**RoHS
COMPLIANT**

APPLICATIONS

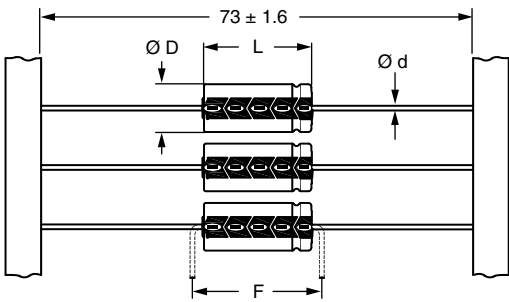
- Automotive, industrial and telecommunication
- Smoothing, filtering, buffering
- Low mounting height applications, vibration and shock resistant
- SMPS and standard power supplies

MARKING

The capacitors are marked (where possible) with the following information:

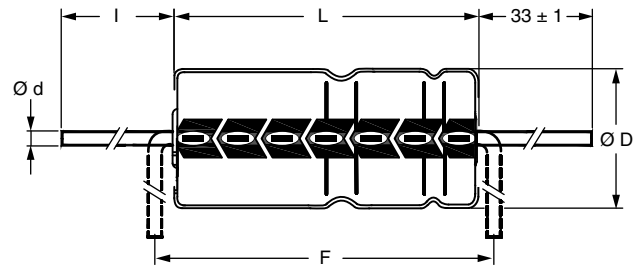
- Rated capacitance (in µF)
- Tolerance on rated capacitance, code letter in accordance with IEC 60062 (M for ± 20 %)
- Rated voltage (in V)
- Upper category temperature (125 °C)
- Date code in accordance with IEC 60062
- Code for factory of origin
- Name of manufacturer
- Negative terminal identification
- Series number (120)

SELECTION CHART FOR C _R , U _R , AND RELEVANT NOMINAL CASE SIZE (Ø D x L in mm)					
C _R (µF)	U _R (V)				
	16	25	40	63	100
47	-	-	-	-	10 x 30
68	-	-	-	-	12.5 x 30
100	-	-	-	10 x 30	12.5 x 30
150	-	-	-	12.5 x 30	15 x 30
220	-	-	10 x 30	12.5 x 30	18 x 30
330	-	-	12.5 x 30	15 x 30	18 x 38
470	-	10 x 30	12.5 x 30	18 x 30	21 x 38
680	10 x 30	12.5 x 30	15 x 30	18 x 38	-
1000	12.5 x 30	12.5 x 30	18 x 30	21 x 38	-
1500	12.5 x 30	15 x 30	18 x 38	-	-
2200	15 x 30	18 x 30	21 x 38	-	-
3300	18 x 30	18 x 38	-	-	-
4700	18 x 38	21 x 38	-	-	-
6800	21 x 38	-	-	-	-

DIMENSIONS in millimeters AND AVAILABLE FORMS


Form BR: Taped on reel
Case $\varnothing D \times L = 6.5 \text{ mm} \times 18 \text{ mm}$ to $15 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$

Fig. 2 - Form BR



Form AA: Axial in box
Case $\varnothing D \times L = 10 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ to $21 \text{ mm} \times 38 \text{ mm}$

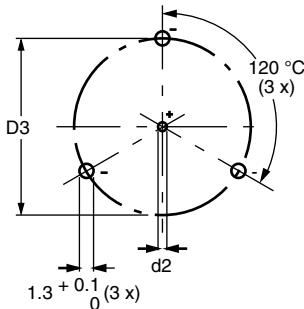
Fig. 3 - Form AA

Table 1

AXIAL; DIMENSIONS in millimeters, MASS, AND PACKAGING QUANTITIES								
NOMINAL CASE SIZE $\varnothing D \times L$ (mm)	AXIAL: FORM AA AND BR					MASS (g)	PACKAGING QUANTITIES	
	$\varnothing d$ (1)	l	$\varnothing D_{\text{max.}}$	$L_{\text{max.}}$	$F_{\text{min.}}$		FORM AA	FORM BR
10 x 30	0.8	55 ± 1	10.5	30.5	35	≈ 4.8	340	500
12.5 x 30	0.8	55 ± 1	13.0	30.5	35	≈ 7.4	260	400
15 x 30	0.8	55 ± 1	15.5	30.5	35	≈ 11.7	200	250
18 x 30	0.8	55 ± 1	18.5	30.5	35	≈ 12.9	120	-
18 x 38	0.8	34 ± 1	18.5	39.5	44	≈ 19.0	125	-
21 x 38	0.8	34 ± 1	21.5	39.5	44	≈ 24.0	100	-

Notes

- (1) Lead diameter $\varnothing d = 1.0 \text{ mm}$, available on request.
- For detailed tape dimensions, please see www.vishay.com/doc?28361.



Mounting holes

Case $\varnothing D \times L = 15 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ to $21 \text{ mm} \times 38 \text{ mm}$
Especially for applications with severe shocks and vibrations

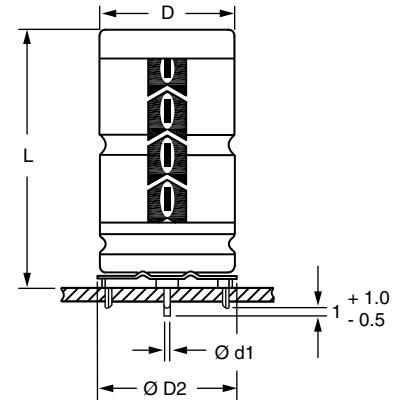
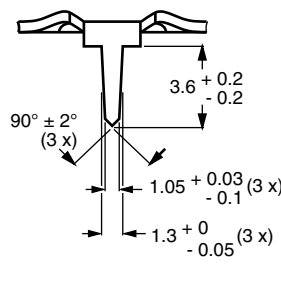


Fig. 4 - Mounting hole diagram and outline; **form MR:** With mounting ring and pins

Table 2

MOUNTING RING; DIMENSIONS in millimeters, MASS, AND PACKAGING QUANTITIES									
NOMINAL CASE SIZE $\varnothing D \times L$	CASE CODE	MOUNTING RING: FORM MR						MASS (g)	PACKAGING QUANTITIES
		$\varnothing d1$	$\varnothing d2$	$\varnothing D_{\text{max.}}$	$\varnothing D2_{\text{max.}}$	D3	$L_{\text{max.}}$		
15 x 30	02	0.8	$1.0 + 0.4$	15.5	17.5	16.5 ± 0.2	33	≈ 8.6	200
18 x 30	03	0.8	$1.0 + 0.4$	18.5	19.5	18.5 ± 0.2	33	≈ 11.5	240
18 x 38	04	0.8	$1.0 + 0.4$	18.5	19.5	18.5 ± 0.2	42	≈ 14.0	100
21 x 38	05	0.8	$1.0 + 0.4$	21.5	22.5	21.5 ± 0.2	42	≈ 19.2	100



ELECTRICAL DATA	
SYMBOL	DESCRIPTION
C _R	Rated capacitance at 100 Hz, tolerance ± 20 %
I _R	Rated RMS ripple current at 10 kHz, 125 °C
I _{L1}	Max. leakage current after 1 min at U _R
I _{L5}	Max. leakage current after 5 min at U _R
ESR	Equivalent series resistance at 100 Hz (calculated from tan δ _{max.} and C _R)
Z	Max. impedance at 10 kHz

ORDERING EXAMPLE

Electrolytic capacitor 120 series

1000 µF/16 V; ± 20 %

Nominal case size: Ø 12.5 mm x 30 mm; form BR

Ordering code: MAL212025102E3

Former 12NC: 2222 120 25102

Note

- Unless otherwise specified, all electrical values in Table 3 apply at T_{amb} = 20 °C, P = 86 kPa to 106 kPa, RH = 45 % to 75 %.

Table 3

ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION													
U _R (V)	C _R 100 Hz (µF)	NOMINAL CASE SIZE Ø D x L (mm)	I _R 10 kHz 125 °C (mA)	I _{L1} 1 min (µA)	I _{L5} 5 min (µA)	TYP. ESR 100 Hz (mΩ)	MAX. ESR 100 Hz (mΩ)	TYP. ESR 10 kHz (mΩ)	MAX. ESR 10 kHz (mΩ)	Z MAX. 10 kHz (mΩ)	ORDERING CODE MAL2120.....		
											IN BOX FORM AA	TAPED ON REEL FORM BR	MOUNTING RING FORM MR
16	680	10 x 30	2100	171	84	106	177	44	74	78	15681E3	25681E3	-
	1000	12.5 x 30	2550	232	104	77	128	35	58	61	15102E3	25102E3	-
	1500	12.5 x 30	2650	328	136	60	100	32	53	53	15152E3	25152E3	-
	2200	15 x 30	2940	462	181	48	79	28	46	46	15222E3	25222E3	45222E3
	3300	18 x 30	3430	674	251	41	68	26	43	43	15332E3	-	45332E3
	4700	18 x 38	4350	942	341	27	45	18	29	29	15472E3	-	45472E3
	6800	21 x 38	4590	1346	475	26	43	18	29	29	15682E3	-	45682E3
25	470	10 x 30	2100	181	87	112	187	45	74	84	16471E3	26471E3	-
	680	12.5 x 30	2550	244	108	81	136	35	59	64	16681E3	26681E3	-
	1000	12.5 x 30	2600	340	140	64	107	32	53	55	16102E3	26102E3	-
	1500	15 x 30	2890	490	190	49	82	28	46	46	16152E3	26152E3	46152E3
	2200	18 x 30	3310	700	260	43	71	27	44	44	16222E3	-	46222E3
	3300	18 x 38	4350	1030	370	28	47	18	29	29	16332E3	-	46332E3
	4700	21 x 38	4470	1450	510	27	44	18	29	29	16472E3	-	46472E3
40	220	10 x 30	1990	146	75	192	320	52	87	124	17221E3	27221E3	-
	330	12.5 x 30	2430	198	93	130	216	37	62	83	17331E3	27331E3	-
	470	12.5 x 30	2550	266	115	101	169	35	58	70	17471E3	27471E3	-
	680	15 x 30	2840	366	149	75	125	30	50	55	17681E3	27681E3	47681E3
	1000	18 x 30	3150	520	200	59	99	28	47	49	17102E3	-	47102E3
	1500	18 x 38	4130	760	280	39	65	19	31	32	17152E3	-	47152E3
	2200	21 x 38	4170	1096	392	34	56	19	31	31	17222E3	-	47222E3
63	100	10 x 30	1560	116	65	297	495	92	154	249	18101E3	28101E3	-
	150	12.5 x 30	2050	153	78	195	325	61	102	162	18151E3	28151E3	-
	220	12.5 x 30	2150	206	95	149	249	55	92	126	18221E3	28221E3	-
	330	15 x 30	2510	289	123	105	175	44	73	91	18331E3	28331E3	48331E3
	470	18 x 30	2860	395	158	81	135	38	64	74	18471E3	-	48471E3
	680	18 x 38	3720	554	211	55	92	26	43	49	18681E3	-	48681E3
	1000	21 x 38	3780	796	292	44	74	25	41	43	18102E3	-	48102E3
100	47	10 x 30	760	96	59	760	1269	349	581	720	19479E3	29479E3	-
	68	12.5 x 30	1030	122	67	531	885	246	410	503	19689E3	29689E3	-
	100	12.5 x 30	1140	160	80	389	648	196	327	381	19101E3	29101E3	-
	150	15 x 30	1480	220	100	266	443	137	229	262	19151E3	29151E3	49151E3
	220	18 x 30	1960	304	128	181	302	95	158	179	19221E3	-	49221E3
	330	18 x 38	2550	436	172	120	200	62	104	117	19331E3	-	49331E3
	470	21 x 38	2800	604	228	92	154	52	86	94	19471E3	-	49471E3



ADDITIONAL ELECTRICAL DATA			
PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	
		AXIAL	MOUNTING RING
Voltage			
Surge voltage		$U_s \leq 1.15 \times U_R$	
Reverse voltage		$U_{rev} \leq 1 \text{ V}$	
Current			
Leakage current	After 1 min at U_R	$I_{L1} \leq 0.012 C_R \times U_R + 40 \mu\text{A}$	
	After 5 min at U_R	$I_{L5} \leq 0.004 C_R \times U_R + 40 \mu\text{A}$	
Inductance			
Equivalent series inductance (ESL)	Case $\varnothing D \times L$ mm:		
	10 x 30	Typ. 38 nH	
	12.5 x 30	Typ. 46 nH	
	15 x 30	Typ. 48 nH	Typ. 39 nH
	18 x 30	Typ. 50 nH	Typ. 39 nH
	18 x 38	Typ. 54 nH	Typ. 39 nH
	21 x 38	Typ. 59 nH	Typ. 39 nH

CAPACITANCE (C)

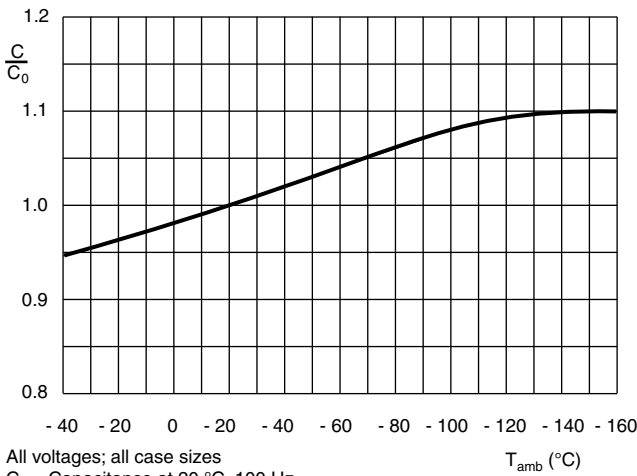


Fig. 5 - Typical multiplier of capacitance as a function of ambient temperature

EQUIVALENT SERIES RESISTANCE (ESR)

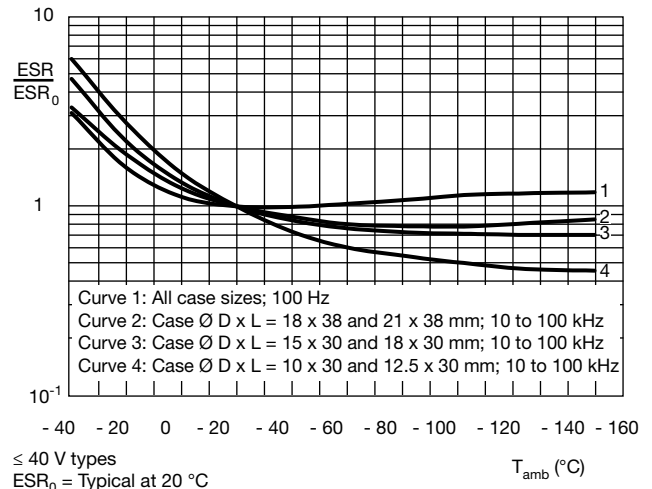


Fig. 6 - Typical multiplier of ESR as a function of ambient temperature at different frequencies

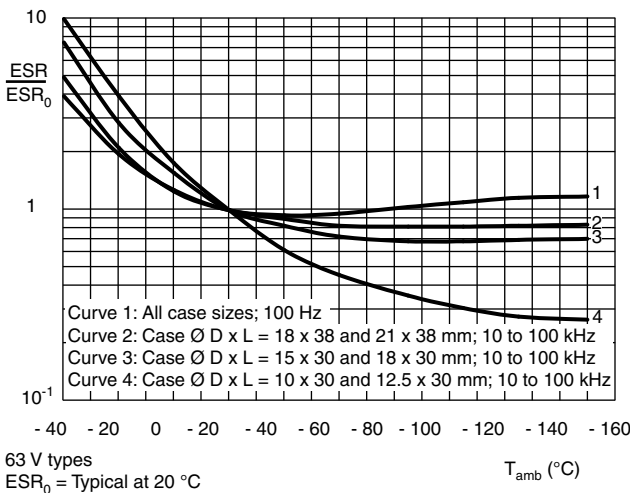


Fig. 7 - Typical multiplier of ESR as a function of ambient temperature at different frequencies

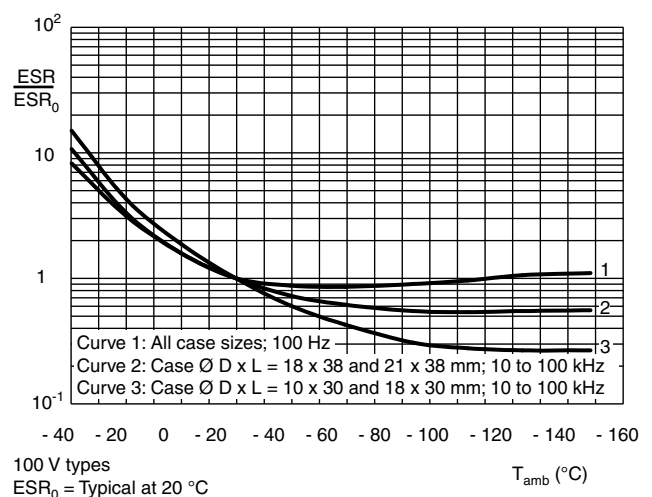
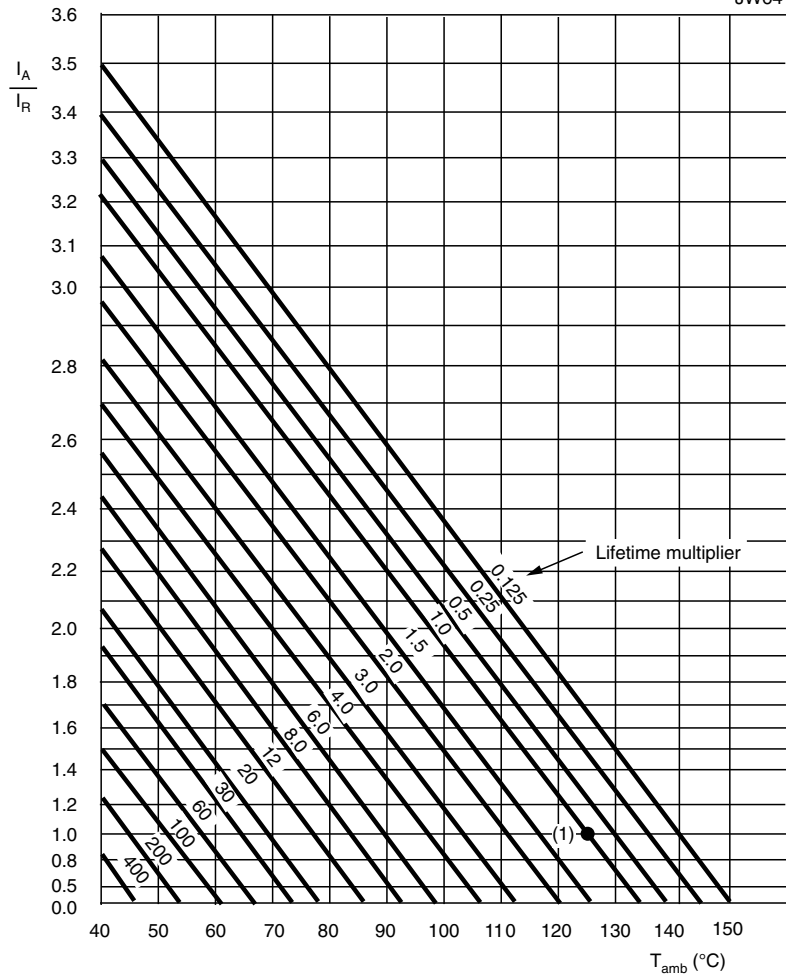


Fig. 8 - Typical multiplier of ESR as a function of ambient temperature at different frequencies

RIPPLE CURRENT AND USEFUL LIFE

JW64


 I_A = Actual ripple current at 10 kHz

 I_R = Rated ripple current at 10 kHz, 125 °C

 (1) Useful life at 125 °C and I_R applied: 8000 h

Fig. 9 - Multiplier of useful life as a function of ambient temperature and ripple current load

Table 4

MULTIPLIER OF RIPPLE CURRENT (I_R) AS A FUNCTION OF FREQUENCY				
FREQUENCY (Hz)	I_R MULTIPLIER			
	$U_R = 16\text{ V TO }40\text{ V}$ CASE SIZES (10 x 30 to 15 x 30) mm	$U_R = 16\text{ V TO }40\text{ V}$ CASE SIZES (18 x 30 to 21 x 38) mm	$U_R = 63\text{ V AND }100\text{ V}$ CASE SIZES (10 x 30 to 15 x 30) mm	$U_R = 63\text{ V AND }100\text{ V}$ CASE SIZES (18 x 30 to 21 x 38) mm
50	0.37	0.54	0.23	0.44
100	0.48	0.63	0.32	0.56
300	0.69	0.75	0.53	0.76
1000	0.86	0.81	0.77	0.88
3000	0.96	0.87	0.93	0.94
$\geq 10\ 000$	1.00	1.00	1.00	1.00

Table 5

TEST PROCEDURES AND REQUIREMENTS			
TEST		PROCEDURE (quick reference)	REQUIREMENTS
NAME OF TEST	REFERENCE		
Endurance	IEC 60384-4/ EN 130300 subclause 4.13	$T_{amb} = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$; U_R applied; 4000 h $T_{amb} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$; U_R applied; 1000 h	$\Delta C/C: \pm 15\%$ $\tan \delta \leq 1.3 \times \text{spec. limit}$ $Z \leq 2 \times \text{spec. limit}$ $I_{L5} \leq \text{spec. limit}$
Useful life	CECC 30301 subclause 1.8.1	$T_{amb} = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$; U_R and I_R applied; 8000 h	$\Delta C/C: \pm 45\%$ $\tan \delta \leq 3 \times \text{spec. limit}$ $Z \leq 3 \times \text{spec. limit}$ $I_{L5} \leq \text{spec. limit}$ no short or open circuit total failure percentage: $\leq 1\%$
Shelf life (storage at high temperature)	IEC 60384-4/ EN 130300 subclause 4.17	$T_{amb} = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$; no voltage applied; 1000 h (100 V: 500 h) $T_{amb} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$; no voltage applied; 500 h for voltages: $\leq 63\text{ V}$ After test: U_R to be applied for 30 min, 24 h to 48 h before measurement	$\Delta C/C$, $\tan \delta$, Z : For requirements see "Endurance test" above $I_{L5} \leq 2 \times \text{spec. limit}$
Reverse voltage	IEC 60384-4/ EN 130300 subclause 4.15	$T_{amb} = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$: 125 h at $U = -1\text{ V}$ Followed by 125 h at U_R	$\Delta C/C: \pm 20\%$ $\tan \delta \leq \text{spec. limit}$ $I_{L5} \leq \text{spec. limit}$



Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and/or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

Material Category Policy

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as RoHS-Compliant fulfill the definitions and restrictions defined under Directive 2011/65/EU of The European Parliament and of the Council of June 8, 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (EEE) - recast, unless otherwise specified as non-compliant.

Please note that some Vishay documentation may still make reference to RoHS Directive 2002/95/EC. We confirm that all the products identified as being compliant to Directive 2002/95/EC conform to Directive 2011/65/EU.

Vishay Intertechnology, Inc. hereby certifies that all its products that are identified as Halogen-Free follow Halogen-Free requirements as per JEDEC JS709A standards. Please note that some Vishay documentation may still make reference to the IEC 61249-2-21 definition. We confirm that all the products identified as being compliant to IEC 61249-2-21 conform to JEDEC JS709A standards.