



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería Industrial

**FABRICACIÓN, MONTAJE Y ANÁLISIS DE PRECISIÓN DE
MÁQUINA DE PROTOTIPADO RÁPIDO AUTO-REPLICANTE
DE BAJO COSTE**

Autor:

ALBERTO MARTÍNEZ SANMARTÍN

Dirigido por JORGE SANTOLARIA MAZO

Codirigido por JUAN JOSÉ AGUILAR MARTÍN

Universidad de Zaragoza

Escuela de Ingeniería y Arquitectura



Departamento de Ingeniería de
Diseño y Fabricación

Junio 2012

FABRICACIÓN, MONTAJE Y ANÁLISIS DE PRECISIÓN DE MÁQUINA DE PROTOTIPADO RÁPIDO AUTO-REPLICANTE DE BAJO COSTE

RESUMEN

El presente proyecto surge de la necesidad de utilización de una Máquina de Prototipado Rápido de bajo coste o Impresora 3D de bajo coste. En la actualidad existen multitud de Máquinas de Prototipado Rápido comerciales de alto precio, siendo éstas del orden de entre 100 y 200 veces superiores en precio a las de bajo coste; por tanto es interesante para la Universidad disponer de una máquina de bajo precio para realizar prototipos de forma barata y rápida; además de la posibilidad de replicar de forma más económica dicha máquina las veces que sean necesarias.

Para ello, se ha hecho una valoración de los equipos disponibles en el mercado analizando sus principales características; como la precisión, calidad de acabado, velocidad de impresión, etc. Pero fundamentalmente a la hora de la elección nos hemos centrado en el aspecto económico, no solo de primera adquisición sino de posibles réplicas, recambios y materiales consumibles de la misma.

Una vez realizado dicho estudio, la elección de la Máquina de Prototipado Rápido es una *PRUSA-MENDEL del Proyecto RepRap*. Nos hemos decantado por ésta opción debido a su bajo coste, tanto de adquisición como de consumibles (*ya que la mayoría de sus componentes pueden obtenerse de forma barata y rápida en cualquier ferretería o tienda de bricolaje*), su mejorada capacidad de impresión respecto a otros modelos y su mayor sencillez de montaje, manejo, reparación y modificación de la misma.

A partir de este punto tras realizar una catalogación y valoración de los diversos proveedores de piezas, consumibles y adquirir los diferentes componentes se ha procedido a su montaje, tanto físico, eléctrico y electrónico; como configuración del software de control, calibrado y puesta en funcionamiento. Se han realizado también mejoras en algunos aspectos deficientes de la misma.

Dicha tarea conlleva un gran esfuerzo ya que el *Proyecto RepRap* es una iniciativa colectiva creada con el propósito de crear Máquinas de Prototipado Rápido de bajo coste Auto-replicas de licencia abierta en la que cada usuario puede colaborar aportando o extrayendo la información que crea necesaria para la mejora y el desarrollo del proyecto; esto genera una gran cantidad de información pero estructurada de manera muy deficiente y con grandes vacíos incluso informaciones erróneas en muchos ámbitos, además de una infinidad de variaciones y modelos diferentes.

Por todo ello, se ha recopilado, organizado, creado y en definitiva mejorado toda ésta información con la que se ha redactado un manual completo y perfectamente documentado de como realizar su montaje, piezas y electrónica, conexiones eléctricas, drivers del software, programas requeridos; de manera inequívoca así como las instrucciones para su correcto calibrado y puesta a punto. Se ha presentado en cada punto las alternativas básicas con las piezas disponibles, así como posibles mejoras técnicas tanto desde el punto de vista del diseño como de la fabricación o del proceso mismo de montaje. Además se indica en cada paso el tiempo requerido para su realización, así como el total del apartado o apartados; de manera que el usuario tiene una visión global del tiempo restante de finalización del proyecto.

Se ha realizado un estudio económico de la máquina tanto de primera adquisición como auto-replicándose a sí misma una vez se dispone de una máquina ya funcionando.

Por último; se ha llevado a cabo una evaluación de la precisión de las piezas fabricadas a partir de las dimensiones nominales del CAD y de medición de las piezas fabricadas de modo que se ha caracterizado la precisión dimensional de las piezas fabricadas en función de parámetros de construcción y posicionamiento en la bandeja, con objeto de elaborar mecanismos de compensación de los errores y aumentar la precisión de las piezas teniendo en cuenta los principales mecanismos de error que afectan.

Debido a su bajo coste; se ha evaluado la posible utilización de éste tipo de máquinas en aplicaciones docentes relacionadas con el diseño y la fabricación, como herramienta docente en el ámbito de la ingeniería, de otras titulaciones o incluso en enseñanzas secundarias.

GUÍA DE CONSULTA

La memoria se divide en varias secciones diferenciadas las cuales se detallan a continuación.

Capítulo 1.

- **1.1 Introducción:** en él se presentan y describen las diferentes tecnologías de fabricación aditiva, así como los métodos existentes más significativos del Prototipado rápido.
- **1.2 Justificación del proyecto:** se justifica con claridad y detalle la necesidad de realizar éste proyecto y porque se ha realizado de la siguiente manera.
- **1.3 Objetivos del proyecto:** se clasifican los diferentes objetivos y metas a alcanzar durante el desarrollo del mismo.
- **1.4 Ámbito del proyecto:** se explica dónde y cómo se va a realizar el proyecto (instalaciones y equipos usados).

Capítulo 2.

- **Planificación:** en éste capítulo se enumeran las diferentes tareas a llevar a cabo para el total desarrollo del proyecto.

Capítulo 3.

- **Desarrollo del proyecto:** el capítulo consta de un resumen de los diferentes apartados necesarios para la construcción de la máquina completa; desde su adquisición, montaje, calibración y puesta a punto; hasta su funcionamiento e impresión. Referenciándose a la guía completa de montaje adjunta en los anexos donde se detalla de forma íntegra e inequívoca cada paso a seguir.

Capítulo 4.

- **Estudio de precisión:** se realiza un estudio de precisión de varias piezas impresas con diferentes extrusores, y comparando las medidas de éstas frente a las nominales.

Capítulo 5.

- **Análisis económicos:** en él se realizan varios análisis económicos o presupuestos de adquisición de la máquina, tanto de nueva compra como de replicación de la misma.

Capítulo 6.

- **6.1 Aplicaciones:** en éste apartado se enumeran y detallan las diferentes aplicaciones prácticas que pueden llevarse a cabo con ésta máquina, principalmente en el ámbito universitario y de docencia.
- **6.2 Trabajos futuros:** aquí se muestran trabajos futuros así como diferentes vías de investigación y desarrollo que podrían o deberían llevarse a cabo para la mejora e implementación de la tecnología existente una vez concluido éste proyecto.

Capítulo 7.

- **Conclusiones:** éste capítulo recoge las conclusiones a las que se ha llegado tras la realización completa del proyecto. Así como una valoración personal sobre el trabajo realizado.

ANEXOS:

- **ANEXO 1:** Guía completa de montaje calibración y puesta a punto de la impresora 3D '*Prusa-Mendel*'.
- **ANEXO 2:** Estudio de precisión de 2 piezas impresas con diferente extrusor y compradas con sus medidas nominales y contra CAD.
- **ANEXO 3:** Análisis económico de compra de producto nuevo y de auto-replicación de la misma.
- **ANEXO 4:** Datasheets de la placa RAMPS 1.4.

Índice.

Capítulo 1. Introducción.....	1-11
1.1 Presentación de las tecnologías de fabricación aditivas.....	1-7
1.2 Justificación del proyecto.....	8-10
1.3 Objetivos del proyecto.....	11
1.4 Ámbito del proyecto.....	11
Capítulo 2. Planificación.....	12
Capítulo 3. Desarrollo del proyecto.....	13-15
3.1 Elección de proveedores y compra de materiales.....	13
3.2 Montaje de la máquina.....	13
3.2.1 Montaje de los extrusores.....	13
3.3 Montaje eléctrico.....	14
3.4 Montaje electrónica.....	14
3.5 Firmware y Software.....	14
3.6 Puesta a punto y calibración.....	14
3.7 Impresión.....	14
3.8 Estudio de precisión.....	15
3.9 Análisis económico.....	15
3.10 Redacción de la guía.....	15
3.11 Redacción de la memoria.....	15

Capítulo 4. Estudio de precisión.....	16-22
4.1 Comparación de medidas reales frente a nominales.....	16
4.1.1 <i>MiniExtruder</i>	17
4.1.2 <i>Wade's Extruder</i>	17
4.1.3 <i>Comparación del error medio</i>	18
4.2 Digitalización del modelo y comparación frente a CAD...	19-22
4.2.1 <i>MiniExtruder</i>	19-20
4.2.2 <i>Wade's Extruder</i>	21-22
4.3 Conclusiones del estudio.....	22
Capítulo 5. Análisis económicos.....	23-24
5.1 Elección de proveedores y descripción del análisis.....	23
5.2 Resultado del análisis.....	24
Capítulo 6. Aplicaciones y trabajos futuros.....	25-28
6.1 Aplicaciones.....	25-26
6.2 Trabajos futuros.....	27-28
Capítulo 7. Conclusiones.....	29-30

ANEXOS

ANEXO 1- Guía de montaje.....	1-80
ANEXO 2- Estudio de precisión.....	1-61
ANEXO 2.1 Comparación de medidas.....	1-5
<i>ANEXO 2.1.1- MiniExtruder.....</i>	<i>1-2</i>
<i>ANEXO 2.1.2- Wade's Extruder.....</i>	<i>3-4</i>
<i>ANEXO 2.1.3- Gráfica del error medio.....</i>	<i>5</i>
ANEXO 2.2- Digitalización del modelo.....	1-56
<i>ANEXO 2.2.1- MiniExtruder.....</i>	<i>1-28</i>
<i>ANEXO 2.2.2- Wade's Extruder.....</i>	<i>29-56</i>
ANEXO 3- Análisis económico.....	1-9
ANEXO 3.1- Proveedores.....	1-4
ANEXO 3.2- Presupuesto de nueva compra.....	5
ANEXO 3.3- Presupuesto de duplicación.....	6-9
ANEXO 4- Datasheets RAMPS 1.4.....	1-3

Capítulo 1. Introducción

1.1 Presentación de las tecnologías de fabricación aditivas.

Introducción:

Las Tecnologías de Manufactura por Capas LMTs (Layered Manufacturing Technologies), producen objetos con formas complejas en 3 dimensiones (3D) directamente desde un diseño asistido por ordenador (CAD); modelando sucesivas capas por adición de material sin necesidad de herramientas especializadas o moldes.

Las LMTs también son conocidas como fabricación aditiva, Fabricación de Forma Libre de Sólido (SFF, Solid Freeform Fabrication) y en la industria como Prototipado rápido (RP, Rapid Prototyping) manufactura por capas (LM, Layered Manufacturing) o impresión 3D.

En el proceso un modelo CAD 3D de un objeto, es creado y posteriormente descompuesto en secciones horizontales o capas representativas. Las trayectorias son generadas siguiendo un patrón para el proceso aditivo de manera que la máquina pueda fabricar automáticamente el objeto en 3D.

La manufactura por capas (LM) puede organizarse en 3 categorías separadas:

- Prototipado rápido (RP, Rapid Prototyping)
- Fabricación rápida de herramientas (RT, Rapid Tooling)
- Manufactura rápida (RM, Rapid Manufacturing)

La introducción de estas nuevas tecnologías ha abierto un amplio abanico de posibilidades en el diseño, desarrollo y manufactura de productos; es por ello que el conocimiento de estas tecnologías y su aplicación efectiva es vital en la manufactura y diseño industrial a corto y largo plazo.

Proceso:

Los procesos básicos de fabricación pueden catalogarse en tres tipos, sustractiva, formativa y aditiva. Como se muestra en la Figura 1.1, la fabricación sustractiva va quitando material a una preforma de mayor tamaño, la formativa es necesario el uso de moldes donde se vierte o inyecta el material y la aditiva se añade directamente el material con la forma deseada. Será en éste último tipo de fabricación en la que centraremos el análisis.

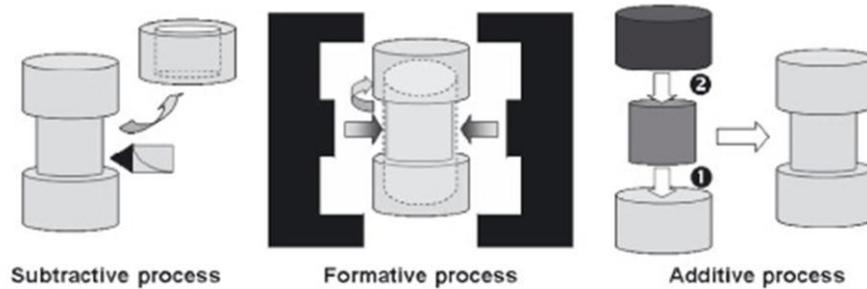


Figura 1.1 Procesos básicos de fabricación.

Los principales procesos de la Fabricación por capas (LM) (Figura 1.2) son los siguientes:

- Modelado del CAD
- Conversión de datos
- Chequeo y preparación
- Construcción por capas
- Post-proceso

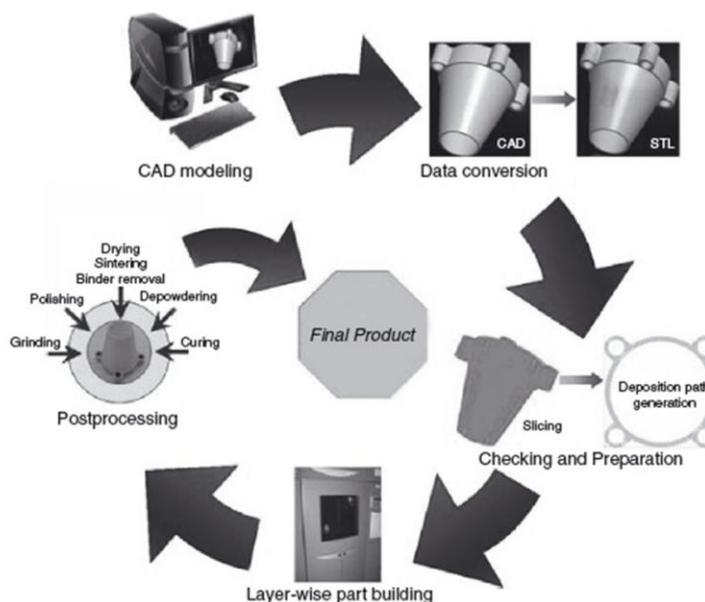


Figura 1.2 Procesos básicos en la Fabricación por capas

Modelado del CAD:

La manufactura por capas requiere un modelo 3D que describa las propiedades físicas del objeto, como volumen, superficies y demás elementos básicos. Dicho modelo debe ser cerrado y bien definido, en cuanto a dimensiones y coordenadas.

Conversión de datos:

El modelo 3D de datos es convertido a formato STL (STereoLithography), éste modelo permite convertir las diferentes capas del modelo en una rutina de iteraciones formada por líneas y triángulos.

Chequeo y preparación:

Es necesario un chequeo previo para verificar que no existen errores en el algoritmo de impresión y una preparación sobre todo en cuanto a la orientación de la pieza (comprobar que sea la correcta), la generación de superficies de soporte y las especificaciones de capa (grosor, perímetros, etc.).

Construcción por capas:

En la mayoría de los sistemas de fabricación por capas, éste proceso es automático y puede variar en gran medida de unos sistemas a otros, desde minutos u horas, hasta días en función de la pieza, los materiales y el equipo utilizado.

Post-proceso:

Generalmente es necesario un post-proceso para eliminar estructuras de soporte, rebabas o reparar posibles errores. Dependiendo del tipo de tecnología utilizada.

Ventajas de la fabricación por capas:

El principal beneficio directo de éste tipo de fabricación es la posibilidad de fabricar geometrías complejas (como conductos interiores de geometrías intrincadas) de una sola pieza y de manera relativamente rápida. Además de ser capaces de fabricar con diversos materiales en diferentes localizaciones según las especificaciones requeridas.

Prototipado rápido:

Las ventajas de la fabricación de prototipos en nuevos diseños están muy bien establecidas en la producción actual. El beneficio económico y reducción de costes es uno de los puntos más significativos que se pueden conseguir con la utilización de ésta tecnología, obteniendo unos rangos de reducción de costes y tiempo entre el 50% y el 90% en comparación con los procesos de prototipado tradicionales.

Esto permite realizar nuevos productos más rápidamente y con unos costes fijos más reducidos, sobre todo en productos que necesitan muchas modificaciones de diseño

previas hasta conseguir el producto final. Por ejemplo, cascos, boquillas de respiración y demás aparatos ergonómicos que deben adaptarse al cuerpo humano y requieren gran cantidad de pruebas y prototipos. Ya que la visualización, comprobación y comunicación del test es inmediata y posible gracias a la tecnología de Prototipado rápido.

Clasificación:

A continuación haremos una clasificación de los principales tipos de fabricación por capas:

- **Sintetizado selectivo de láser (SLS, Selective Laser Sintering):**

Ésta tecnología usa un láser para sintetizar un material en polvo a sólido.

Un haz láser va dibujando sobre una fina capa de polvo el trazado en 2D para sintetizar o fundir el componente, una vez finalizada la capa, se añade mediante unos rodillos una nueva capa de polvo y se repite el proceso hasta completar el modelo. El material sobrante sirve como estructura de soporte para posteriores capas.

El inconveniente es que debe realizarse en una atmósfera controlada inerte y sellada para evitar la oxidación y contaminación final de las partes, así como para evitar el riesgo de explosión al haber partículas de polvo en suspensión.

Además es requerida una gran cantidad de calor y energía durante el proceso de sintetizado.

La gran ventaja además de no necesitar estructura de soporte resulta ser la única tecnología de fabricación por capas capaz de usar una gran variedad de materiales, incluidos termoplásticos, metales y aleaciones, cerámicas y materiales compuestos.

- **Fotopolimerización (SLA, Stereolithography):**

Éste proceso trabaja con la polimerización de una resina líquida fotocurable, la cuál se solidifica como resultado de una irradiación electromagnética capa a capa hasta desarrolla el objeto 3D. La mayoría de los sistemas comerciales de SLA polimerizan en el rango de los rayos ultravioletas (UV).

El proceso de fotopolimerización es llevado a cabo, punto a punto, línea a línea y capa a capa sobre una plataforma sobre la que unos cabezales pintan con dicha resina mientras un haz de luz ultravioleta lo va solidificando. La mayoría de los sistemas SLA disponen de otro cabezal el cual imprime la estructura de soporte en otro material el cual debe ser retirado posteriormente.

La ventaja de éste proceso es que es muy preciso, pudiendo obtener grosores de capa entre 0.025 y 0.5mm con un buen acabado y una tolerancia dimensional del orden de $\pm 100\mu\text{m}$.

- **Modelado por deposición fundida (FDM, Fusion Deposited Modelling):**

Al contrario que en la fotopolimerización en la que mediante un proceso químico se modifica la sustancia para que cambie de fase líquida a sólida, en este tipo de tecnologías el material se usa en forma sólida el cual es fundido o extruido y depositado posteriormente en la forma deseada.

La tecnología FDM extruye o funde el material y una boquilla deposita capa a capa hasta que se enfría y solidifica para completar el objeto en 3D, utilizando un software especial el cuál define y crea automáticamente tanto la estructura de soporte (la cual luego debe ser retirada en post-proceso, normalmente disolviéndola en un disolvente en base acuosa), como el objeto propiamente dicho.

Éste proceso comienza con una bobina de hilo del material (usualmente termoplástico) el cuál es arrastrado hasta la cabeza extrusora, o cabeza caliente (o una combinación de ambas) la cual lleva al plástico a un estado semilíquido que le otorga una ligera fluidez que permite a la boquilla depositarla sobre una base o cama (usualmente caliente para reducir el efecto de una rápida contracción) y construir mediante camas el objeto 3D. En caso de disponer de estructura de soporte ésta se lleva a cabo por otra boquilla al mismo tiempo.

Es muy importante el control de la temperatura tanto de la boquilla como de la base para una buena tolerancia dimensional, buena eficiente deposición.

FDM permite trabajar con un amplio rango de termoplásticos tales como ABS, PC, PPSF, poliamidas, elastómeros, nailon, en función de la aplicación requerida. Con un rango de grosores entre 0.1 y 0.5mm.

Las tecnologías FDM son las más usadas en la industria, debido a su bajo coste, facilidad de uso y funcionamiento en relación a otras, así como un bajo coste de los materiales consumibles. Un inconveniente es su menor precisión dimensional en comparación con otras tecnologías, ya que es muy importante el control de la temperatura y la compensación de las dilataciones producidas por la variación de temperatura; lo que puede llevar a deformaciones y pequeños errores de forma.

Además de éstas existen otros tipos de fabricación por capas, aunque menos usadas en el prototipado, por tanto no entraremos en detalle:

- **Proceso de laminación por capas (LOM, Laminated Objects Manufacturing)**
- **Proceso de deposición de metal**
- **Sistemas híbridos**

Comparaciones:

A continuación se muestra una comparación y clasificación del rango de grosores y resolución de diferentes técnicas LM (Figura 1.3):

Technique	Resolution (mm)		Layer Thickness (mm)	Accuracy (mm)
	X-Y axis	Z axis		
Stereolithography	0.2–0.3	0.025–0.762	0.010–0.05	±0.1
Solid ground curing	0.1–0.15	0.1–0.15	0.1–0.2	±0.5
3D printing	0.12–0.5	0.07–0.17	0.1–0.2	±0.02
Fused deposition modeling	0.25–0.5	0.05–0.75	0.05–0.76	±0.13
Selective laser sintering	0.07–0.5	0.076–0.5	0.08–0.15	±0.13–0.7
Metal-deposition techniques	0.02–0.5	0.1–0.4	0.08–0.4	±0.1–0.5
Inkjet	0.03	0.1–0.2	0.03–0.1	±0.13
Laminated object manufacturing	0.07–0.25	0.05–0.5	0.07–0.3	±0.1–0.25

Figura 1.3 Comparación de grosores y resolución de diferentes LMs.

Direcciones futuras:

LMTs han cambiado la manera en la que las compañías diseñan, desarrollan, y manufacturan los productos. Un gran número de organizaciones en diversos campos han explotado los beneficios de LMT abriendo nuevas oportunidades de investigación, negocios y educación. Éstas tecnologías usadas para el prototipado y modelado han sido muy aceptadas por la industria extendiéndose rápidamente para el desarrollo y creación de nuevos productos funcionales.

Las máquinas LM continúan siendo consideradas lentas para la industria estándar, por tanto una línea de mejora en la tecnología es ir aumentando progresivamente la velocidad de trabajo, con ayuda de nuevas tecnologías, como más potentes y rápidas computadoras.

Otro punto de investigación que se está llevado a cabo es la mejora de los parámetros de fabricación, consiguiendo más altas presiones y resolución, sin que ello incremente los tiempos de producción o encarezca el proceso.

Además cada vez se consigue abaratar más el proceso, consiguiendo mayores beneficios y volúmenes de producción mayores.

Por último, se están desarrollando nuevos materiales de trabajo, entre los que se incluyen materiales “verdes” reciclables, reutilizables y biodegradables; que producen un menor impacto sobre el medio ambiente.

1.2 Justificación del proyecto.

Las máquinas de prototipado rápido, también llamadas impresoras 3D, constituyen un grupo especial de equipos dentro de la Manufactura aditiva por capas (LM, Layered Manufacturing). Su función principal es la capacidad de imprimir modelos en 3 dimensiones a partir de un CAD, esto es de gran utilidad en el ámbito de la ingeniería; especialmente en la ingeniería de diseño; sobre todo para el desarrollo y manufactura de prototipos. El beneficio económico y reducción de costes es uno de los puntos más significativos que se pueden conseguir con la utilización de ésta tecnología, obteniendo unos rangos de reducción de costes y tiempo entre el 50% y el 90% en comparación con los procesos de prototipado tradicionales.

Esto permite realizar nuevos productos más rápidamente y con unos costes fijos más reducidos, sobre todo en productos que necesitan muchas modificaciones de diseño previas hasta conseguir el producto final. Ya que la visualización, comprobación y comunicación del test es inmediata y posible gracias a la tecnología de Prototipado rápido.

Además dicha tecnología es adaptable a diversos ámbitos, no solo en lo referente al prototipado industrial; sino a fines como la investigación, el uso a nivel docente, e incluso la utilización doméstica con fines privados. Procurando una herramienta práctica con la que poder visualizar, contemplar y tocar de una forma rápida y directa el objeto de estudio, en ramas tan dispares como la medicina, la biología molecular, desarrollo de prótesis, así como la enseñanza secundaria o universitaria; entre otras muchas aplicaciones.

El principal inconveniente en el uso y aplicación de ésta tecnología es su elevado coste, especialmente del equipo pero también de los materiales consumibles. Aunque ya existen máquinas de tamaño más reducido, todavía éstas máquinas suelen ser voluminosas y poco transportables, lo que limita su uso para un único departamento e impide su difusión en todos los sectores de la empresa o institución.

Es por ello que surge la necesidad de desarrollar una máquina de prototipado rápido de bajo coste y pequeñas dimensiones, que pueda construirse y manejarse sin demasiada dificultad o sin un alto grado de especialización del operario; pero conservando sus principales ventajas respecto a otros procesos de prototipado tradicionales, como son su reducción de costes y velocidad de fabricación.

Existen varios tipos de tecnologías de prototipado rápido, las cuales son enumeradas y detalladas en el apartado de introducción (páginas 4 y 5).

Los principales procesos son:

- Sintetizado selectivo de láser (SLS, Selective Laser Sintering).
- Fotopolimerización (SLA, Stereolithography).
- Modelado por deposición fundida (FDM, Fusion Deposited Modelling).

A continuación detallamos sus principales características, así como sus ventajas e inconvenientes:

SLS: Sintetiza mediante laser un material en polvo a solido. Dicho proceso puede trabajar en un amplio rango de materiales, con buena tolerancia dimensional y sin necesidad de estructura de soporte.

Por el contrario, es un proceso relativamente lento, que necesita un gran aporte de energía y una atmósfera controlada para evitar impurezas y el riesgo de explosión al haber partículas de polvo en suspensión. Por tanto estos equipos requieren grandes dimensiones lo que limita su movilidad.

SLA: Polimeriza con luz ultravioleta una resina líquida. Ésta tecnología alcanza el grado de precisión y resolución más alto, además su rango de velocidades suele ser más elevado que en el caso del SLS.

Su principal desventaja es económica, puesto que el precio de adquisición de éstos equipos es elevado (para baremo que nosotros buscamos), así como de los materiales de aporte; debido al alto coste de las resinas utilizadas.

FDM: Funde o extruye un material sólido (usualmente termoplásticos) para posteriormente depositarlo en una bandeja para que solidifique de nuevo. Los costes de éstos equipos son comparativamente inferiores a los antes mencionados, sobre todo en cuanto a materiales consumibles, además su funcionamiento y uso es más sencillo, sin necesidad de personal altamente cualificado.

Los rangos de trabajo y la precisión son relativamente más bajos que en los otros procesos y se requiere un control preciso de la temperatura así como un análisis y corrección de la influencia de las dilataciones del material de trabajo.

En conclusión; debido a que nuestro objetivo es la construcción de una máquina de bajo coste y pequeñas dimensiones; sin una necesidad muy estricta en cuanto al alto grado de resolución. Optamos; tras la comparación de las opciones disponibles, por la tecnología **FDM**, que es la que más se ajusta a nuestras especificaciones.

En la búsqueda de alternativas damos con el ‘*Proyecto Reprap*’, una iniciativa creada con el propósito de desarrollar una máquina de prototipado rápido libre capaz de replicarse a sí misma. RepRap imprime objetos en 3D a base de plástico, permitiendo la fabricación de objetos. Incluso puede generar las partes necesarias para construir otra máquina igual a ella.

RepRap se trata de hacer máquinas auto-replicantes, y ponerlos a libre disposición para el beneficio de todos.

Existen varios tipos de impresoras RepRap, entre las que se encuentran la *Travel-Size RepRap*, *Mendel RepRap* o *Prusa-Mendel RepRap*. Todas ellas basadas en el mismo principio pero con diferencias entre ellas.

Nuestro objetivo es construir, calibrar y mejorar una Prusa-Mendel RepRap partiendo de los componentes básicos de la misma. Ya que es la más sencilla tanto en su montaje como en su utilización, además de ser una versión mejorada de las antes mencionadas.

Al ser ‘*RepRap*’ una iniciativa colectiva creada con el propósito de desarrollar Máquinas de Prototipado Rápido de bajo coste Auto-replicantes de licencia abierta, en la que cada usuario puede colaborar aportando o extrayendo la información que crea necesaria para la mejora y el desarrollo del proyecto; genera una gran cantidad de información pero estructurada de manera muy deficiente y con grandes vacíos incluso informaciones erróneas en muchos ámbitos, además de una infinidad de variaciones y modelos diferentes.

Debido a que no existe ninguna guía completa que recoja todos y cada uno de los pasos necesarios para su puesta en funcionamiento, es necesario recopilar toda ésta información para ordenarla, completarla, traducirla en forma de manual perfectamente documentado de como realizar su montaje, piezas y electrónica, conexiones eléctricas, drivers del software, programas requeridos; además de las posibles mejoras técnicas que se puedan realizar en cada punto así como las instrucciones para su correcto calibrado y puesta a punto. Todo ello de manera accesible, de fácil comprensión y de forma inequívoca fuera de toda duda o problema que pueda surgir.

Además de la construcción física de la máquina y su puesta en funcionamiento, se requiere hacer un análisis económico para estudiar su implantación a nivel docente y sus posibles aplicaciones prácticas.

Por último se llevará a cabo un estudio de precisión de la máquina para poder ser catalogada correctamente y compararse con otras tecnologías similares.

1.3 Objetivos del proyecto.

El desarrollo principal del proyecto consiste en la adquisición, montaje, puesta a punto y mejora de una impresora 3D auto-replicante de bajo coste. Además se recopilará, estructurará y redactará un manual completo, para su montaje de forma inequívoca donde se mostrará tanto el montaje físico, como eléctrico y electrónico; así como la calibración y puesta a punto. Documentando bien el tiempo de montaje para desarrollar una tabla a la que poder acudir a la hora de planificar proyectos futuros relacionados con la auto-replicancia de la máquina.

Se pretende desarrollar con esto un protocolo a seguir para la difusión de la tecnología en el ámbito docente y facilitar así su utilización en los diversos departamentos de la universidad.

Se realizará un estudio económico de adquisición de la máquina, tanto de nueva compra como utilizando su capacidad auto-replicante.

Además se hará un estudio de precisión de la máquina comparando y midiendo con precisión una pieza impresa frente sus medidas nominales en CAD.

Por último se buscarán posibles aplicaciones de la máquina en diferentes aspectos, no solo en el ámbito docente universitario.

1.4 Ámbito del proyecto.

El proyecto se lleva a cabo en el departamento de Ingeniería y Diseño de Fabricación de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

Es allí donde se adquirirá, montará y se pondrá en funcionamiento la primera máquina y donde se realizarán las mejoras de diseño pertinentes, con las herramientas del taller del departamento de fabricación y el laboratorio de metrología, donde se llevará a cabo el estudio de precisión.

Por último, estará a disposición el manual completo donde se podrá acudir en caso de necesitar duplicar la máquina o consultar cualquier duda sobre su utilización.

Capítulo 2. Planificación.

Para la planificación se establecieron una serie de tareas que se fueron repartiendo a lo largo del tiempo de duración del proyecto. Las tareas son las siguientes:

- **Búsqueda, comparación y selección de equipos.**
- **Compra y espera de entrega de componentes**
- **Recopilación de información disponible.**
- **Montaje físico de la máquina.**
- **Montaje extrusor (Wade's extruder).**
- **Montaje extrusor (Miniextruder universal).**
- **Montaje electrónica.**
- **Montaje componentes de control (finales de carrera, etc.).**
- **Conexiones eléctricas y de control.**
- **Instalación y configuración de Firmware y Software.**
- **Puesta a punto y calibración.**
- **Pruebas de impresión.**
- **Redacción de manual.**
- **Estudio de precisión.**
- **Búsqueda de usos prácticos.**
- **Redacción de la memoria.**

Algunas de estas tareas coincidían en el tiempo mientras que otras implicaban su finalización antes de poder pasar a la siguiente.

Al final de la guía de montaje (**ANEXO 1**) se adjunta una tabla de tiempos de montaje y desarrollo del proyecto, además se adjunta un gráfico de la división de tiempos que conlleva la realización de cada apartado.

Capítulo 3. Desarrollo del proyecto.

3.1 Elección de proveedores y compra de materiales.

El primer trabajo a realizar es la búsqueda de diferentes opciones de compra y proveedores disponibles en el mercado que suministren el producto que nosotros requerimos, en éste caso un Kit completo de impresora ‘*Prusa-Mendel*’ y material de aporte.

Tras una exhaustiva búsqueda y comparación nos decantamos por *RepRapBCN* (como se indica con más detalle en el capítulo 5.1).

Se adjunta en el **ANEXO 3.1**, la lista completa de proveedores consultada, tanto de kits completos como de piezas sueltas; así como los presupuestos y precio definitivo de adquisición del Kit.

3.2 Montaje de la máquina.

El siguiente paso tras tener todas las piezas es el montaje físico de la máquina. Éste proceso está explicado con todo detalle en el **ANEXO 1**; comprendiendo desde la **Parte 1, hasta la Parte 8** de la guía de montaje.

Primeramente montamos la estructura de soporte o esqueleto de la máquina, sobre la cuál montaremos posteriormente los soportes de los diferentes ejes. Durante éste proceso se montan en su sitio los motores y correas que dotan de movilidad al conjunto.

Durante éste proceso es importante como se detalla en la guía, el preciso ajuste de todo el conjunto para que encaje a la perfección y nada dificulte ni de problemas en pasos posteriores.

3.2.1 Montaje de los extrusores.

El montaje de los extrusores puede realizarse en paralelo al montaje de la máquina ya que no se monta sobre ésta hasta el final.

En nuestro caso disponemos de 2 extrusores, un ‘*Wade's Extruder*’ y un ‘*Miniextruder universal*’. La principal diferencia entre ambos es el diámetro del hilo de material con el que trabajan, siendo de 3mm el primero y 1.75mm el segundo.

Ambos constan de un motor, un mecanismo de arrastre del hilo mediante un tornillo moleteado, un boquilla caliente de cobre con una resistencia y un termistor para controlar la temperatura de fusión. El montaje de ambos extrusores queda reflejado al detalle en el **ANEXO 1, apartados 13 y 14**.

3.3 Montaje eléctrico.

Una vez completado el montaje físico de la máquina y de los extrusores se realizan todas las conexiones eléctricas, dotando a los motores, finales de carrera, boquilla caliente y resistencias de la cama de los conectores adecuados para conectarlos posteriormente a la placa de control. Es necesario conectar la fuente de alimentación y relé que alimenta la placa caliente.

Este proceso queda definido y explicado con claridad en el **ANEXO 1, Parte 15**.

3.4 Montaje electrónica.

Este paso puede hacerse en paralelo con los anteriores, soldando a la placa RAMPS 1.4 todos los componentes, drivers y conectores correctamente. Una vez finalizado, conectaremos ésta a la placa Arduino y el resto de cables (motores, boquilla, etc.) donde corresponden.

Es muy importante realizar bien las soldaduras y conexiones, todo queda reflejado con detalle en el **ANEXO 1, Parte 10**. Además se adjuntan los DataSheet de la placa y otros elementos electrónicos por si es necesaria su consulta. **ANEXO 4**.

3.5 Firmware y software.

Una vez completado el montaje de la electrónica es necesario instalar los diferentes programas (*Pronterface, Slic3r, Netfabb Studio, Git Bash, etc.*) y drivers necesarios en el PC y configurar la placa Arduino mediante el firmware adecuado (*Sprinter de Kliment*). Como queda reflejado en su totalidad en el **ANEXO 1, Parte 16**.

3.6 Puesta a punto y calibración.

Por último antes de poder imprimir es necesario calibrar correctamente la máquina y asegurarse de que todo está bien configurado para su correcto funcionamiento. Este paso es crítico y requiere de herramientas adecuadas, como un pie de rey o reloj comparador. Con los datos tomados se va ajustando los diferentes parámetros hasta conseguir el correcto calibrado como se indica con detalle en el **ANEXO 1, Parte 17**.

3.7 Impresión.

Tras realizar todos los pasos anteriores, la máquina ya está lista para imprimir, el usuario debe familiarizarse con el funcionamiento de los programas y sus diferentes configuraciones. Además de cómo cargar el aporte de material al extrusor.

Es por ello que en la guía se adjunta un apartado de utilización e impresión. **ANEXO 1**.

3.8 Estudio de precisión.

Para hacernos una idea de la precisión de impresión de la máquina, llevamos a cabo un estudio de precisión sobre dos piezas de muestra, impresas con diferentes extrusores.

Para ello tomamos medidas de ambas y además las digitalizamos para hacer la comparación frente al CAD y sus medidas nominales; obteniendo así los datos necesarios para el estudio.

Todo éste proceso se detalla en el **ANEXO 2**.

3.9 Análisis económico.

Éste apartado contiene un análisis económico en el cuál se adjunta una lista completa de proveedores y dos presupuestos diferentes; uno de compra del Kit completo o nueva compra y otro un presupuesto suponiendo que ya se dispone de una máquina y aprovechamos su capacidad auto-replicante.

Todo éste material se recoge en el **ANEXO 3**.

3.10 Redacción de la guía.

Debido a que hay disponible un gran volumen de información pero estructurada de deficientemente, con grandes vacíos incluso de manera errónea en muchos puntos, además de una infinidad de variaciones y modelos diferentes; se ha recopilado, organizado y un manual completo estructurando toda ésta información, de manera perfectamente documentada e inequívoca de como realizar su montaje, piezas y electrónica, conexiones eléctricas, drivers del software, programas requeridos, calibrado y puesta a punto. Además se ha presentado en cada punto las alternativas básicas con las piezas disponibles, así como posibles mejoras técnicas tanto en el diseño como en la fabricación o del proceso mismo de montaje. Además se indica en cada paso el tiempo aproximado de montaje así como el total del capítulo.

Éste manual se encuentra disponible en el **ANEXO 1**.

3.11 Redacción de la memoria.

Por último es necesario recopilar, estructurar y redactar los diferentes apartados de la memoria correspondiente; la cual debe componerse de una estructura determinada así como de los anexos que cumplimentan el proyecto con toda la información disponible.

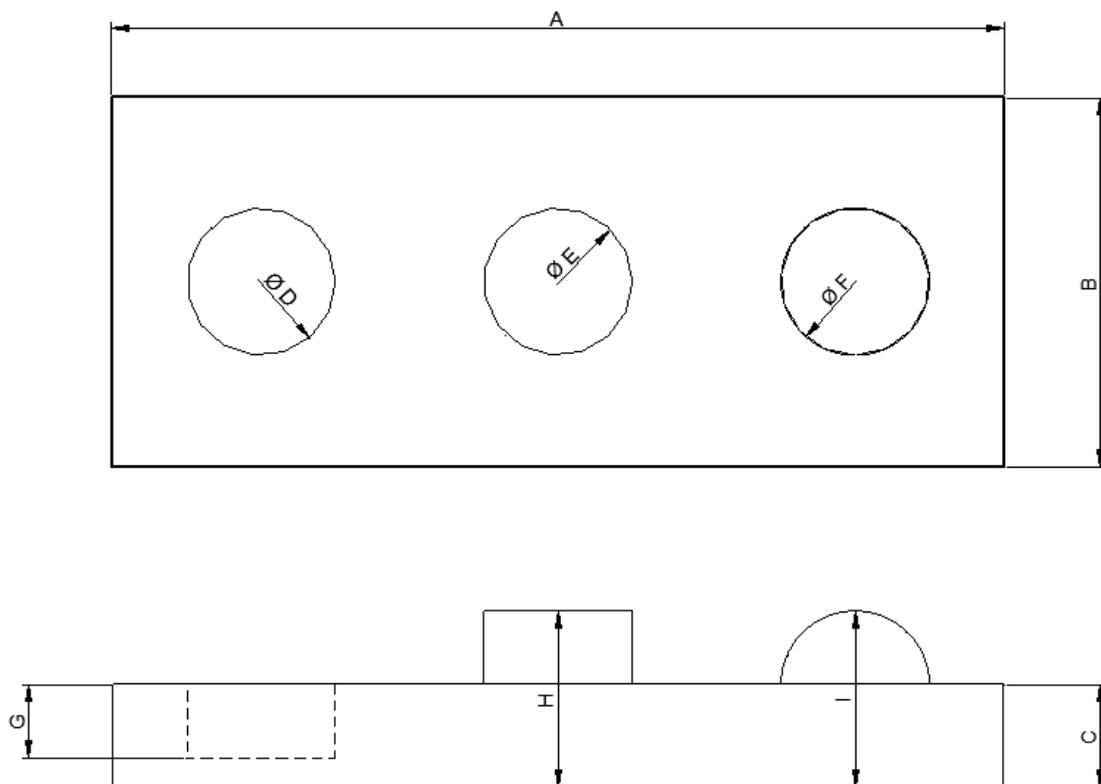
Capítulo 4. Estudio de precisión.

Se ha llevado a cabo un estudio de precisión de dos piezas de prueba iguales con diferentes geometrías de control impresas por dos extrusores diferentes (MiniExtruder Universal y Wade's Extruder). Comparando sus medidas reales frente a las nominales y el modelo digitalizado frente al CAD. ANEXO 2.

4.1 Comparación de medidas reales frente a medidas nominales.

Para ello primeramente se han tomado diez medidas con un pie de rey sobre cada una de las diferentes geometrías relevantes de las piezas y comparadas éstas con sus medidas nominales. ANEXO 2.1.

A continuación se muestra el plano de la pieza con sus medidas nominales y los resultados del primer estudio:



Medidas nominales:

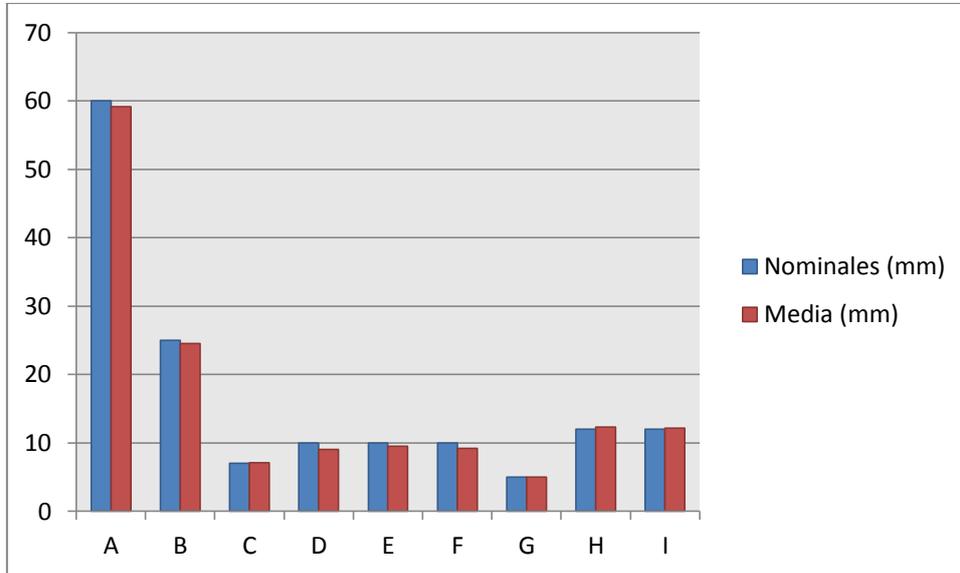
A: 60mm **B:** 25mm **C:** 7mm **D:** 10mm **E:** 10mm

F: 10mm **G:** 5mm **H:** 12mm **I:** 12mm

4.1.1 MiniExtruder.

Medidas reales, (media aritmética en cada punto tras 10 mediciones):

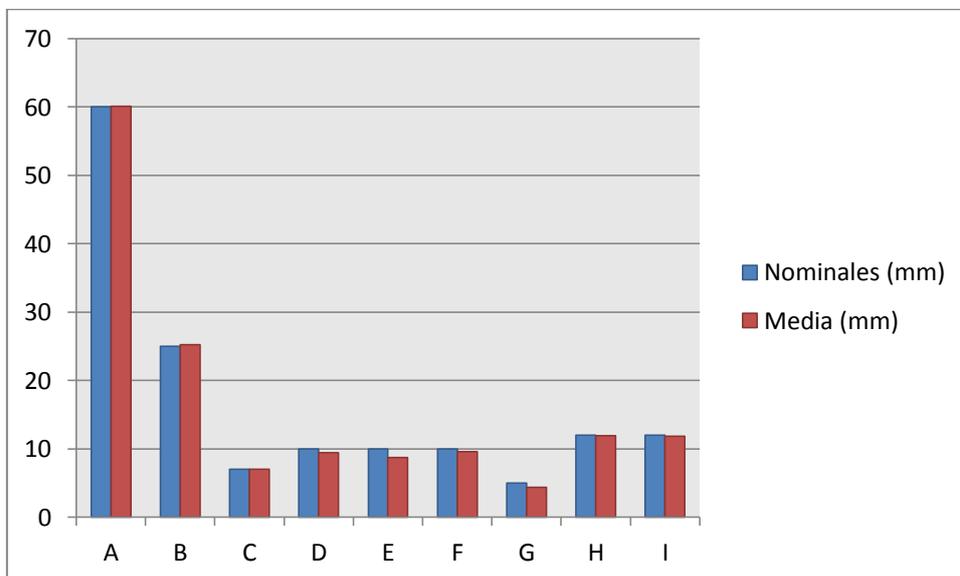
MiniExtruder	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Media (mm)	59,20	24,52	7,14	9,08	9,55	9,20	4,98	12,29	12,16



4.1.2 Wade's Universal.

Medidas reales, (media aritmética en cada punto tras 10 mediciones):

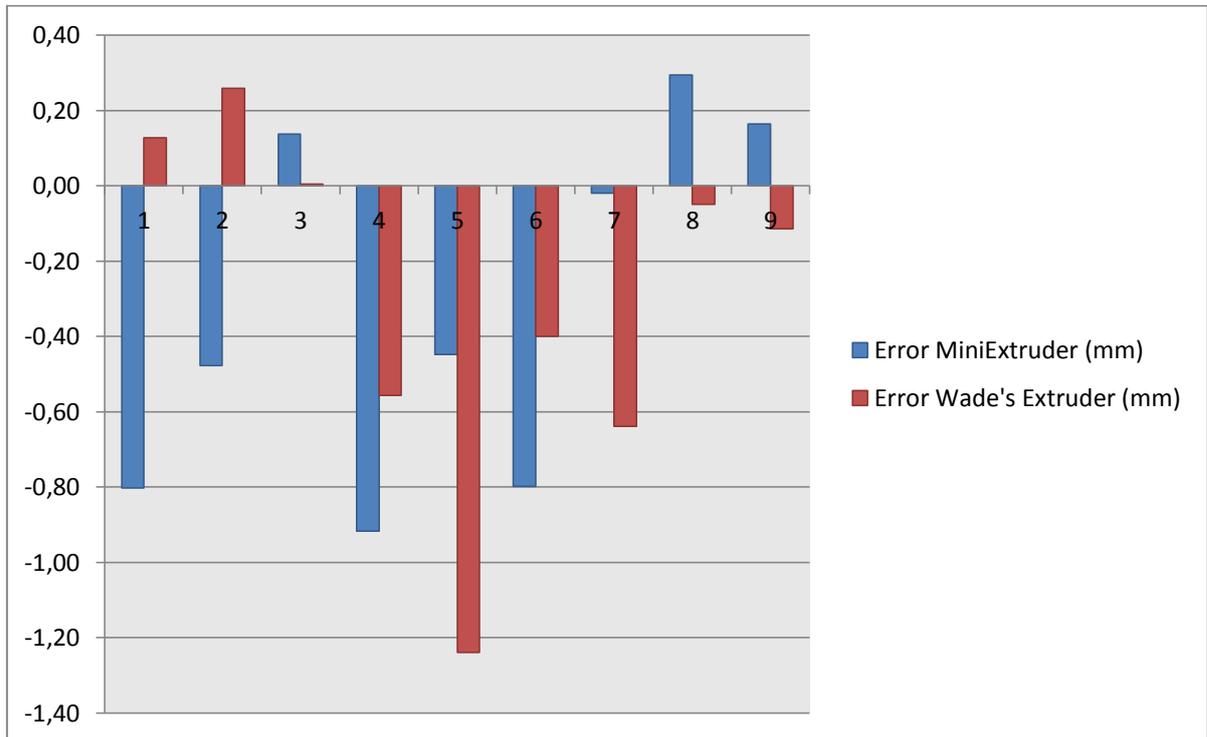
Wade's Extruder	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Media (mm)	60,16	25,26	7,00	9,37	9,08	9,53	4,34	11,96	11,88



4.1.3 Comparación del error medio.

A continuación se adjuntan los valores medios de error en ambos extrusores para todas las medidas tomadas y una gráfica donde se comparan ambos.

MiniExtruder	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Nominales (mm)	60	25	7	10	10	10	5	12	12
Error MiniExtruder (mm)	-0,80	-0,48	0,14	-0,92	-0,45	-0,80	-0,02	0,29	0,16
Error Wade's Extruder (mm)	0,13	0,26	0,00	-0,56	-1,24	-0,40	-0,64	-0,05	-0,11



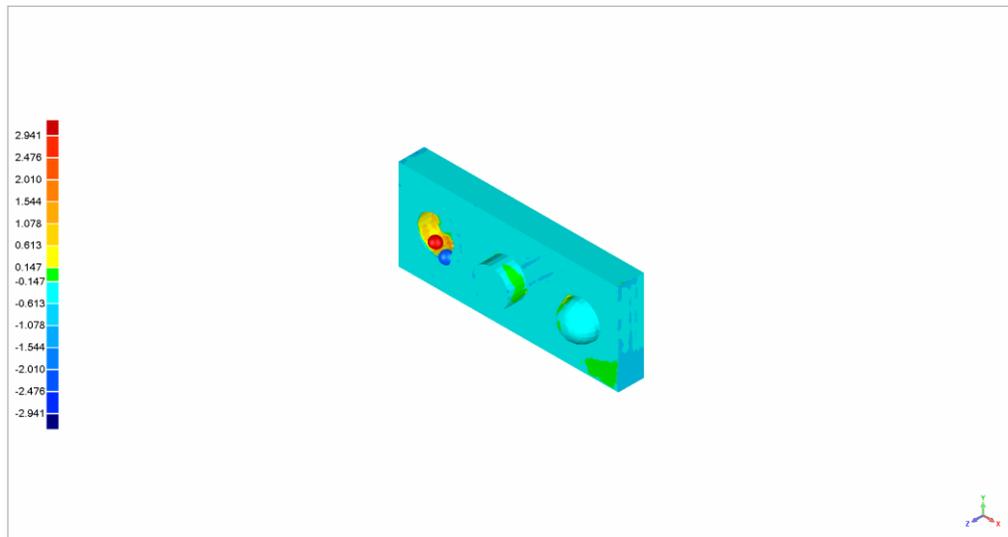
4.2 Digitalización del modelo y comparación frente a CAD.

Seguidamente realizamos una digitalización de las piezas mediante un brazo de medición con cabezal láser, obteniendo una nube de puntos, la cuál tras ser tratada nos da un modelo digital de la pieza real, pudiendo comparar ésta con su modelo CAD.

Con ayuda del Software ‘*Geomagic*’ introducimos ambos modelos y realizamos una comparación, obteniendo las desviaciones entre el modelo escaneado y el real en toda la pieza y en tres secciones relevantes de la pieza, como son cada uno de los objetos geométricos (agujero, cilindro y esfera).

A continuación se muestran los resultados obtenidos tras realizar el estudio. Si se desea revisar el estudio en su totalidad, éste se encuentra en los **ANEXOS 2.2**.

4.2.1 MiniExtruder.



Modelo referencia	PiezaPrueba
Modelo test	MiniExtruder
Nº de puntos de datos	135295
# Aislados	834

4. Estudio de precisión

Tipo tolerancia	3D desviación
Unidades	mm
Máx. crítico	2.941
Máx. nominal	0.147
Mín. nominal	-0.147
Mín. crítico	-2.941

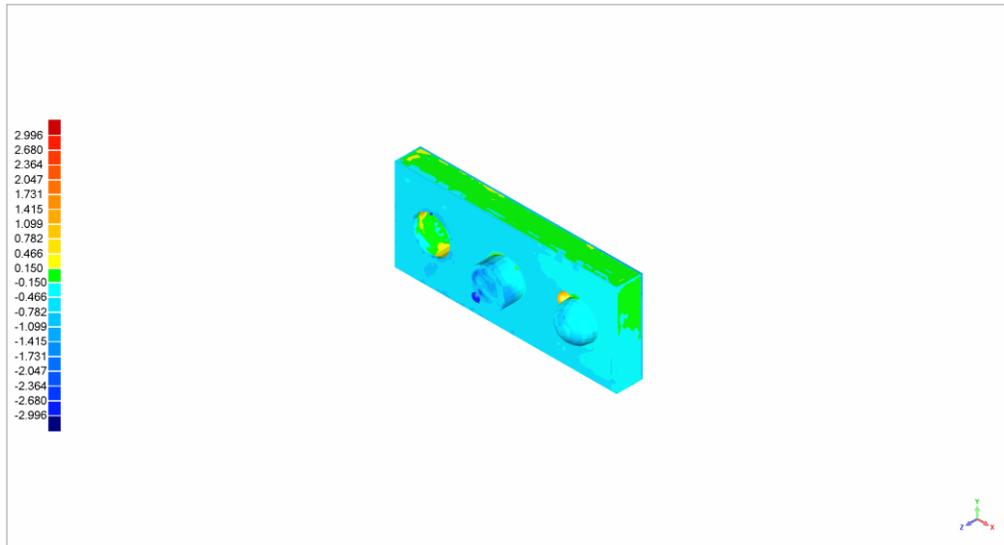
Desviación	
Máx. desviación superior	2.941
Máx. desviación inferior	-2.067
Desviación media	0.315 /-0.384
Desviación estándar	0.188

Estadísticas de alineación:

Error medio: 0.376mm

Longitud máxima del modelo: 59.999mm

4.2.2 Wade's Extruder.



Modelo referencia	PiezaPrueba
Modelo test	Wades
Nº de puntos de datos	112288
# Aislados	1398

Tipo tolerancia	3D desviación
Unidades	mm
Máx. crítico	2.996
Máx. nominal	0.150
Mín. nominal	-0.150
Mín. crítico	-2.996

Desviación	
Máx. desviación superior	1.393
Máx. desviación inferior	-2.996
Desviación media	0.131 /-0.608
Desviación estándar	0.357

Estadísticas de alineación:

Error medio: 0.523mm

Longitud máxima del modelo: 59.999mm

4.3 Conclusiones del estudio.

Tras realizar el análisis y estudiar los resultados obtenidos podemos llegar a una serie de conclusiones y observaciones las cuales se detallan a continuación.

En ambos extrusores tenemos un error medio en torno a 0.5mm, siendo ésta algo inferior en el caso del MiniExtruder ($e=0.376\text{mm}$) y un poco superior en el Wade's Extruder ($e=0.523\text{mm}$).

Ésta desviación es casi constante en toda la pieza, acentuándose en los bordes de las figuras geométricas, especialmente en el agujero y la base superior del cilindro.

En el caso del MiniExtruder se observa un acortamiento de la medida real frente a la nominal en los ejes X e Y, salvo en el eje Z el cual las medidas sobrepasan a las nominales. Las mayores desviaciones se observan en los radios de los elementos geométricos llegando a ser casi de 1mm en algún punto.

Sin embargo en el caso del Wade's Extruder las medidas en X, Y y Z son algo más precisas, sobrepasando éstas su valor nominal; pero encontrándonos también con las mayores desviaciones en los radios de los elementos geométricos. Por contra el ajuste 3D indica un error medio superior al del MiniExtruder, ya que el ajuste de forma es algo más deficiente como se observa en los cortes transversales adjuntos en la memoria.

ANEXO 2.2.

El objetivo de éste estudio es tener una primera aproximación del error medio así como de la resolución que nos da éste equipo. Observando donde y por qué se cometen los mayores errores; para poder trabajar con posterioridad en éste campo; mejorando allí donde sea más necesario, consiguiendo con ello una mayor precisión y resolución de la máquina.

Capítulo 5. Análisis económicos.

5.1 Elección de proveedores y descripción del análisis.

Se ha llevado a cabo un análisis económico del proyecto, el cuál se divide en 2 partes. La primera parte tiene en cuenta los costes iniciales de compra de todo el conjunto como primera adquisición, es decir se compran todos los materiales y piezas imprimibles partiendo de que no se dispone de ninguna de ellas. A ello se debe sumar los gastos de envío y gastos posteriores durante el montaje.

Tras la correspondiente búsqueda y comparación de proveedores, (de los cuales se adjunta una lista con sus catálogos y direcciones en el **ANEXO 3**), optamos por el proveedor RepRap Barcelona, debido a su Precio competitivo, cercanía y posibilidad de adquisición de todo lo que requerimos.

El proveedor elegido es RepRapBCN(*). Es un proyecto de la Fundación CIM de la Universidad Politécnica de Cataluña que tiene como objetivos principales:

- Impulsar la presencia de los sistemas de impresión opensource en España y Europa.
- Hacer avanzar esta tecnología mediante la participación activa en la comunidad que la está desarrollando.
- Formar estudiantes de ingeniería industrial en mecánica, electrónica, materiales y gestión industrial mediante la participación el proyecto.

La cual además de todas éstas actividades suministra lotes cuasi-completos de la máquina (algunas piezas auxiliares y de tornillería no se suministran, así como pegamentos y elementos de unión, los cuales quedan reflejados en el análisis).

La segunda parte del análisis económico se tiene en cuenta que ya se dispone de una máquina completa y funcionando, la cuál puede imprimir partes de la máquina nueva, además de que ya se conoce con precisión toda la tornillería y demás elementos necesarios para el montaje de la máquina (los cuales pueden adquirirse en su gran mayoría sin demasiada dificultad en cualquier ferretería). El objetivo es hacerse una idea del coste aproximado y por tanto del ahorro que supone montar una máquina nueva una vez que ya se dispone de otra.

* <http://www.reprapbcn.com>
<http://reprapbcn.wordpress.com/sobre-reprapbcn/>

5.2 Resultados del análisis.

A continuación se muestra los datos y conclusiones finales del estudio, si se desea consultar más detalladamente se puede acudir al **ANEXO 3** donde se muestra con precisión el desglose de los mismos.

Presupuesto de nueva compra (ANEXO 3.2):

Pedido:	Importe:
Kit piezas completo SLS + MiniExtruder 1.75mm	632.00€
Wade's Extruder SLS completo	98.00€
Material PLA 3Kg	75.00€
Gastos de envío	25.00€
BASE IMPONIBLE:	830.00€

IVA (18%)	149.40€
TOTAL:	979.40€

Presupuesto de duplicación (ANEXO 3.3):

Pedido:	Importe:
Piezas imprimibles	91.25€
Material	75€
Tornillería	152€
Mecánica	104€
Electrónica	181€
TOTAL:	603.25€

Conclusión:

Disponer una máquina en funcionamiento y aprovechando su capacidad de auto-replicancia, además de adquirir por nuestra cuenta en diversos proveedores todos los componentes necesarios para la construcción de una nueva máquina, nos supone un ahorro aproximado de más de 650€ (376.15€ en concreto, basándonos en éste estudio).

Capítulo 6. Aplicaciones y trabajos futuros.

6.1 Aplicaciones.

A continuación se detallan diferentes aplicaciones y usos que pueden dársele a éste proyecto, especialmente en el ámbito docente de la universidad.

- **Prototipado rápido:**

La primera y más directa utilidad es el Prototipado rápido. Debido a que ha sido concebida con éste fin, la convierte en una herramienta muy útil a la hora de la fabricación de prototipos. Los cuales resultan imprescindibles en todas las áreas y departamentos implicados en el diseño y fabricación, tanto en los procesos de producción y departamentos de I+D+I de la empresa privada, como en la universidad; donde se llevan a cabo la investigación y el desarrollo de diferentes máquinas y productos.

- **Impresión de modelos:**

La aplicación consiste en la impresión de modelos, bien a tamaño real o a escala, con el cuál poder realizar un estudio de tensiones, esfuerzos y deformaciones; o bien poder planificar una serie de operaciones que van a ser llevadas a cabo sobre el modelo real.

Un claro ejemplo de esto sería en cirugía interna, neurocirugía o cirugía reconstructiva; en la cuál podría imprimirse el modelo detallado de la zona de intervención del paciente y planificar in situ la posterior operación.

Otra aplicación práctica es la posibilidad de imprimir un conjunto de piezas o maquinaria que deben ser reparadas con una exhaustiva planificación y no se dispone de un protocolo previo de actuación (como en la restauración de antiguas y valiosas piezas de museo, instrumentos o maquinaria).

- **Prótesis:**

Un campo con grandes expectativas de avance gracias a ésta tecnología es en la industria de la fabricación de prótesis. Si bien ésta máquina en concreto no sería la recomendada para fabricar prótesis funcionales, si que podrían usarse como prototipo previo, para comprobar su correcto funcionamiento o que sus propiedades ergonómicas se ajusten a la perfección a la persona que van destinadas, como paso previo a su construcción definitiva.

Éste método sería interesante en reconstrucciones maxilofaciales o implantes bucales; con un ahorro significativo frente a los métodos tradicionales, los cuales se elaboran de una forma bastante artesanal y costosa.

- **Piezas y componentes.**

Ésta máquina resulta muy útil a la hora de la fabricación de piezas o componentes de aparatos o instrumentos, que no requieran soportar grandes esfuerzos, ni requieran muy alta tolerancia dimensional.

Por ejemplo en la fabricación de carcasas o protectores, fijaciones de elementos, estructuras de soporte o utillajes de sujeción para piezas que van a ser medidas con una MMC o tecnología similar.

Gracias a la cual puede imprimirse rápidamente y de forma muy económica, de una manera temporal o definitiva, el componente que mejor se adapte a nuestras especificaciones sin necesidad de recurrir a un taller, simplemente desarrollando el CAD e imprimiéndolo al instante.

- **Ámbito docente.**

En el ámbito docente y de la enseñanza, no solo universitaria sino incluso secundaria, puede ser de gran ayuda ésta máquina para facilitar la comprensión de ciertos aspectos. Pudiendo con ella imprimir modelos en 3 dimensiones que ayuden a la visualización de ciertas piezas, estructuras o moléculas; disponiendo así tanto el profesor como el alumno, de algo tangible con lo que poder hacerse una idea clara de lo que se esta estudiando.

Un ejemplo de ello podría ser en prácticas sobre las que se esta trabajando con piezas de las que no se dispone o estructuras mecánicas a escala, éstas podrían imprimirse y enseñarse a los alumnos.

O en la enseñanza biomolecular, podrían imprimirse moléculas a escala del compuesto a estudio, con lo que los alumnos verían de forma clara su estructura para poder comprender sus propiedades más fácilmente.

Así también en medicina, donde se dispondría de la capacidad de imprimir diferentes partes del cuerpo como articulaciones u otros, si no se dispusiera del modelo anatómico real.

Podrían encontrarse muchas más utilidades que se adapten a las necesidades de cada momento gracias a la versatilidad y bajo coste de la máquina *Prusa Mendel*. Las posibilidades y aplicaciones son inmensas.

6.2 Trabajos futuros.

En éste apartado se detallan una serie de trabajos o tareas futuros que podrían llevarse a cabo para la mejora y ampliación de éste proyecto, las cuales no han sido realizadas debido a que supondría un volumen de trabajo añadido que haría demasiado extenso el proyecto.

- **Caracterización de parámetros y variables:**

Sería interesante hacer un estudio de la influencia y caracterización de todos los parámetros y variables, bien sean controlables desde el software o intrínsecas en la propia fabricación (como la dilatación del material), que influyen en el proceso de impresión, con el fin de conocer a la perfección y mejorar así el proceso de impresión de la máquina.

- **Mejoras:**

Además de las mejoras que ya han sido realizadas en éste proyecto, podrían llevarse a cabo otras con el fin de intentar mejorar la calidad de impresión, reduciendo las tolerancias, el rango de impresión y aumentar la velocidad de la máquina. También podrían añadirse piezas o cambios creados por otros usuarios que resultarían útiles, los cuales están colgados en el portal de *Thingiverse.com* (*).

- **Rediseño de piezas.**

Existen componentes que ya han sido rediseñados, pero quizás otros también deban ser sustituidos o modificados ya que el diseño original no cumple bien con las necesidades. Algunas de estas piezas podrían ser los soportes de la bandeja caliente, mecanismos y ruedas dentadas, poleas de tracción, boquilla extrusora, transmisión de par en el eje Z, etc.

- **Replicación de la máquina.**

Gracias a su capacidad auto-replicante, con ayuda de la guía de montaje (**ANEXO 1**) y basándose en el estudio económico (**ANEXO 3**), sería interesante replicar más máquinas las cuales podrían trabajar en paralelo, replicando aun más máquinas de una forma barata y eficiente. Pudiendo así disponer de una de ellas en cada departamento o área donde fueran requeridas.

*<http://www.thingiverse.com/>

- **Difusión de la tecnología en la universidad.**

En referencia al punto anterior, facilitaría la difusión de la tecnología en la universidad, por lo que sería necesario no solo la construcción de la máquina sino la formación de los usuarios tanto en su montaje y funcionamiento como en sus aplicaciones. Para lo que se dispone de la guía completa de montaje y utilización que se adjunta en el **ANEXO 1**.

- **Diseño de nuevas máquinas.**

Una vez que se conoce y se entiende el funcionamiento de la máquina *Prusa Mendel*, podría diseñarse y construir nuevas máquinas basadas en ésta tecnología pero con otras propiedades o capacidades, ampliando así la propia comunidad *RepRap*(*).

Éstos son algunas de los trabajos inmediatos que pueden llevarse a cabo a partir de éste proyecto, pero las posibilidades son infinitas gracias a la inmensa adaptabilidad de ésta tecnología.

Cualquier cambio, mejora o actualización sería interesante seguir con el espíritu del proyecto y compartirla en portal internacional *RepRap*; brindando así la oportunidad a toda la comunidad de beneficiarse de dichos trabajos, de igual manera que nosotros podemos beneficiarnos de las ya existentes.

*http://reprap.org/wiki/Main_Page

Capítulo 7. Conclusiones.

El presente proyecto nos proporciona una herramienta muy útil en el campo del Prototipado rápido de bajo coste, además de en otra serie de aplicaciones antes mencionadas. Gracias a su disponibilidad una vez realizado el mismo, ya que la máquina se encuentra completamente operativa y su sencillez de manejo; dicha tecnología puede empezar a ser útil desde el momento actual.

Si bien es cierto, que pueden realizarse todavía muchas mejoras y trabajos sobre ella, con el fin de mejorar sus características y conocer mejor el proceso de impresión para poder así controlarlo de una manera más eficiente.

Esto es posible gracias al enorme esfuerzo llevado a cabo durante el desarrollo del proyecto; tanto en lo concerniente al montaje de la máquina, de la cual había una información bastante deficiente en algunos puntos, lo que producía interrupciones en el proceso; para evaluar, desarrollar y finalmente poner a prueba las alternativas o soluciones en dicho punto, de manera que futuros usuarios no deban enfrentarse a éstos problemas nuevamente.

Lo mismo ocurre, en cuanto a la recopilación de toda la información necesaria para su desarrollo; como búsqueda de proveedores, material auxiliar, componentes electrónicos o instalación del firmware y software; así como la familiarización y utilización del mismo. Ya que al no ser un producto comercializado por una empresa, no se dispone de manual de uso ni guía de ningún tipo, salvo pequeños retazos inconexos colgados en la red por multitud de usuarios, no todos ellos correctos.

Es por ello que se creyó altamente recomendable la creación de la guía completa de montaje y utilización para que dicho problema quedara sufragado y futuros usuarios no debieran enfrentarse de nuevo a tan laborioso trabajo.

Además se ha llevado a cabo un estudio de precisión sobre piezas impresas; principalmente para hacer una primera valoración del rango en que trabaja la impresora y poder catalogarla, conociendo así sus limitaciones a la hora de llevar a cabo posibles trabajos. Pero además para conocer sus limitaciones y errores de manera que éstos puedan ser mejorados o eliminados en posteriores trabajos relacionados con ésta máquina.

Finalmente y también de gran importancia; se ha hecho un análisis económico del proyecto. Esto es importante ya que la característica principal de la máquina a parte de su bajo precio es su capacidad para replicarse. De manera que es muy importante hacer una comparación del precio de nueva compra y de replicancia de la máquina, con el fin de poder disponer de más impresoras allí donde sean necesarias por un precio considerablemente menor al original. Como hemos observado el ahorro económico es bastante elevado, siendo del orden de una tercera parte inferior al precio de primera

compra; lo que reduce aún más su bajo coste en comparación con otras tecnologías de Prototipado rápido existentes.

Como conclusión final cabría decir que la tecnología de Prototipado rápido o impresión 3D, lleva algunos años instaurada a nivel industrial y cada vez esta más presente en diversos sectores de la empresa, sobre todo en lo referente al diseño industrial.

Gracias al '*Proyecto RepRap*'(*), dicha tecnología esta siendo instaurada en otros ámbitos diferentes a los que venían siendo los habituales, dando a conocer al gran público una manera diferente de fabricación o impresión de la que estamos familiarizados. Pudiendo disponer de ésta tecnología a nivel doméstico de una forma relativamente barata y sencilla.

Con éste proyecto hemos pretendido mejorar de forma significativa lo relativo a la organización, planificación y desarrollo del proceso de adquisición, montaje y puesta a punto de una impresora 3D '*Prusa-Mendel*'; pero sobre todo abrir las puertas a dicha tecnología de bajo coste al ámbito docente y en concreto a la Universidad de Zaragoza, dotando a ésta de una herramienta muy útil, con un amplio abanico de posibilidades; así como la posibilidad de crear futuras líneas de investigación, desarrollo e innovación a partir de éste punto para una constante mejora y difusión de la tecnología.

Para finalizar, la valoración personal del proyecto; el cuál me ha resultado muy interesante y satisfactorio de llevar a cabo, si bien es cierto que en algunos puntos podía resultar frustrante, ya que se debía trabajar en campos muy dispares como mecánica, electrónica o programación; con a veces poca o ninguna información al respecto. Debiendo llevar a cabo soluciones o mejoras a los múltiples problemas que iban surgiendo durante su desarrollo; pero el hecho de trabajar sobre un objeto físico, hace que puedas seguir día a día su evolución hasta su conclusión final, lo que produce una gran alegría y satisfacción.

Espero que gracias a ésta aportación, la tecnología sea útil en la universidad y su difusión lleve a una mejora tanto a nivel académico como en futuros proyectos o investigaciones.

Además éste proyecto me ha permitido la posibilidad de conocer el '*Proyecto RepRap*' a fondo, el cual va creciendo y extendiéndose a nivel mundial y de el cual he podido formar parte de su amplia y variada comunidad, trabajando y resolviéndonos dudas; y a la cuál espero poder seguir siendo útil en un futuro; para poder así entre todos, conservar el espíritu del proyecto y poder seguir creciendo y mejorando día a día.

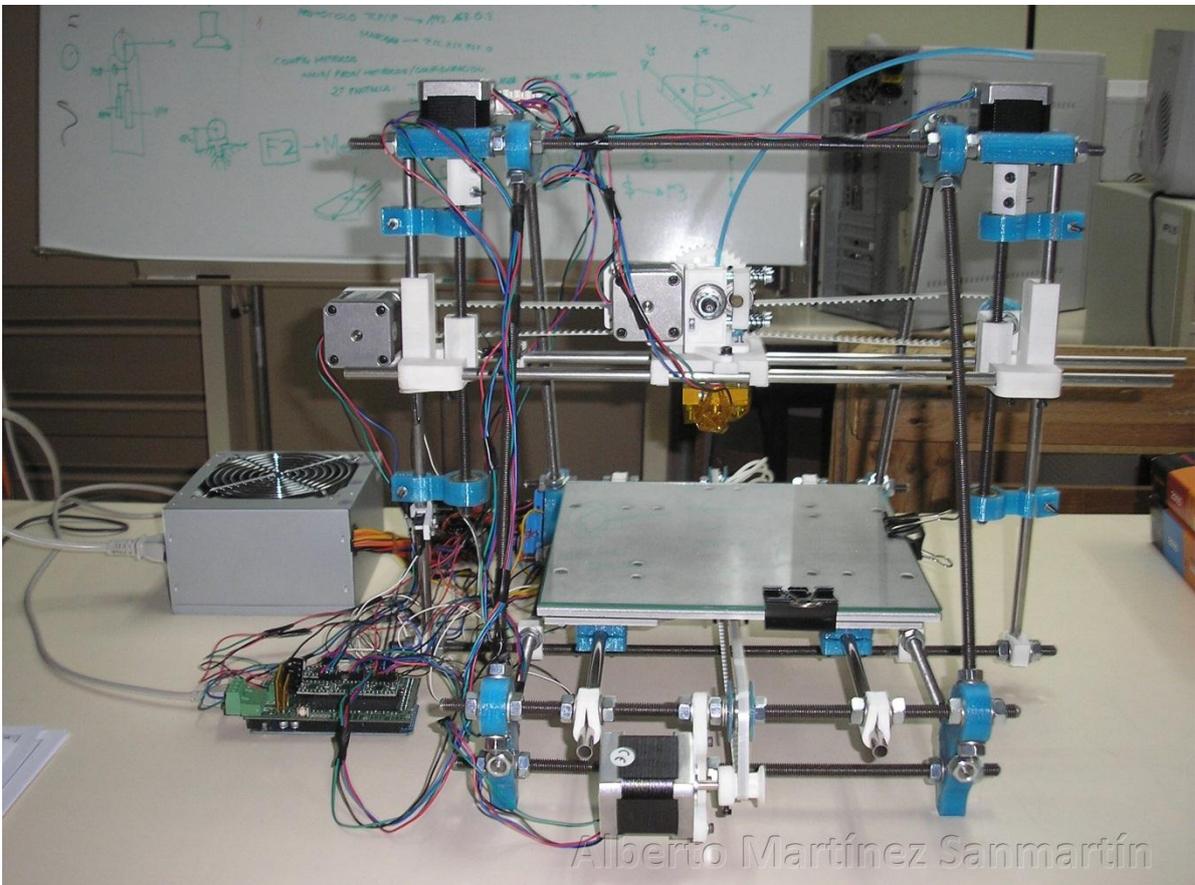
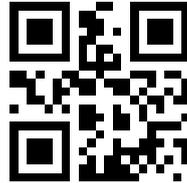
* http://reprap.org/wiki/Main_Page

ANEXOS

ANEXO 1

Guía de montaje

Guía de montaje: Máquina de Prototipado Rápido auto-replicante 'Prusa-Mendel'



Martínez Sanmartín, Alberto

ÍNDICE

Introducción y guía de consulta del manual.....	1
Lista de materiales imprimibles.....	2-3
Lista de materiales no imprimibles.....	4-8
Lista de materiales: Wade's Extruder.....	9-11
Lista de materiales: MiniExtruder.....	11
Herramientas auxiliares.....	12
Guía de montaje.....	13-78
PARTE 1- Ensamblaje de la estructura triangular.....	13-15
PARTE 2- Barras roscadas transversales frontales.....	16-18
PARTE 3- Barras roscadas transversales traseras.....	19-20
PARTE 4- Barras roscadas transversales superiores.....	21-22
PARTE 5- Ajuste de la estructura.....	23-25
PARTE 6- Ensamblaje eje Y.....	26-29
PARTE 7- Ensamblaje eje X.....	30-31
PARTE 8- Ensamblaje eje Z.....	32-36
PARTE 9- Ensamblaje carro X.....	37-39
PARTE 10- Electrónica.....	40-43

PARTE 11- Ensamblaje cama caliente.....	44-47
PARTE 12- Finales de carrera.....	48
PARTE 13- Montaje Wade's Extruder.....	49-55
PARTE 14- Montaje MiniExtruder Universal.....	56-62
PARTE 15- Conexiones eléctricas.....	63-67
PARTE 16- Firmware y Software.....	68-71
PARTE 17- Puesta a punto y calibración.....	72-75
Guía de impresión.....	76-78
Tabla de tiempos de montaje.....	79-80

INTRODUCCIÓN Y GUÍA DE CONSULTA DEL MANUAL

En éste manual se detalla como realizar el montaje de una impresora '*Prusa-Mendel*' de manera inequívoca tanto de sus piezas, electrónica, conexiones eléctricas, drivers del software, programas requeridos; como de las instrucciones para su correcto calibrado y puesta a punto.

Se presentará en cada punto las alternativas básicas con las piezas disponibles, así como posibles mejoras técnicas tanto desde el punto de vista del diseño como de la fabricación o del proceso mismo de montaje.

Primeramente nos encontraremos con una lista detallada de todas las piezas imprimibles requeridas y de las "vitaminas" o piezas no imprimibles (como la tornillería o motores). Así como las herramientas que serán necesarias durante el proceso de montaje.

Si bien no es necesario en todo momento tener todo disponible; si que es recomendable poder tener acceso a él de manera rápida.

En la segunda parte se detalla paso a paso todo el proceso de montaje, instalación y calibrado de la máquina, con una explicación a la que se adjuntan diagramas y fotos para facilitar el proceso y poder realizarlo de manera sencilla.

Las piezas imprimibles usadas en cada apartado aparecen subrayadas de manera que sean rápidamente identificables.

Hay diferentes versiones y alternativas de montaje, las cuales están detalladas en el punto en el cuál existe la divergencia. El proyecto Reprap es muy amplio y sería imposible detallar aquí todas las variantes posibles, así que solo hemos incluido algunas de las cuales nos parecían más importantes desde el punto de vista técnico.

Al final del manual hay una breve explicación del proceso de impresión. Dicho punto no está ampliamente detallado ya que hay infinidad de programas y software diferentes para realizar éstas tareas, pero se indican las pautas universales a seguir desde el modelado en 3D de la pieza, hasta su impresión.

Por último se adjunta una tabla de tiempos aproximados de montaje de cada apartado así como del total; de manera que el usuario pueda realizar una planificación orientativa del tiempo, en función del progreso del proyecto y del tiempo restante para su finalización.

Cabe destacar que éste tiempo dependerá de muchos factores, entre ellos si es la primera vez o no que se monta una máquina similar, o la familiarización que tiene el usuario con la electrónica, software, etc.

LISTA DE MATERIALES IMPRIMIBLES

Cantidad	Descripción	Tipo	Comentarios	Diagrama
2	Acoplamientos	RP		
3	Soportes para final de carrera	RP		
1	Carro X	RP		
1	Fin eje X	RP		
1	Fin eje X con motor	RP		
1	Soporte motor Y	RP		
2	Soportes motor Z	RP		
4	Abrazaderas de la correa	RP		

8	Abrazaderas de barras	RP		
2	Soportes de barras	RP		
2	Engranaje para motor	RP		
4	Vértices del bastidor con pie	RP		
2	Vértices del bastidor	RP		
12	Cojinetes	RP-PLA	Chequee su fichero de construcción, el fichero puede crear entre 4 y 12	

LISTA DE MATERIALES NO IMPRIMIBLES

Requeridas

Cantidad	Descripción	Tipo	Comentarios
83	M8 tuercas	Cierre	Compre un paquete de 100 para estar seguro.
93	M8 arandelas	Cierre	Compre un paquete de 100 para estar seguro.
6	M8×30 arandelas	Cierre	Usadas como guía de las correas.
2	M4×20 tornillos	Cierre	Para montar la extrusora
2	M4 tuercas	Cierre	Para montar la extrusora
2	M4 arandelas	Cierre	Para montar la extrusora
22	M3×10 tornillos	Cierre	
16	M3×25 tornillos	Cierre	U ocho M3 x 25 tornillos, además de ocho tornillos M3x20. Los tornillos M3x25 son demasiado largos para la el reciente soporte del motor z de Prusa, las pinzas de la barra y también para los acoplamientos del motor Z. Vea la Sección 8, los pasos 4 y 13 para más detalles.
4	M3×40 tornillos	Cierre	
70	M3 arandelas	Cierre	
40	M3 tuercas	Cierre	Opcionalmente 8 tuercas de seguridad / autoblocantes / nyloc

3	608 rodamiento	Rodamientos	Rodamientos usados en patines
4	Muelles de bolígrafos	Muelles	Para ajustar los tornillos M3. Los bolígrafos son una fuente común y barata de muelles adecuados. Con cerca de 25 mm de largo y 10 mm comprimidos.
6	M8×370mm	Varilla roscada	3 por cada lado. Nota: Las varillas roscadas se pueden adquirir en trozos 6x1m (véase el Corte auto-roscado de la barra, más abajo).
4	M8×294mm	Varilla roscada	Frontal / trasera.
3	M8×440mm	Varilla roscada	Parte superior / inferior.
2	M8×210mm	Varilla roscada	Sistema de subida / bajada del eje Z
1	M8×50mm	Varilla roscada	O tornillo M8x30 o mayor para la polea del eje X. Cuidado: si el tornillo es demasiado largo puede no roscar lo suficiente a lo largo de toda la varilla.
2	8mm×420mm	Varilla lisa	Barra X Nota: Se recomiendan de Acero inoxidable 304 o Acero A2 para las barras lisas, ya que puede ayudar a prevenir la fricción contra el óxido, además de fábrica vienen con una menor desviación. Los problemas de oxidación se pueden prevenir en las barras de acero normal, manteniendo una capa de aceite. Las barras lisas también se pueden cortar en trozos más grandes de 3x1m (ver Orden de corte lisos barra más abajo).
2	8mm×406mm	Varilla lisa	Barra Y

2	8mm×350mm	Varilla lisa	Barra Z
1	225mm×225mm	Bandeja	Bandeja de aluminio, con taladros para sujeción.
1	140mm×225mm Plataforma inferior de impresión	Bandeja	Bandeja de aluminio de sujeción de cama caliente, con agujeros para atornillarla.
1	840mm×5mm T5 correa de transmisión	Correas	Eje Y
1	900mm×5mm T5 correa de transmisión	Correas	Eje X
5	NEMA 17 Motor bipolar paso a paso	Motor paso a paso	Asegúrese de obtener al menos 20mm de longitud del eje. Ejes más cortos requieren modificaciones del ensamblaje de la polea en X y acoplamientos del motor en Z. Uno de los cinco motores, usado con la extrusora, debe ser capaz de crear un par fuerza de por lo menos 40Ncm.
50	Cable pequeño	Miscelánea	
1	<u>Wade's Geared Extruder</u>		Para filamento de 1.75mm <u>RepRap Universal Mini Extruder</u> ; u otro compatible.
1	Electrónica + finales de carrera		Puede ser <u>RAMPS</u> , <u>Sanguinololu</u> , <u>Gen6</u> , <u>Gen7</u> , <u>Gen3</u> , u otro compatible. Finales de Carrera ópticos, o micro-interruptores (Recomendados), se necesitan 3, uno por cada eje (X,Y,Z).

Opcional

Cantidad	Descripción	Tipo	Comentarios
3	30mm×10mm Optoflags	Lámina delgada	Si usas opto endstops
2	Muelles ID 8mm ID	Muelles	Para eliminar movimiento eje Z
1	Objeto de sujeción de 290mm		Para alinear el marco



- **Encargo de corte de las varillas de auto-roscado:**

Corte de auto-roscado de las varillas roscadas (corte en longitudes de 1mm):

Requeridas: 6x1m Longitud 8mm varillas roscadas (o 5x1m piezas + 1x50cm pieza)

Barra 1: 370mm, 210mm, ~50mm (El final de la ultima pieza será algo más corto de 50mm)

Barra 2: 370mm, 210mm, ~50mm

Barra 3: 370mm, 294mm, ~42mm (Tornillo más largo)

Barra 4: 370mm, 294mm, ~42mm

Barra 5: 440mm, ~120mm

Barra 6: 440mm

- **Encargo de corte de varillas lisas** (corte en longitudes de 1mm):

Requeridas: 3x1m Long 8mm Varillas lisas de acero inoxidable

Barra 1: 420mm

Barra 2: 406mm

Barra 3: 350mm

LISTA DE MATERIALES: WADE'S EXTRUDER

Imprimibles

Cantidad	Descripción	Tipo	Comentarios	Diagrama
1	Cuerpo extrusor	RP	File:M8 Extruder 3.zip	
1	Tapa extrusor	RP	File:M8 Extruder 3.zip	
1	Polea engranaje extrusor	RP	File:M8 Gears.zip	
1	Rueda extrusor	RP	File:M8 Gears.zip	

No imprimibles

Cantidad	Descripción	Tipo	Comentarios
Alimentación			
2	Rodamientos 608	Rodamientos	Usados en patines
1	M8x50 perno	Tonillo	Zona moleteada en el centro
1	M8 tuerca	tuerca	
4-5	M8 arandelas		

Cuerpo			
1	Rodamientos 608	Rodamientos	Usados en patines
1	(M)8x20	Tornillo	
4	M4x60 o M4x45	Tornillo	Cabeza Hexagonal
4	M4 tuerca	Tuerca	
8	M4 arandela	Arandela	
4	~4mm ID muelle	muelle	De tamaño para adaptarse a un tornillo M4, de unos 10-12mm de longitud. Proporcionando cada uno unos 25-35N de carga.
16	M4 arandela	arandela	
Boquilla caliente			
2	M3x35	Tornillos	
4	M3 arandela	Arandelas	
2	M3 tuerca	Tuercas	
1	2.5mm taladro		Para taladrar la boquilla caliente en caso de no venir fabricada.

Sujeción del motor			
3	M3x10 tornillo	Tornillos	Mejor tornillos sin cabeza.
3	M3 arandela	Arandelas	
1	M3 prisionera	arandela	Para asegurar la polea, de unos 8mm de larga, si no se dispone de 6 mm también esta bien.
1	M3 tuerca	tuerca	Para asegurar la polea.
Motor paso a paso			
1	NEMA 17 bipolar paso a paso	Motor	
Extruder Mount			
2	M4x20 tornillo	Tornillos	O varillas roscadas
2	M4 tuerca	tuercas	
2	M4 arandela	Arandelas	

Lista de materiales: Miniextruder.

Para la lista de piezas y descargar las partes del Miniextruder Universal, se puede consultar la siguiente página:

http://reprap.org/wiki/RepRap_Universal_Mini_Extruder#Bill_of_materials

HERRAMIENTAS AUXILIARES

A continuación se detallan una serie de herramientas e instrumentos que son necesarias para el montaje de la máquina.

Juego de llaves Allen.

Llaves fijas de diferentes medidas así como llave inglesa.

Juego de destornilladores.

Tijeras y pelacables.

Alicates.

Instrumentos de medición (metro y pie de rey).

Limas (a poder ser redondas y de pequeño tamaño).

Pegamento. (Recomendado pegamento resistente a vibraciones que no sea líquido, como el usado en modelismo).

Cinta aislante.

Cinta Kapton.

Cúter o instrumento de corte.

Soldador y estaño.

Cable.

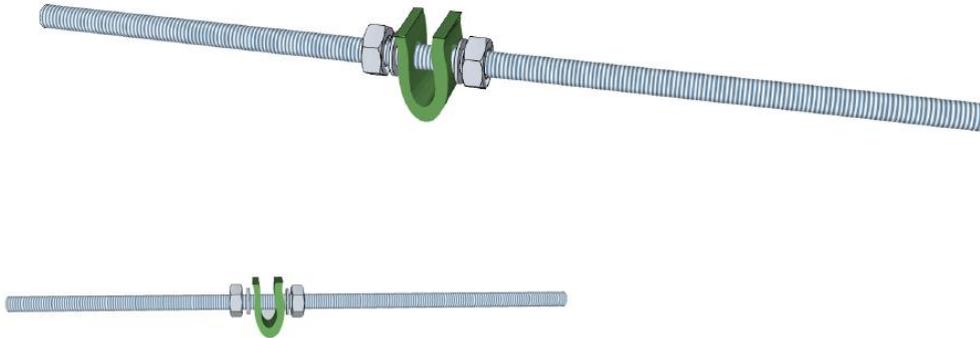
Es recomendable tener acceso a un taladro de pequeño diámetro ya que puede ser necesario realizar algún taladro.

PARTE 1: ENSAMBLAJE DE LA ESTRUCTURA TRIANGULAR

NOTA: Éste proceso puede hacerse por duplicado ya que es necesario montar dos triángulos iguales.

1: Tomamos una varilla roscada de 370mm e insertamos en su parte central la Abrazadera de la barra, con una arandela M8 en cada lateral.

A continuación roscamos por cada extremo una tuerca M8 sin llegar a apretar fuertemente (ya ajustaremos más adelante).

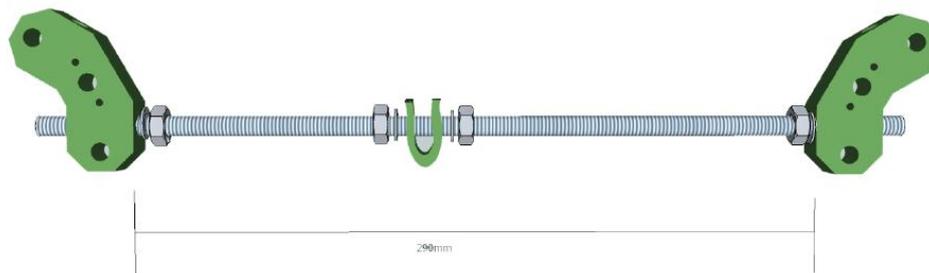


2: Procedemos al montaje de las patas, para lo cual roscamos en cada extremo de la barra una tuerca M8 seguida de una arandela M8.



Introducimos los Vértices del bastidor con pie en cada extremo utilizando los agujeros inferiores (mas cercanos a las patas) dejando las patas orientadas hacia abajo; quizás sea necesario roscarlas, o bien ampliar previamente el agujero pasante, para facilitar el montaje. Introducimos por cada extremo una arandela M8 seguida de una tuerca M8.

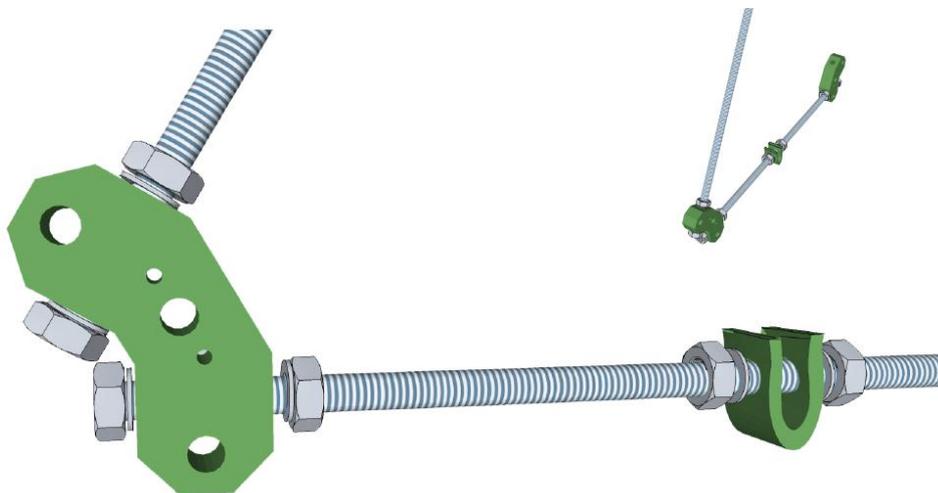
No es necesario ajustar fuertemente las tuercas en este paso, pero si asegurarnos que ambas piezas quedan distanciadas entre sí a unos 290mm.



3: Tomamos 2 varillas roscadas de 370mm, e introducimos por cada uno de sus extremos una arandela M8 y seguidamente roscamos una Tuerca M8.

Introducimos las varillas en los Vértices del bastidor con pie y sujetamos con una arandela M8 seguida de una Tuerca M8.

Procuramos obtener un triángulo equilátero, para facilitar el posterior montaje.



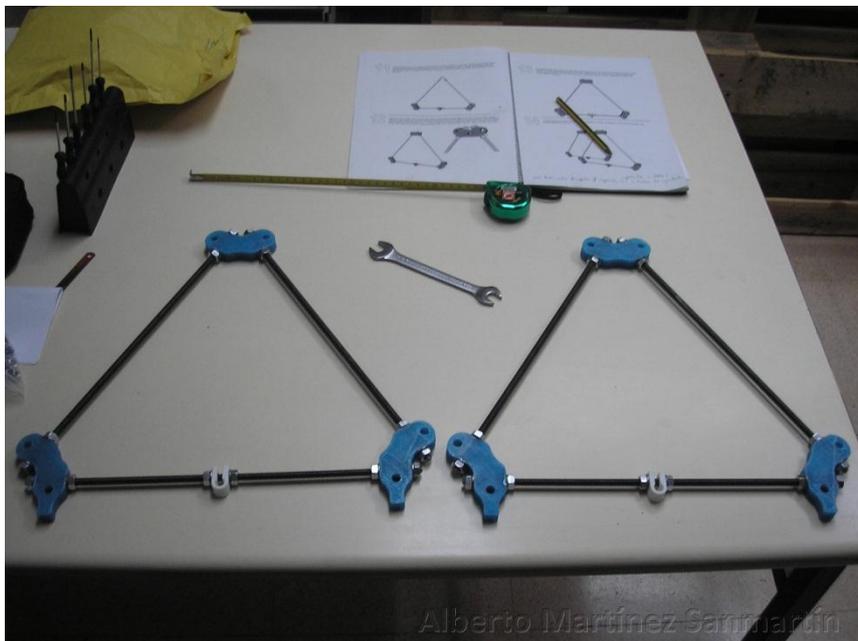
4: Completamos el triángulo con el Vértice superior bastidor sujetándolo nuevamente cada extremo con una Arandela M8 y roscando una Tuerca M8.

NOTA: Éste paso puede ser complicado si no están las varillas perfectamente simétricas, se recomienda roscar primero una varilla y después la otra o bien ampliar los agujeros pasantes para facilitar la entrada de la varilla.



5: Comprobar y ajustar para que los 3 lados del triángulo midan 290mm, una vez comprobado ya podemos proceder a ajustar fuertemente las tuercas para mantener las piezas en su sitio (menos las de la pinza central de la barra).

NOTA: Las piezas que estamos sujetando son de plástico, así que no ejercer demasiada fuerza al apretar ya que pueden romperse con facilidad.



PARTE 2: BARRAS ROSCADAS TRANSVERSALES FRONTALES

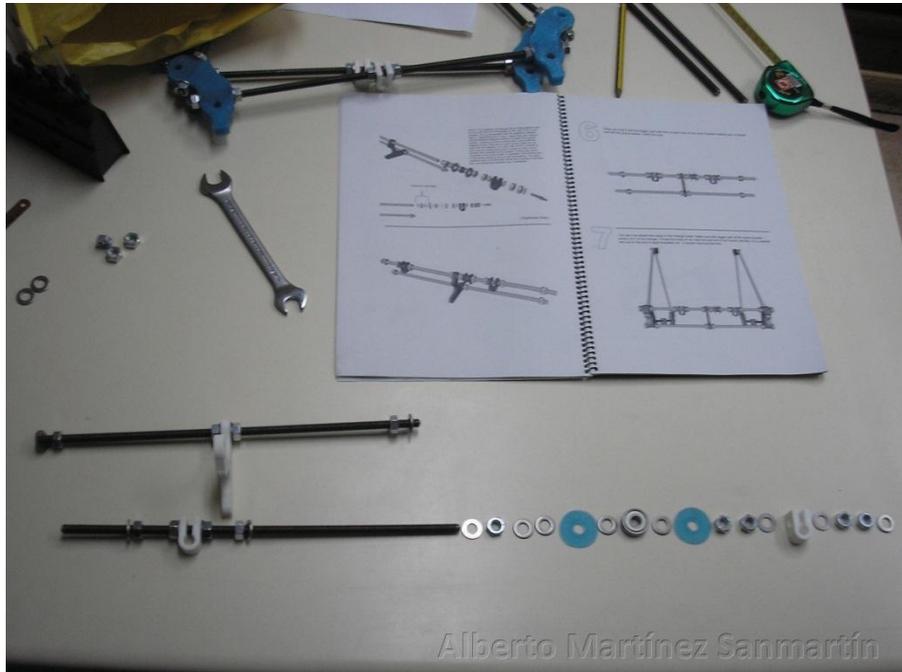
1: Tomamos una varilla roscada de 294mm, la introducimos por el agujero inferior del Soporte motor Y hasta su parte central y sujetamos, sin apretar fuertemente todavía, por ambos lados con una arandela M8 seguido de una tuerca M8. Colocamos en cada extremo de la varilla una tuerca M8 seguido de una arandela M8.



2: Ahora necesitamos otra varilla roscada de 294mm; e introducimos por el lado izquierdo las siguientes piezas en este orden: Arandela M8, 2 tuercas M8, Arandela M8, Abrazadera de la barra, arandela M8, 2 tuercas M8, arandela M8.



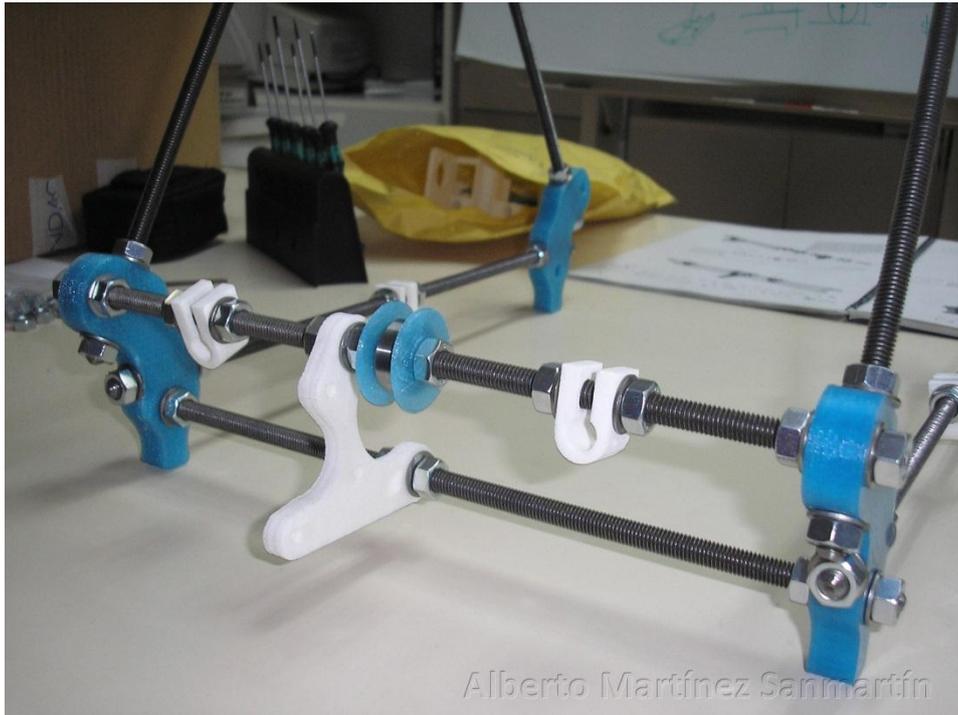
3: Introducimos la varilla por el lado derecho, en el agujero superior de la pieza Soporte motor Y. Ahora introduciremos por el lado derecho las siguientes piezas en este orden: arandela M8; Tuerca M8, 2 arandelas M8; Disco Tope correa, arandela M8; rodamiento 608, arandela M8, Disco Tope correa, 2 tuercas M8, arandela M8; Abrazadera de la barra; arandela M8; 2 tuercas M8; arandela M8.



4: Montamos todo como indica en la figura, sin ajustar todavía fuertemente ya que no sabemos aún su posición final.



5: Encajamos ambas varillas en la parte frontal inferior de las estructuras triangulares, introducimos en cada extremo una arandela M8 y una tuerca M8.



PARTE 3: BARRAS ROSCADAS TRANSVERSALES TRASERAS

1: Tomamos una varilla roscada de 290mm, a la que introducimos por cada extremo una tuerca M8 y una arandela M8. Reservamos este montaje para más adelante.

2: En la otra varilla roscada de 294mm, introducimos por el lado izquierdo las siguientes piezas en este orden: rodamiento 608; arandela M8, Disco Tope correa, 2 tuercas M8, arandela M8, Abrazadera de la barra, arandela M8, 2 tuercas M8, arandela M8.



3: Por el lado derecho de la misma varilla introducimos: arandela M8; Disco Tope correa, 2 tuercas M8, arandela M8, Abrazadera de la barra, arandela M8, 2 tuercas M8, arandela M8.



4: Ajustamos, sin apretar fuertemente todavía las piezas como se muestra en la figura.



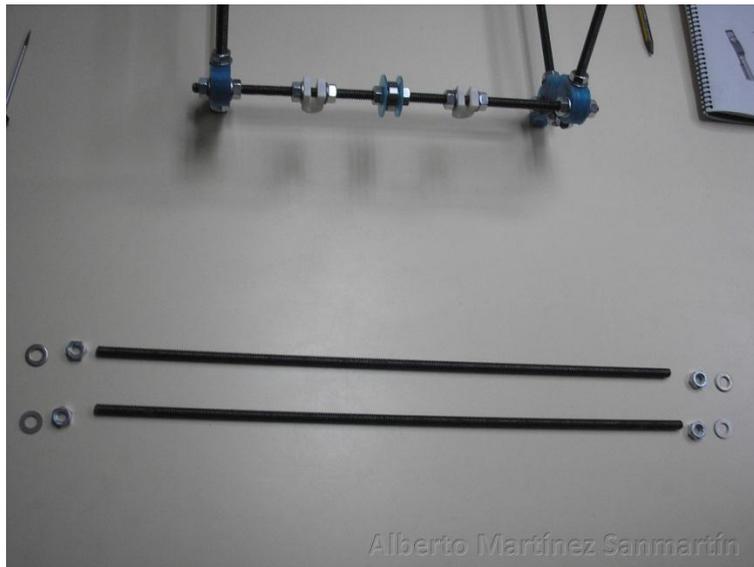
5: Ajustamos ambas varillas en la parte trasera inferior de las estructuras triangulares, introducimos por cada extremo de las varillas una arandela M8 y una tuerca M8.



PARTE 4: BARRAS ROSCADAS TRANSVERSALES SUPERIORES

NOTA: Puede ser necesario roscar las varillas en los agujeros pasantes de los Vértices superiores bastidor así como de los Soportes Motor Z. Para facilitar estos pasos pueden ampliarse los agujeros ayudados de una lima manual.

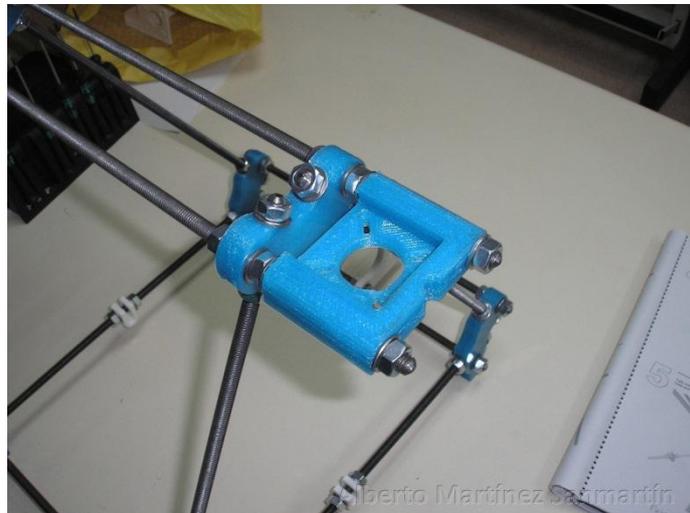
1: Tomamos las 2 varillas roscadas de 490mm y las introducimos por los agujeros de la pieza superior de la estructura, introducimos por la parte interna una arandela M8, una tuerca M8 y en el extremo una tuerca M8 seguida de una arandela M8.



2: Introducimos los extremos de las varillas por los agujeros de las piezas del lado opuesto, seguidamente en cada uno de los 4 extremos colocamos una arandela M8, una tuerca M8 y otra arandela M8. Centramos las varillas como se muestra en la figura.



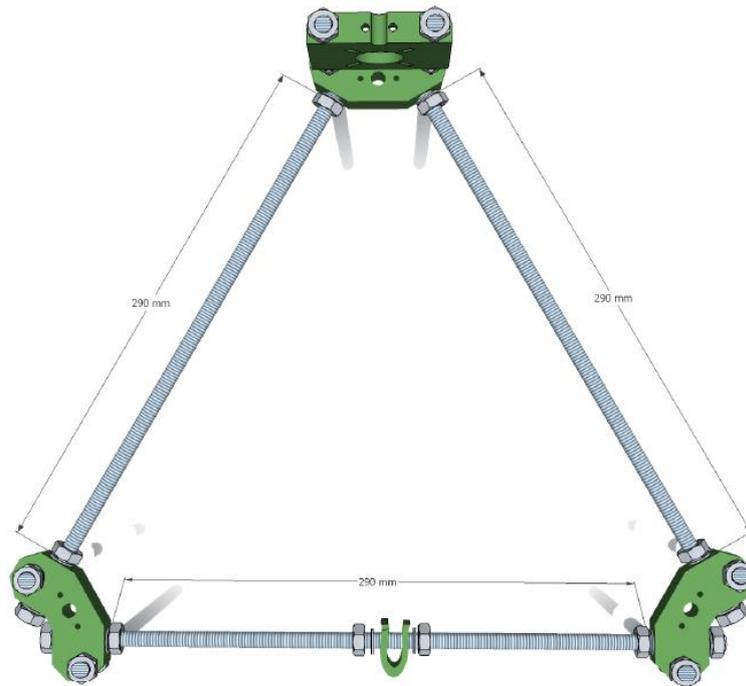
3: Colocamos en cada extremo el Soporte Motor Z, asegurándonos que está en el lado correcto (mirar figura), y fijar cada extremo con una arandela M8 seguido de una rosca M8.



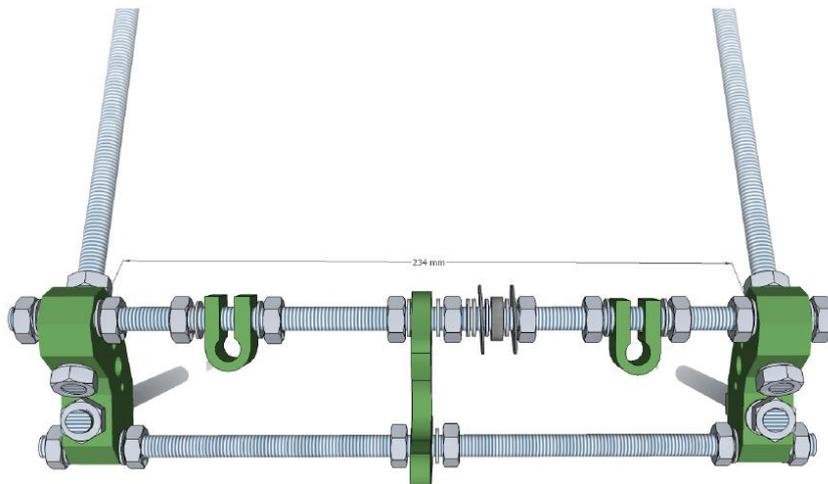
PARTE 5: AJUSTE DE LA ESTRUCTURA

NOTA: Ahora procedemos a ajustar la estructura y apretar las tuercas, importante recordar que estamos apretando sobre plástico por lo que una fuerza excesiva puede fracturarlo con facilidad, así que se recomienda roscar con *cuidado*

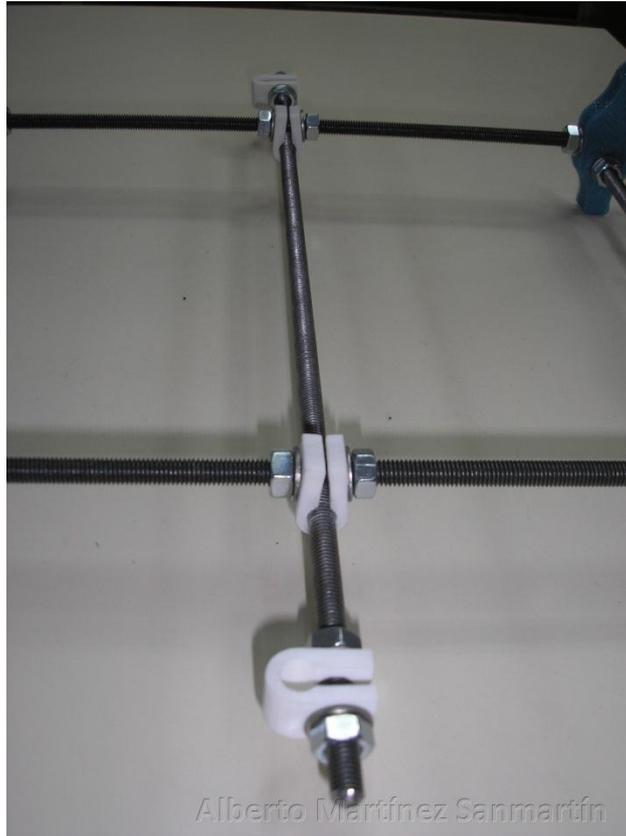
1: Verificamos que cada lateral de la estructura triangular mida 290mm de lado entre los extremos internos de las piezas de los vértices, como se muestra en la figura. Apretamos las tuercas convenientemente.



2: Ajustamos la distancia frontal entre los laterales triangulares a 234mm, tanto en las varillas frontales como traseras y superiores. Apretamos las tuercas hasta que la estructura quede sólida.



3: Introducimos la varilla roscada de 440mm en las Abrazaderas de la barra y por cada extremos una tuerca M8, arandela M8, Abrazadera de la barra, arandela M8 y tuerca M8. Nuevamente no roscamos fuertemente de momento las tuercas.

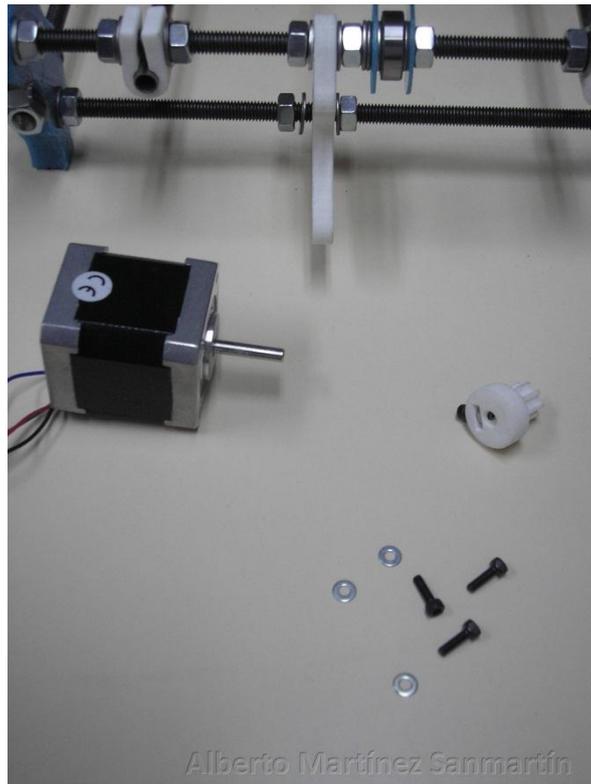


4: Introducimos una tuerca M3 en el interior de la Polea engranaje Y y roscamos un tornillo M3.

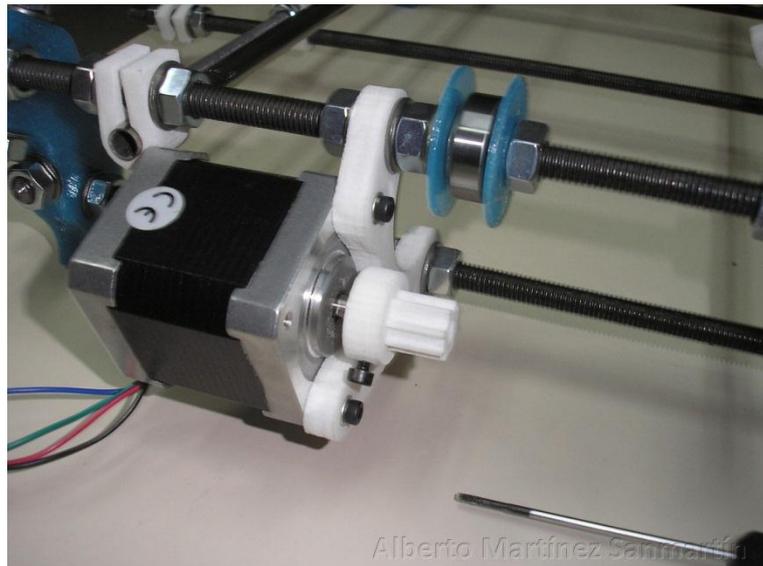


NOTA: La opción de la derecha es el nuevo diseño de la Polea engranaje Y, más duradera y con tope para evitar que se escape la correa. Mejor utilizar ésta segunda opción.

5: Colocamos el Motor NEMA 17 en su sitio (el eje motor en el lateral del rodamiento) y lo fijamos con 3 arandelas M3 y 3 tornillos M3.

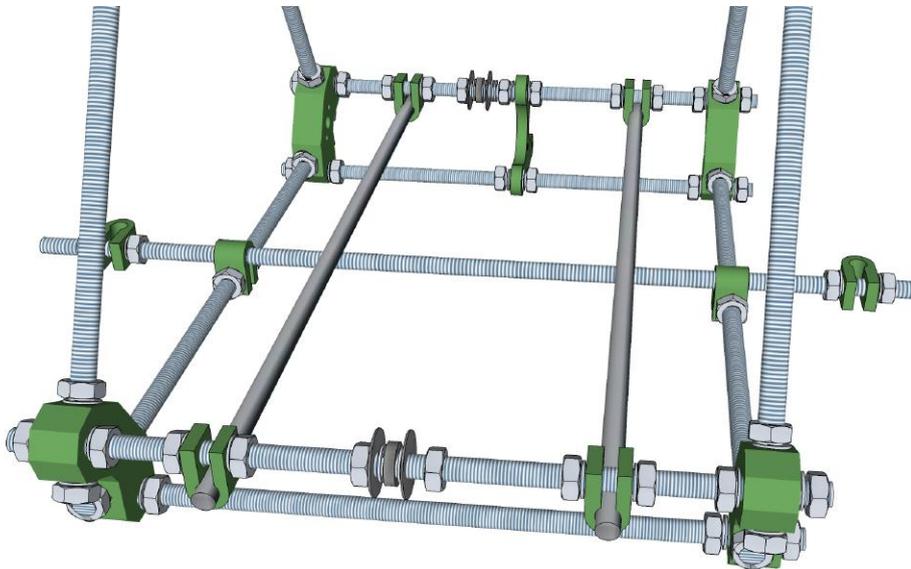


6: Introducimos la polea en el eje motor, y roscamos el tornillo al eje haciendo coincidir el tornillo con el rebaje del eje motor.



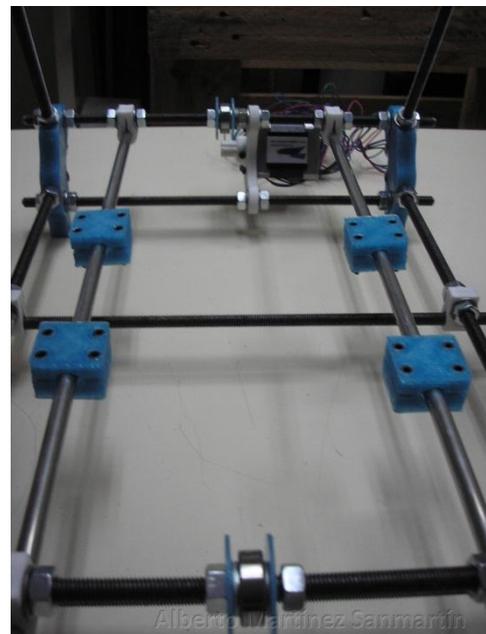
PARTE 6: ENSAMBLAJE EJE Y

1: Insertamos las 2 varillas lisas de 406mm en las Abrazaderas de la barra frontales y las posicionamos lo más paralelas posibles. Las fijamos suavemente de momento.



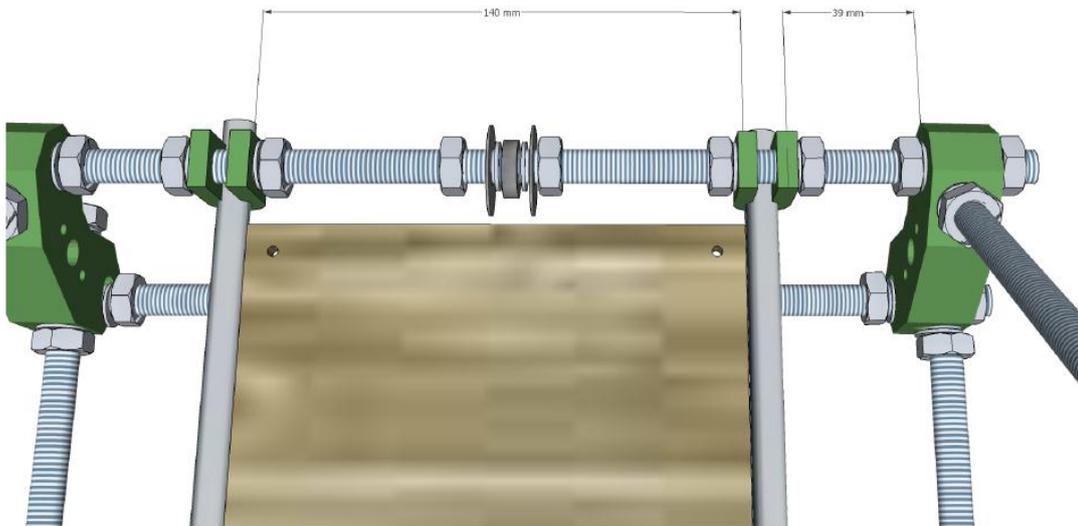
2: Montamos los soportes de la bandeja, para ello tomamos ambas partes de las Fijaciones bandeja (la superior con agujeros circulares y la inferior con agujeros hexagonales), introducimos 4 tuercas M3 en cada uno de los agujeros hexagonales. Colocamos ambas piezas entorno a las varillas lisas y roscamos con 4 tornillos M3 de 25mm como se muestra en la figura. Roscamos fuertemente.

Repetimos este paso para los 4 soportes.

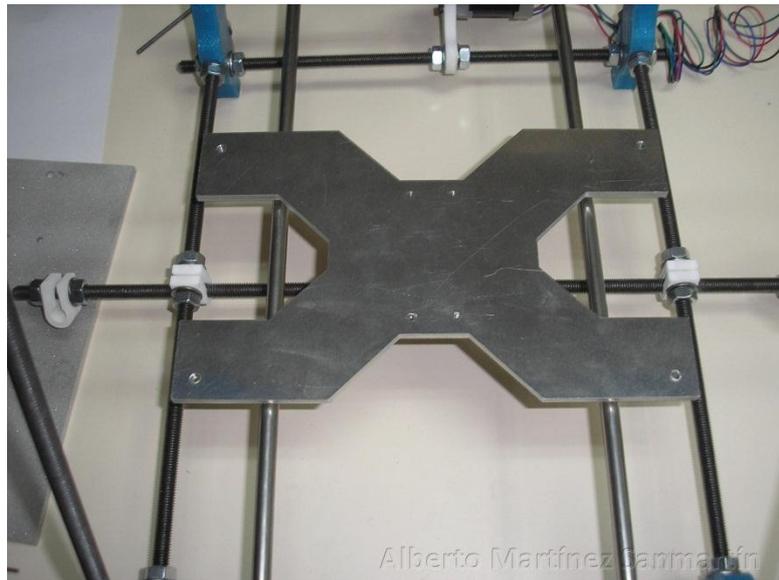


NOTA: Éste es un montaje alternativo, en caso de usar Cojinetes de plástico, simplemente encajarlos sobre las varillas lisas separadas unos 120mm entre si.

3: Ajustamos las varillas lisas para que queden completamente paralelas y centradas, es importante gastar el tiempo que sea necesario en este paso ya que es de vital importancia. Las varillas deben estar separadas entre sí 140mm y unos 39mm de cada extremo para que quede centrada la bandeja. Una vez comprobado que todo está en su sitio ajustar fuertemente las tuercas de fijación.

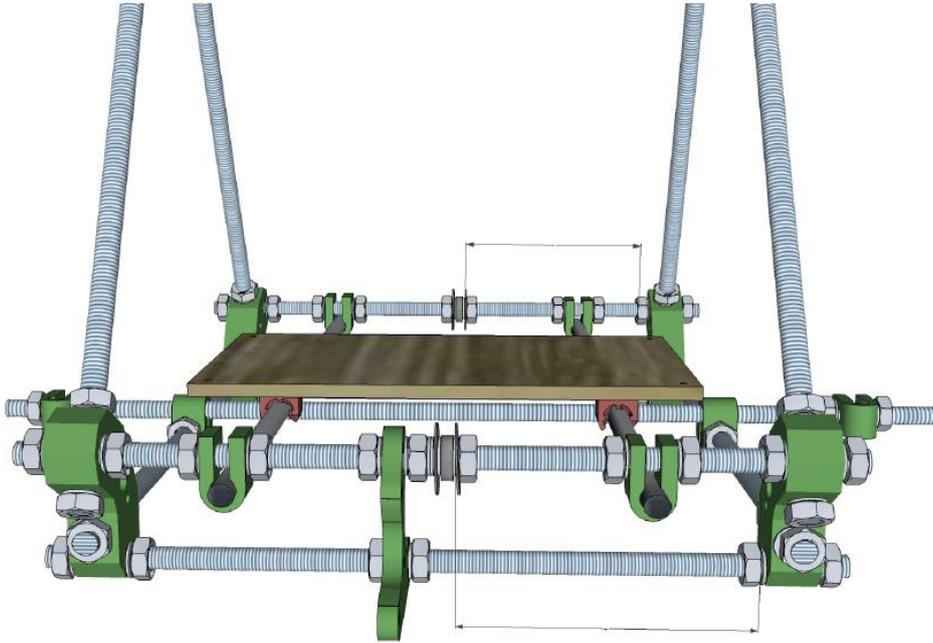


4: Colocamos la bandeja sobre los soportes y comprobamos que esta centrada y no interfiere con ningún elemento; una vez asegurados de su posición final, pegamos con pegamento extra fuerte los soportes a la bandeja. Dejamos secar 24 horas.



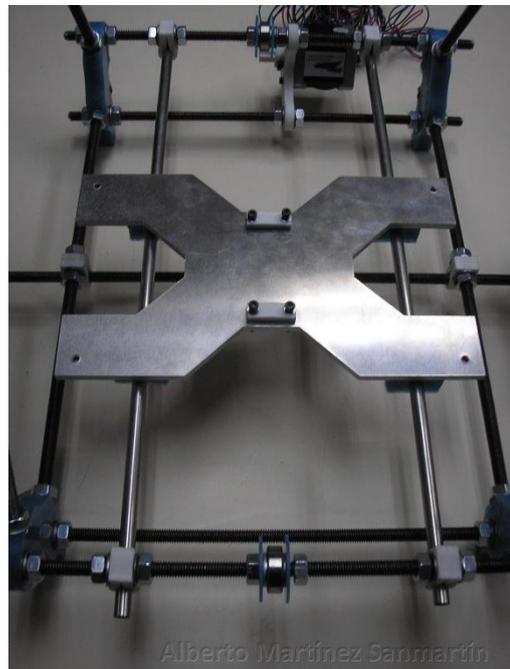
NOTA: Para un mejor pegado recomendamos usa un pegamento extra fuerte resistente a vibraciones y espeso (no líquido), como los usados en modelismo. Además es recomendable rayar o limar la bandeja de aluminio en las zonas a pegar para mejorar la adherencia del pegamento.

5: Mientras seca el pegamento podemos alinear y ajustar los rodamientos, comprobando que ambos estén perfectamente alineados entre sí y con los agujeros de soporte de la correa de la bandeja; así como con la polea tractora del eje Y.

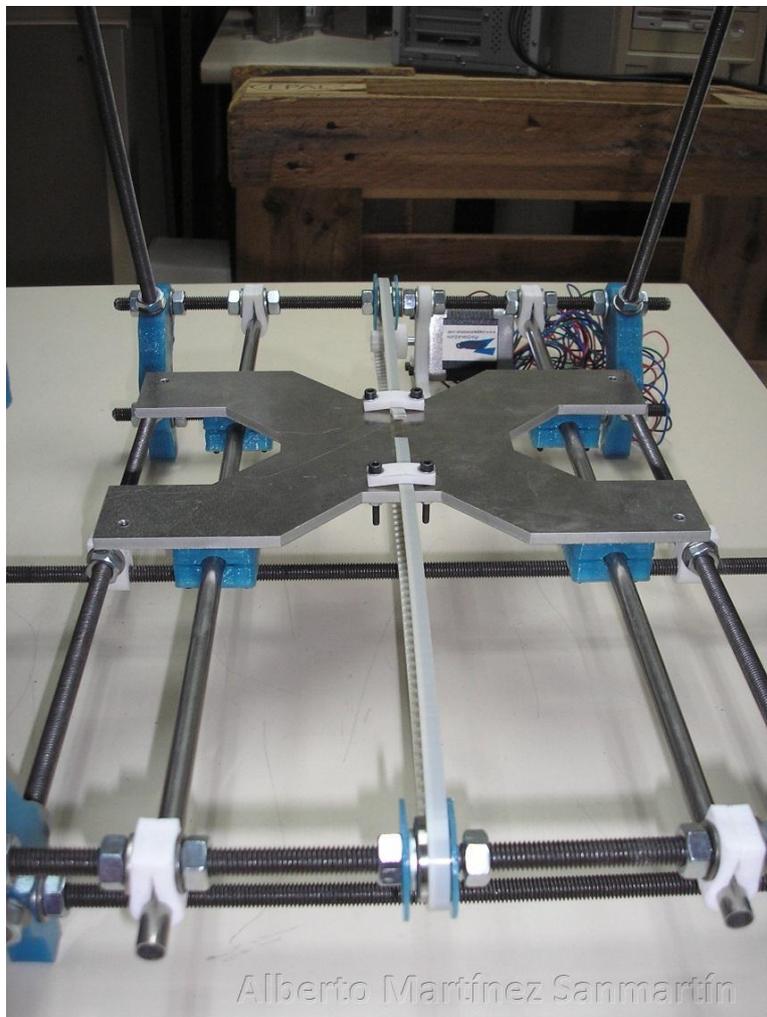
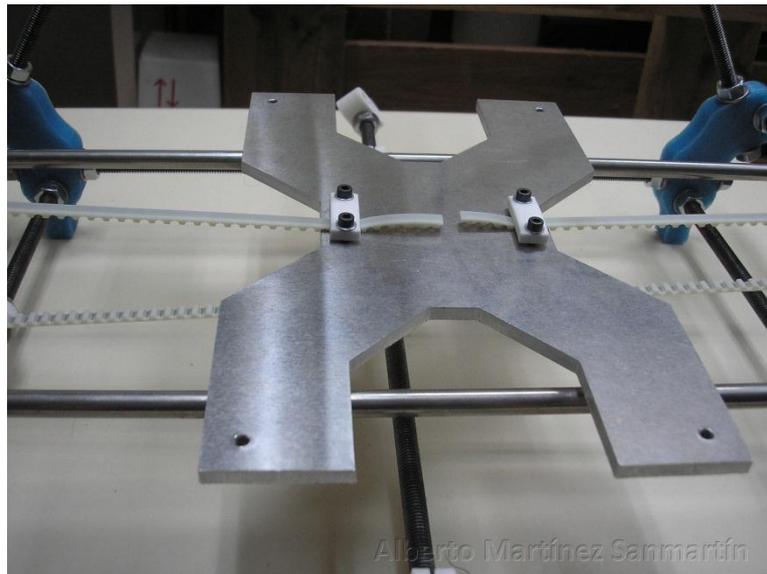


6: Una vez seco el pegamento de la bandeja colocamos la correa entorno a los rodamientos y la polea. La sujetamos a la bandeja con 2 arandela M3, las Abrazaderas de la correa y atornillamos 2 tornillos M3 de 30mm, por la parte inferior colocamos 2 tuercas M3. Como se muestra en la figura.

Es muy importante que la correa quede lo más tensa posible, bien centrada y fijada fuertemente.

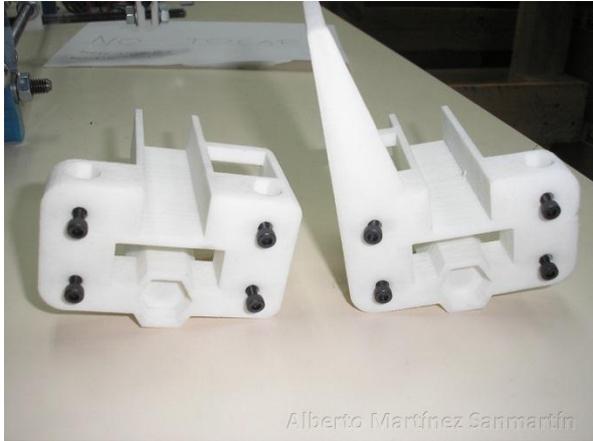


7: Comprobamos manualmente que el motor al girar desplaza correctamente la bandeja, sin dificultad ni interferencias.

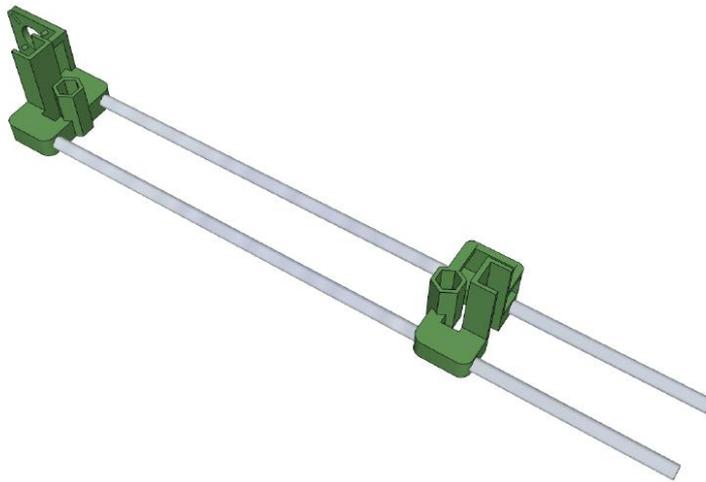


PARTE 7: ENSAMBLAJE EJE X

1: Tomamos las piezas Fin eje X y Fin eje X con motor e introducimos en cada uno de sus 4 agujeros hexagonales inferiores una tuerca M3 y atornillamos a cada una un tornillo M3 de 10mm por la parte inferior, como se muestra en la figura.



2: Introducimos las 2 varillas lisas de 495mm entre ambas piezas, asegurándonos de que la parte hexagonal de ambas queden enfrentadas entre sí por el interior.

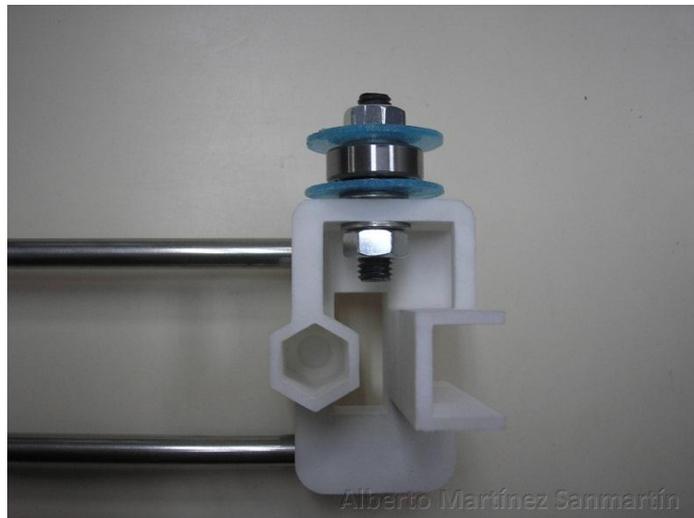


NOTA: No apretamos demasiado los tornillos de sujeción ya que es necesario aflojarlos en los siguientes pasos.

3: Tomamos la varilla roscada de 40mm y roscamos en su extremo una tuerca M8 e introducimos Disco Tope correa, arandela M8, rodamiento 608, arandela M8.



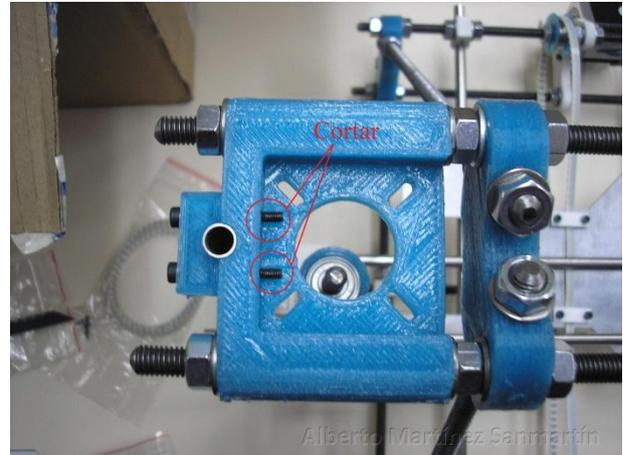
4: Ajustamos en la pieza Fin eje X y sujetamos con una arandela M8 y una tuerca M8; como se muestra en la figura.



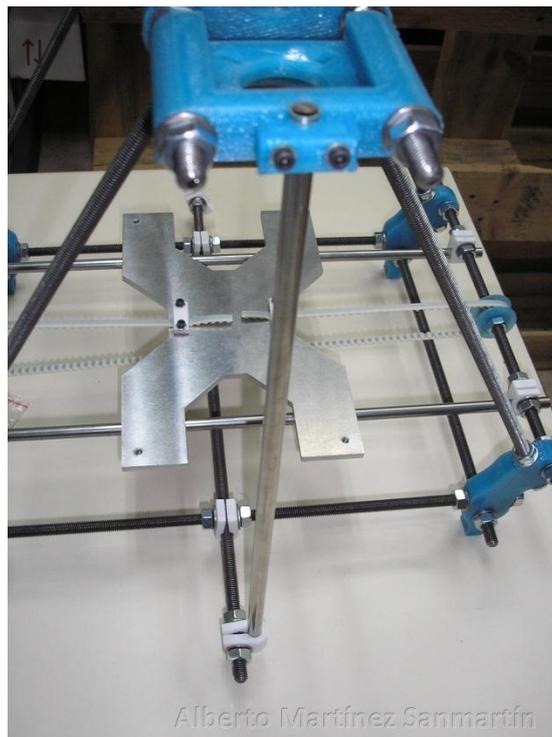
NOTA: Reservamos el eje montado para posteriormente fijarlo en su posición final sobre el eje Z.

PARTE 8: ENSAMBLAJE EJE Z

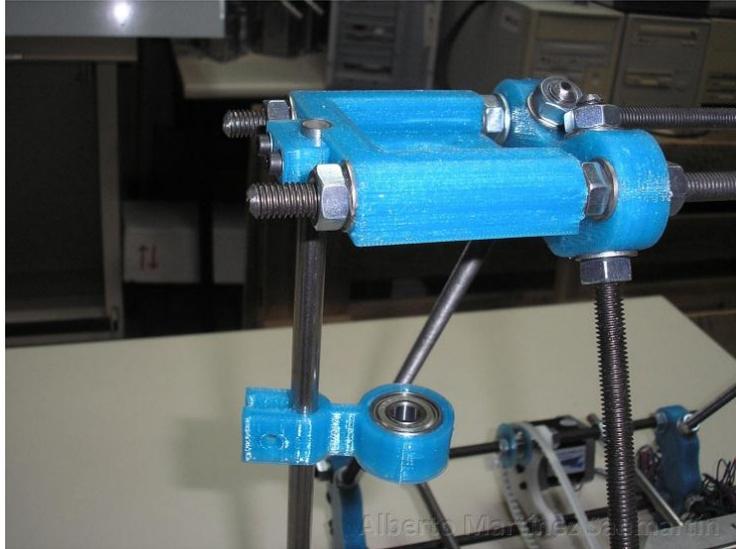
1: Tomamos las piezas Soporte de barra, 4 tuercas M3, 4 arandelas M3 y 4 Tornillos M3 de 25mm. Los atornillamos en su sitio sobre la base de los motores en el eje Z, marcamos hasta donde sobresalen sobre la base, desmontamos y cortamos los tornillos, de manera que no sobresalgan e impidan un buen asentamiento posterior de los motores.



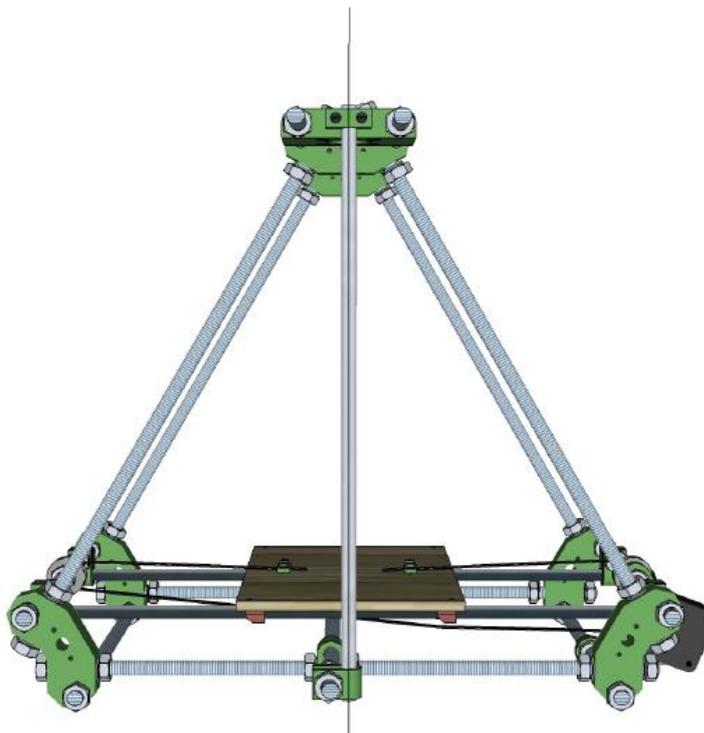
2: Introducimos las varillas lisas de 330mm, y sujetamos ligeramente entre los Soportes de las barras y las Abrazaderas de las barras inferiores.



NOTA: Si se quiere hacer el montaje alternativo (el cuál es muy recomendable) y colocar las Sujeción rodamiento barra Z, deben introducirse en la barra lisa antes de fijarla. Es necesario 2 piezas por barra.



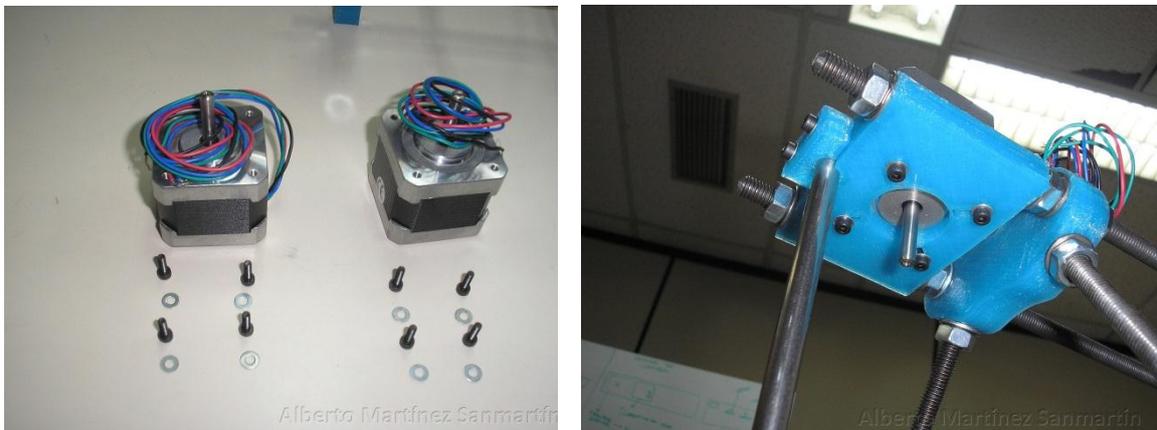
3: Comprobamos y ajustamos que ambas barras queden perfectamente horizontales y paralelas entre sí, así como con la estructura. Éste paso es muy importante así que debe hacerse con cuidado ayudándose de un nivel, calibre y una plomada hasta que queden perfectamente situadas. Fijar fuertemente pero con cuidado las barras, tanto arriba como abajo.



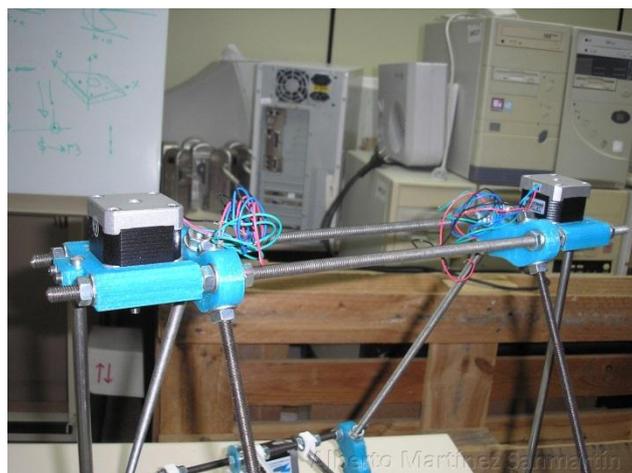
4: Encajar los 4 Cojinetes, en las barras lisas del eje Z. Montar sobre ellas el montaje del Eje X, comprobar que encaja en su sitio y con la orientación correcta, como se muestra en la figura. Una vez comprobado que todo está correcto pegar los Cojinetes a los Fin de eje X. sujetar fuertemente y dejar que seque el pegamento correctamente.



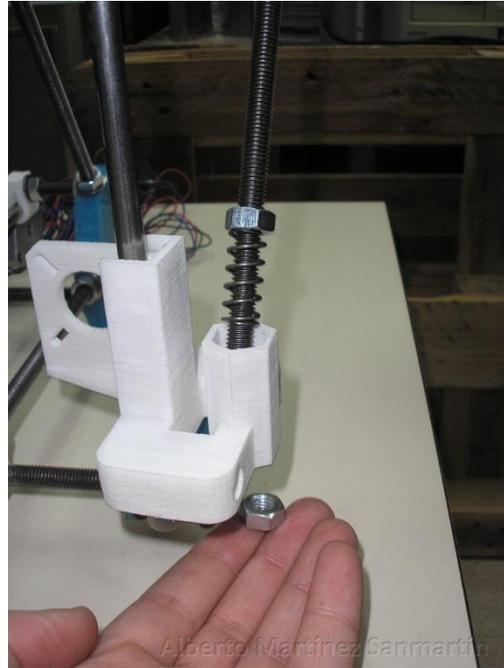
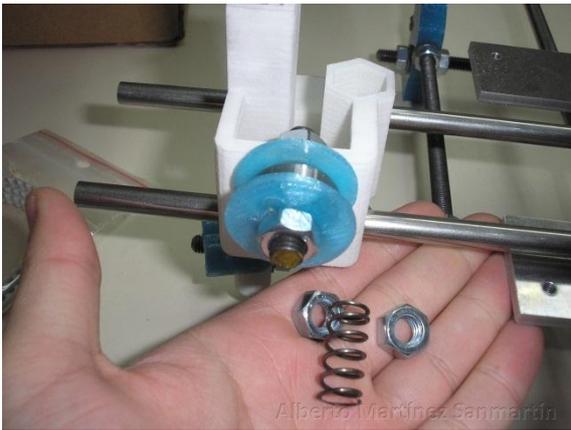
5: Colocamos y fijamos los 2 Motores NEMA 17 del Eje Z, los colocamos en su sitio como se muestra en la figura y atornillamos cada uno con 4 tornillos M3 de 10mm y 4 arandelas M3.



NOTA: Los agujeros de fijación pueden no estar muy bien terminados, es necesario limarlos y probar varias veces hasta conseguir su posición final correcta, de manera que queden completamente paralelos y bien asentados.

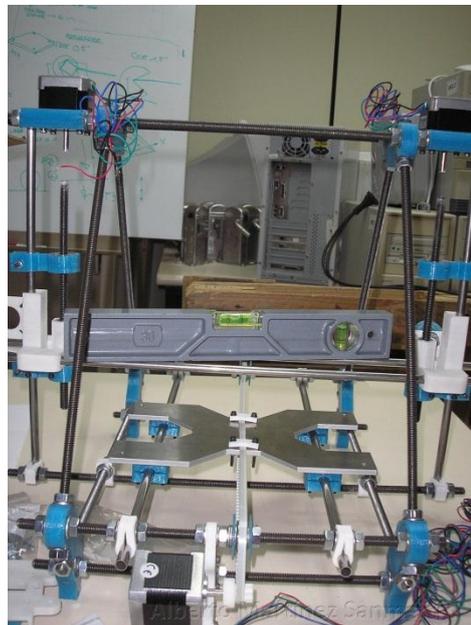


6: Montamos el mecanismo de muelles del eje Z, para ellos tomamos las 2 varillas roscadas de 210mm, 2 muelles M8 y 4 tuercas M8. Montamos en el Fin eje X de la siguiente manera: roscamos una tuerca M8 en la varilla e introducimos el muelle como se muestra en la figura. Ponemos una tuerca M8 por la parte inferior e introducimos la varilla con el muelle en la pieza Fin eje X y roscamos con la tuerca M8 inferior. Repetimos la misma operación para la otra pieza Fin de eje X con motor.

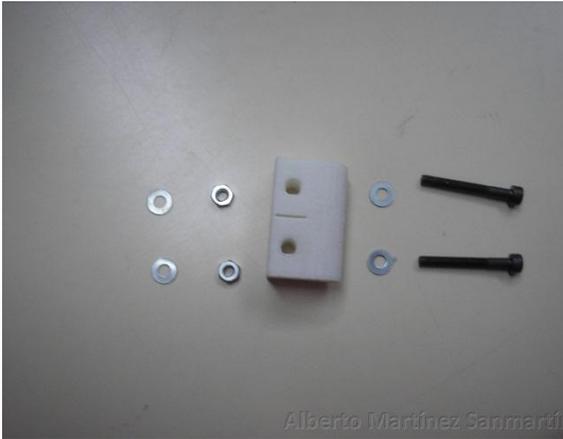


7: Alineamos e introducimos las varillas roscadas en las piezas Sujeción rodamiento barra Z.

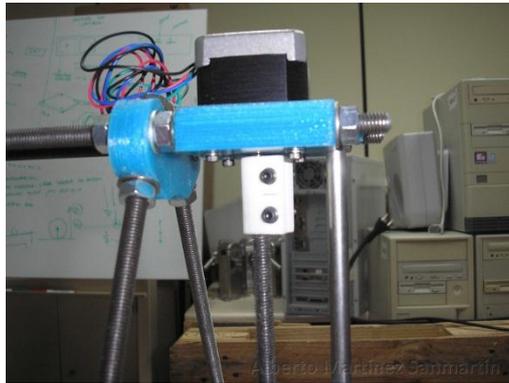
8: Alineamos con un nivel el Eje X, y apretamos los tornillos de sujeción, con cuidado de no fracturar o astillar el plástico.



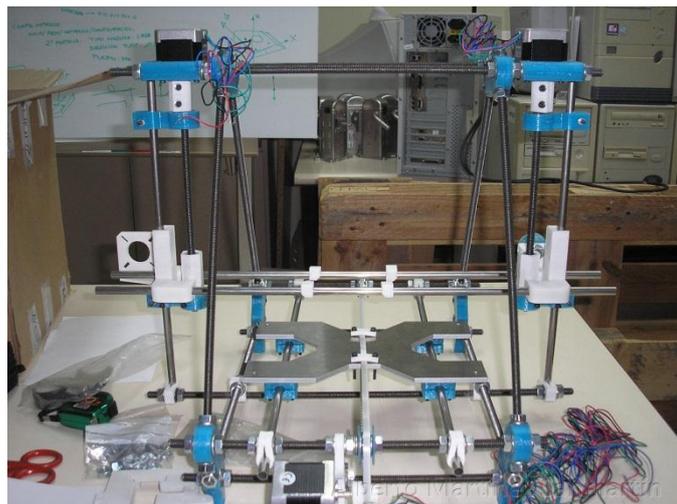
9: Montamos los Acoplamientos del eje Z, con 2 tornillos M3 de 25mm 4 arandelas M3 y 2 tuercas M3 como se muestra en la figura. No apretamos fuertemente todavía.



10: Fijamos las piezas al eje del motor Z, para ello ponemos la parte interna de menor diámetro en la parte superior. Y la parte inferior en la varilla roscada. Es importante apretar fuertemente estas piezas para que pueda transmitir correctamente el par motor a la varilla. Quizás sea necesario pegar la varilla roscada a la pieza de sujeción.

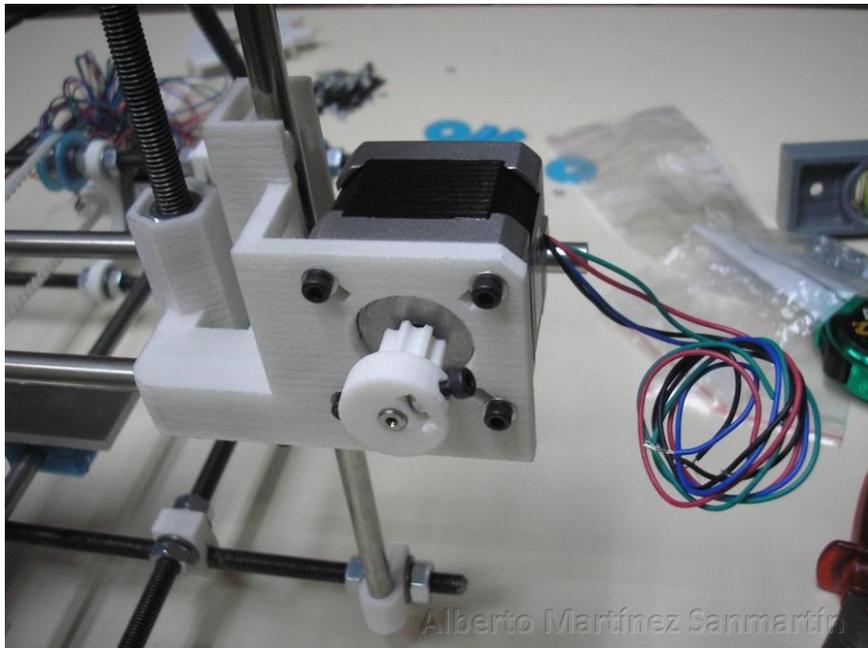


11: Comprobamos que el mecanismo funciona correctamente y que la plataforma sube y baja sin problema. Nuevamente alineamos ayudados de un nivel hasta dejar la plataforma completamente horizontal.

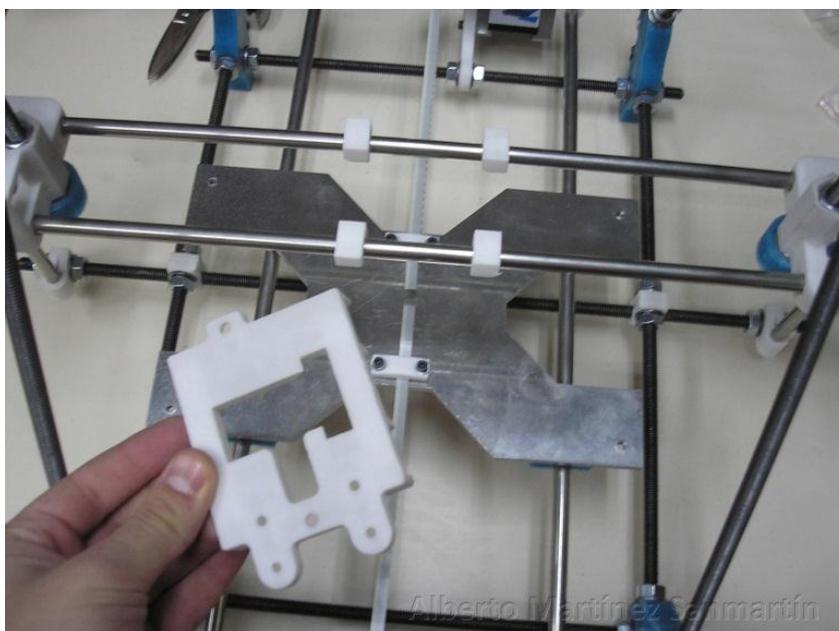


PARTE 9: ENSAMBLAJE CARRO EJE X

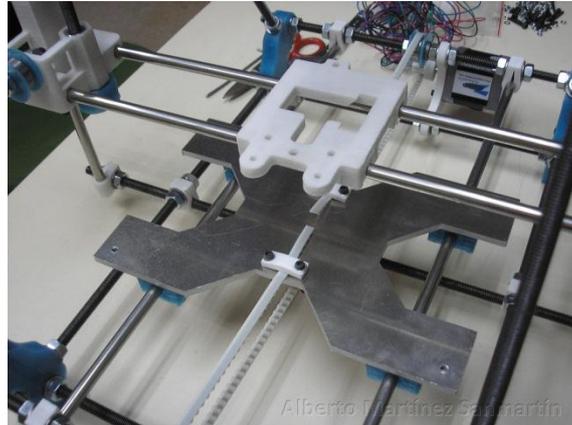
- 1: Montamos el motor NEMA 17 en el eje X, con la ayuda de 4 arandelas y 4 tornillos M3 de 10mm. Lo colocamos en su sitio correctamente y lo atornillamos.
- 2: Tomamos una Polea engranaje X, colocamos una tuerca M3 en su interior y la atornillamos al eje del motor X con un tornillo M3 de 10mm, en sentido inverso como se muestra en la figura.



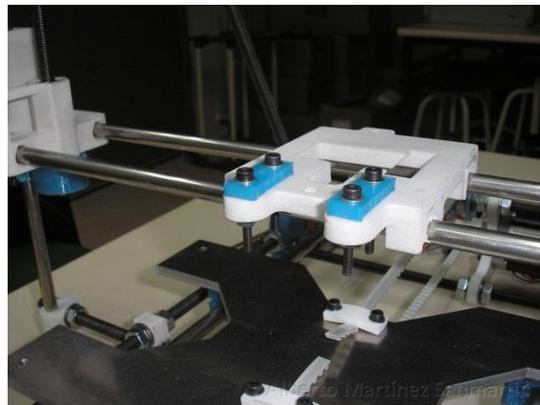
- 3: Encajamos los 4 Cojinetes de plástico, 2 por cada varilla lisa del eje X. Colocamos sobre ellas el Carro X en la posición correcta y nos aseguramos de que quedan en su sitio.



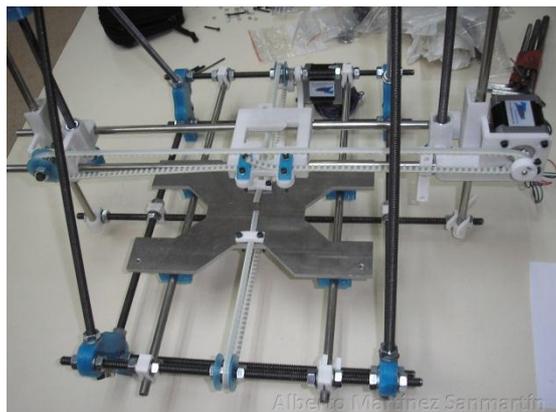
4: Ponemos pegamento en cada una de los Cojinetes y pegamos sobre ellos el Carro X. Esperamos a que el pegamento seque correctamente y comprobamos que la plataforma desliza sin problema. (Importante no manchar las varillas de pegamento)



5: Para la fijación de la correa dentada, primero atornillamos al Carro X, las 2 Abrazaderas de la correa, con 2 arandelas M3 y 2 tornillos M3 de 25mm cada una. Colocamos las 4 tuercas M3 por la parte inferior.

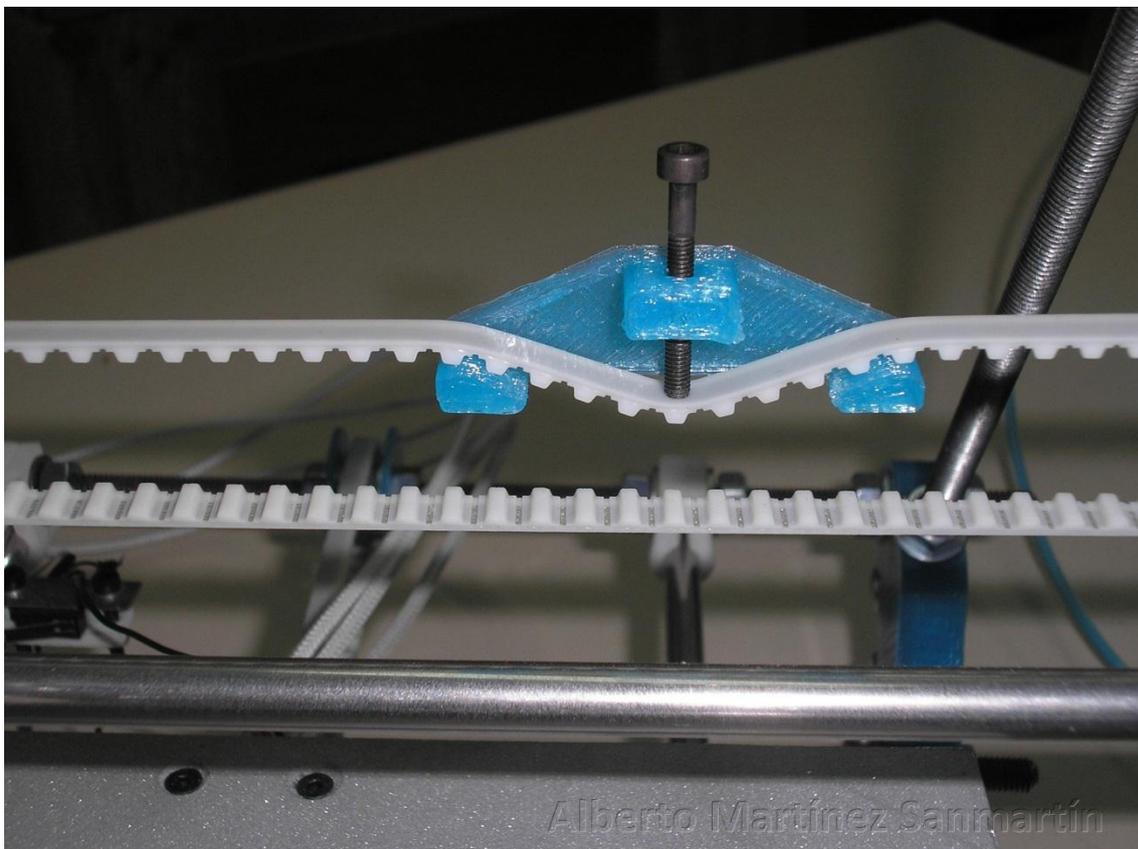
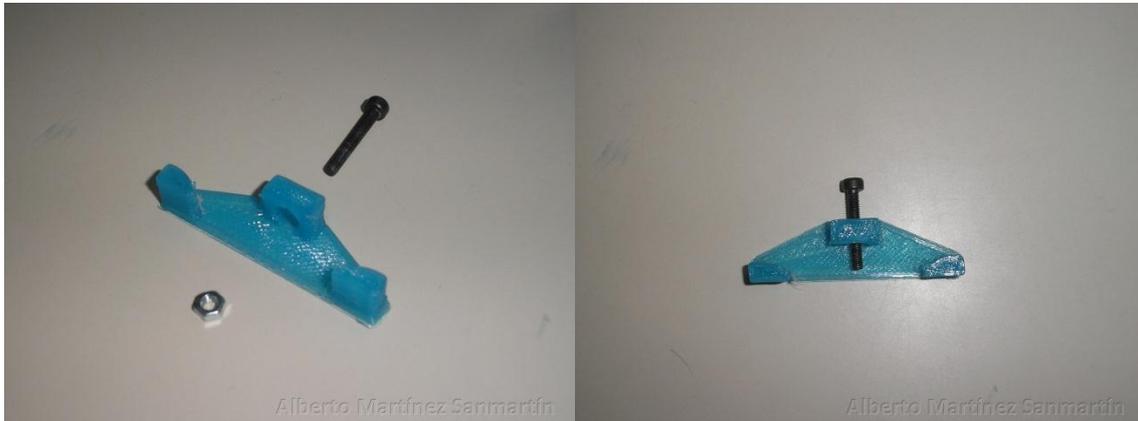


6: Colocamos la correa dentada, de manera que quede lo más tensa posible, pasando por la polea del eje, el rodamiento del extremo y sus extremos fijados con las Abrazaderas de la correa. Atornillamos éstas fuertemente, pero con precaución de no fracturar el plástico.



NOTA: Para aumentar y ajustar con precisión la tensión de las correas se ha puesto en cada una de ellas un tensor, ya que esto mejora la calidad notablemente a la hora de imprimir.

7: Para ajustar los tensores los colocamos en una parte de la correa donde no interfieran con ninguna parte de la máquina al hacer el eje el recorrido completo. Los fijamos a la correa con un tornillo M3 de 25mm y una tuerca M3. En función del apriete que se de aumentará o disminuirá la tensión sobre la correa.



PARTE 10: ELECTRÓNICA

NOTA: Éste montaje es solo para una Placa RAMPS 1.4, se recomienda seguir rigurosamente el orden que se indica ya que así es mucho más sencillo y fácil su montaje. Comprobar bien ayudándose de las figuras que los componentes están en el lugar correcto.

1: Tomamos la placa RAMPS 1.4, a la que soldamos 2 diodos y el interruptor de Reset. (Asegurarse de que la polaridad de los diodos es la correcta).



2: Procedemos a soldar todos los pines (con las “patas cortas” hacia abajo), para ello comenzamos con los centrales. Los colocamos en su sitio, damos la vuelta a la placa, la apoyamos y soldamos con cuidado sus terminales.



3: Repetimos el proceso para el resto de conectores mostrados en la figura.

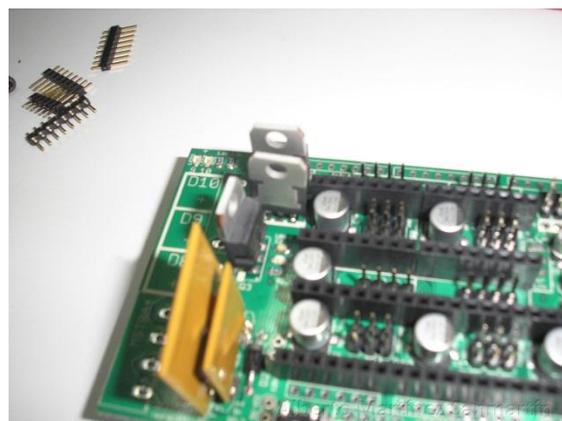


4: Nuevamente pero ahora con los conectores hembra. (Colocamos sobre ellos 6 tiras de conectores macho, para poder apoyar firmemente al dar la vuelta y poder soltar con facilidad, una vez soldados, éstos son retirados).



5: Colocamos correctamente y soldamos los 2 fusibles.

6: Colocamos correctamente y soldamos los 3 transistores.



7: Colocamos correctamente y soldamos las salidas D8, D9 y D10.

8: Colocamos correctamente y soldamos las entradas.



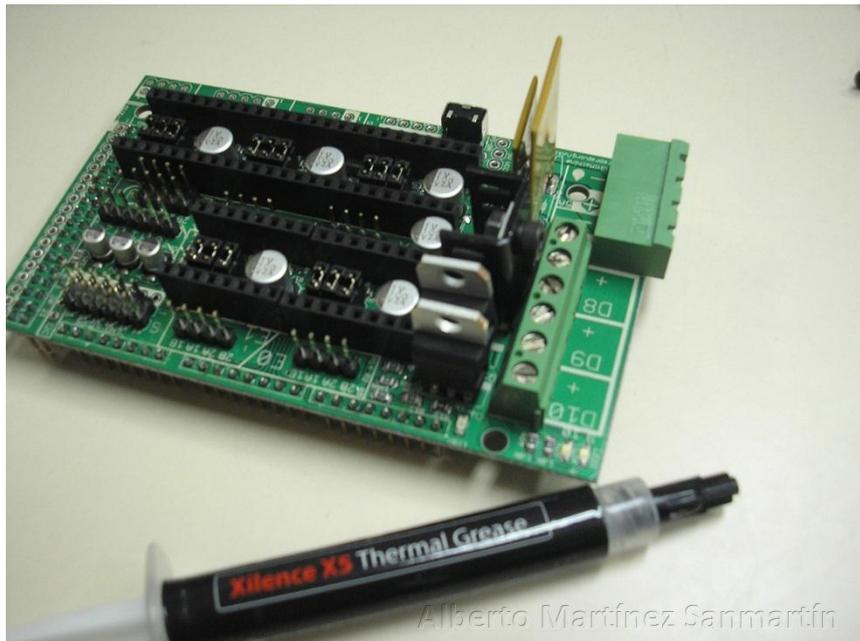
9: Ahora colocamos los conectores por la parte inferior de la placa y los soldamos.



10: Soldamos los conectores a los Drivers Pololu.



- 11: Ponemos un poco de pasta termo conductora en el transistor 3 y atornillamos la plaquita refrigeradora.**



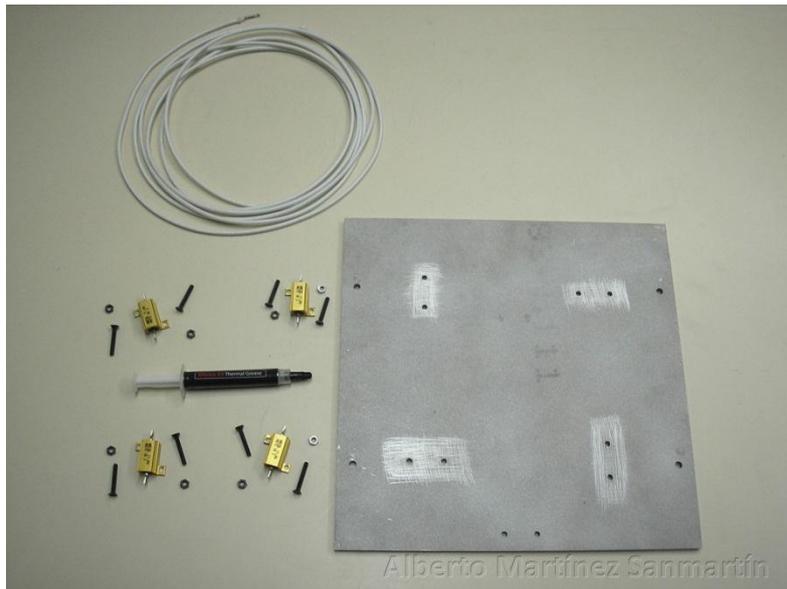
- 12: Colocamos los 3 jumpers en cada driver, para conseguir 1/16 de micro paso.**



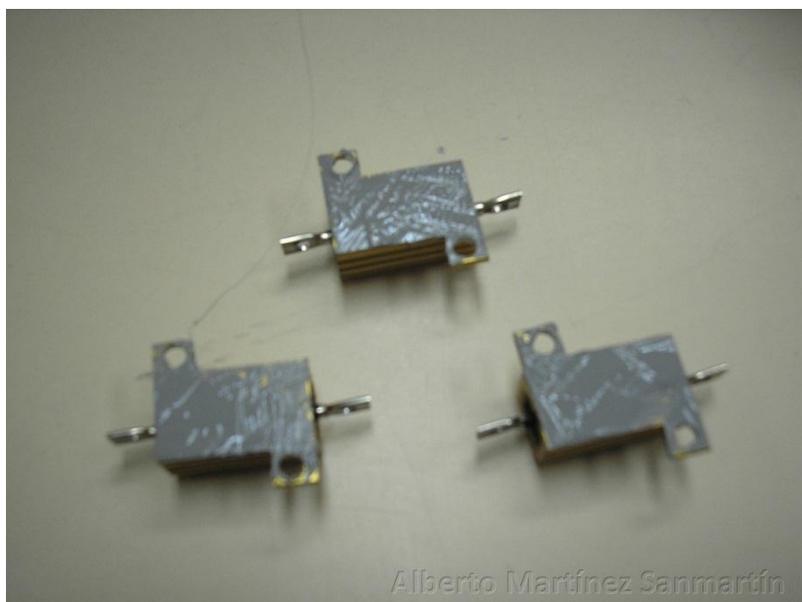
PARTE 11: ENSAMBLAJE CAMA CALIENTE

NOTA: Para este montaje necesitaremos las 4 resistencias de 10K, la bandeja de aluminio, 8 Tornillos M3 de 25mm con cabeza avellanada, 8 tuercas M3, cable resistente a altas temperaturas y alto amperaje y pasta termo conductora. Un termistor de 100K y 2 cables, así como una pletina de metal con 2 tornillos M3, 2 arandelas M3 y 2 tuercas M3; para sujetar todo el cableado.

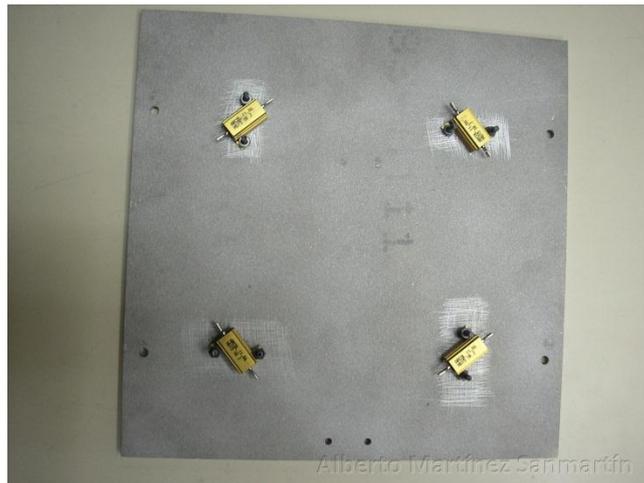
1: Tomamos la bandeja y la rayamos por la parte inferior donde van colocadas las 4 resistencias, para mejorar la conductividad térmica.



2: Colocamos pasta termo conductora en la parte inferior de las resistencias y la extendemos con una paleta.



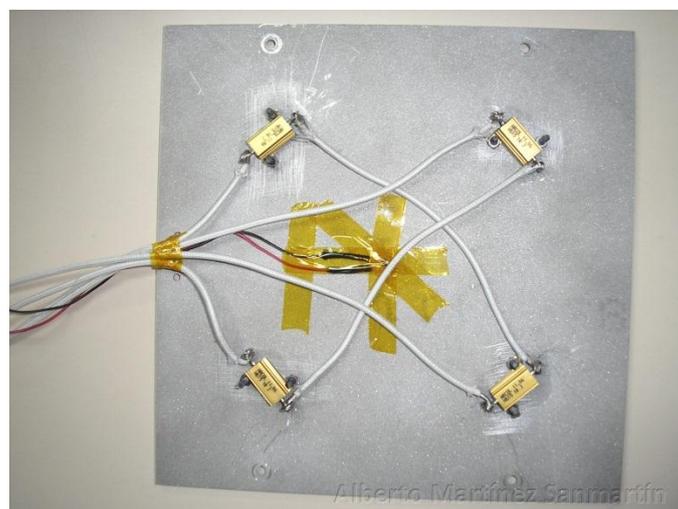
3: Atornillamos las resistencias en su sitio.



4: Soldamos 2 cables a los extremos del Termistor.



5: Conectamos las resistencias en 2 grupos en paralelo, de 2 resistencias en serie, como se muestra en la figura. Soldamos las conexiones.



6: Colocamos el transistor en la parte central de la palca y la fijamos con cinta Kapton.

7: Sujetamos todo el cableado con la pletina metálica y la atornillamos como se muestra en la figura.

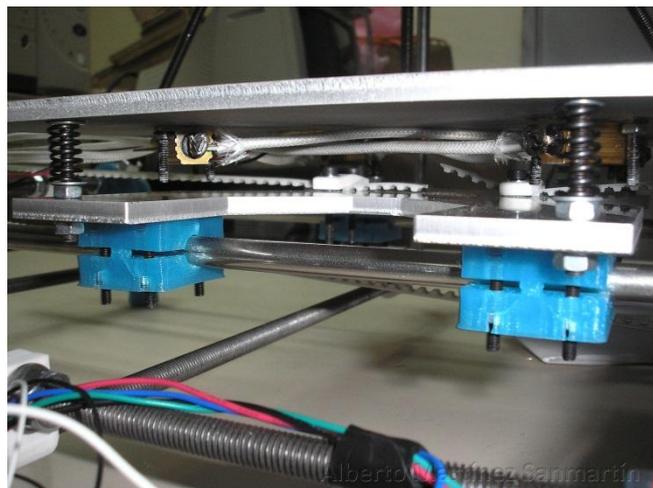


8: Fijamos la bandeja a la estructura para lo que necesitamos, 4 tornillos M4 avellanados de 30mm, 8 arandelas M4, 4 muelles de 25mm y 4 tuercas M4.



9: Introducimos los tornillos por la parte superior de la bandeja y por la parte inferior introducimos las arandelas, los muelles, otras arandelas y las tuercas M4.

10: Colocamos la bandeja en su sitio y fijamos por la parte inferior con 4 arandelas M4 y 4 tuercas M4.



11: Colocamos la plancha de vidrio sobre la cama y la fijamos con 2 pinzas. (Como las usadas como sujetapapeles, disponibles en cualquier papelería).



PARTE 12: FINALES DE CARRERA

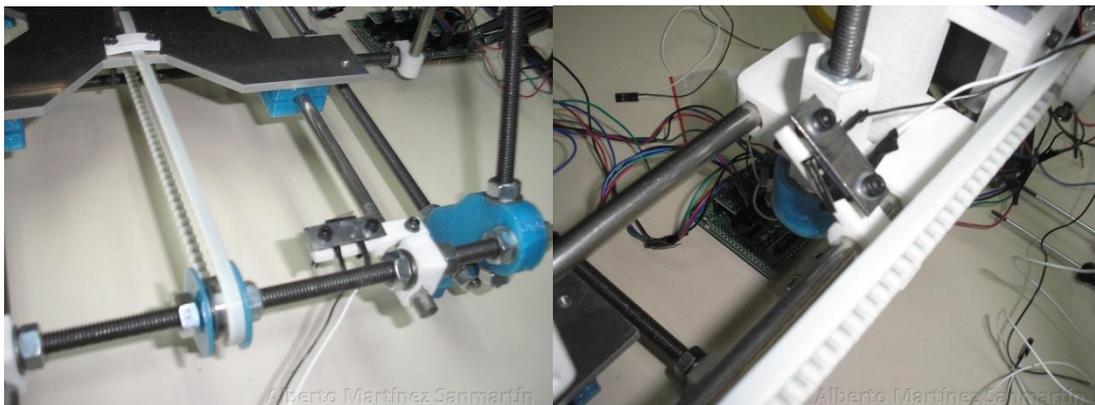
1: Pelamos los extremos de 6 cables, fijamos y soldamos 2 cables a cada salida de cada final de carrera. Y otros 2 conectores en el otro extremo donde introducimos una ficha de conexión.



2: Fijamos los 3 Soportes para final de carrera en su lugar con un tornillo M3 de 25mm, 2 arandelas M3 y una tuerca M3. Colocamos uno en la varilla lisa del Eje Y otra en la parte inferior del Eje Z, y otra en la parte izquierda del Eje X.



3: Sujetamos cada final de carrera al Soporte para final de carrera con una pletina metálica, 2 tornillos M2 de 25mm 2 arandelas M3 y 2 tuercas M3. De manera que hagan contacto con el interruptor al llegar al final del recorrido.

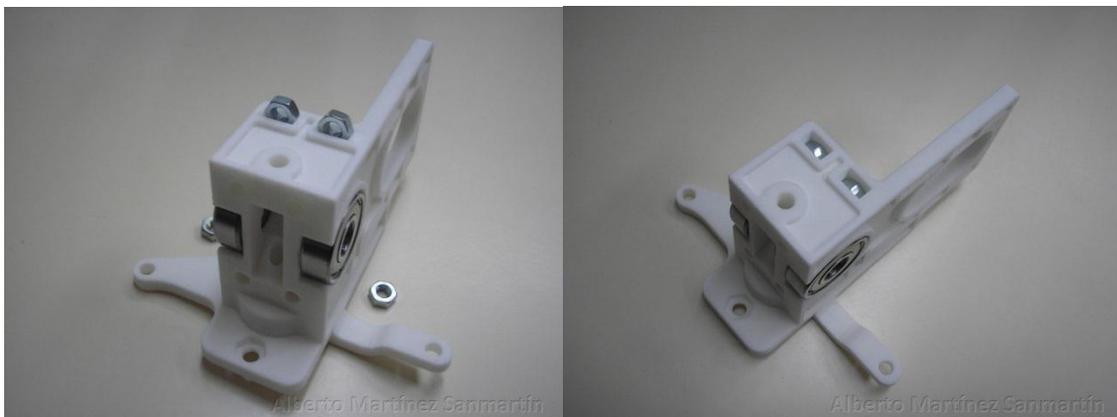


PARTE 13: MONTAJE WADE'S EXTRUDER

1: Tomamos el Cuerpo extrusor y la Tapa Extrusor, introducimos los 2 rodamientos 608 como se muestra en la figura. Y con la varilla roscada de 25mm colocamos el otro rodamiento en el interior de la Tapa extrusor.



2: Colocamos las 4 tuercas M4 en los agujeros diseñados para ellos.



3: Insertamos en cada uno de los 4 tornillos M4 de 45mm, Una arandela M4 un muelle de 25mm y otra arandela M4.



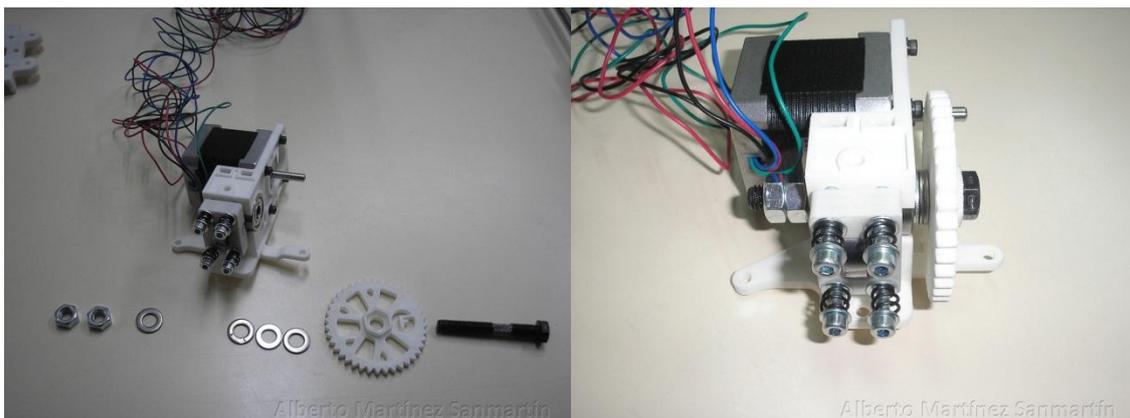
4: Atornillamos la Tapa extrusor al Cuerpo extrusor. (Opcional colocar entre las 2 piezas, 2 o 3 arandelas M3 para mantener la distancia requerida).



5: Sujetamos el motor NEMA 17 al Cuerpo extrusor con 4 tornillos M3 y 4 arandelas M3.



6: Atornillamos la Rueda engranaje extrusor con el Perno Moleteado. Para ello introducimos 3 arandelas M8 entre la Rueda engranaje extrusor y el Cuerpo extrusor (para salvar el tornillo de sujeción del motor y que no roce el engranaje), y sujetamos por la parte exterior con una arandela M8 y 2 tuercas M8.



NOTA: Es muy importante que la zona moleteada quede exactamente en el centro donde va a pasar el hilo de material, para ello quizás sea necesario limar la cabeza hexagonal del perno o colocar alguna arandela adicional.

7: Tomamos la Polea engranaje extrusor, insertamos en su interior una tuerca M3, atornillamos un tornillo M3 de 10mm e insertamos la pieza de forma inversa en el eje de manera que encaje con el engranaje. Apretamos el tornillo a la zona rebajada del eje del motor.



8: Para montar la boquilla caliente, 1º atornillamos las 2 varillas roscadas de M3 y 55mm al Cuerpo del extrusor.



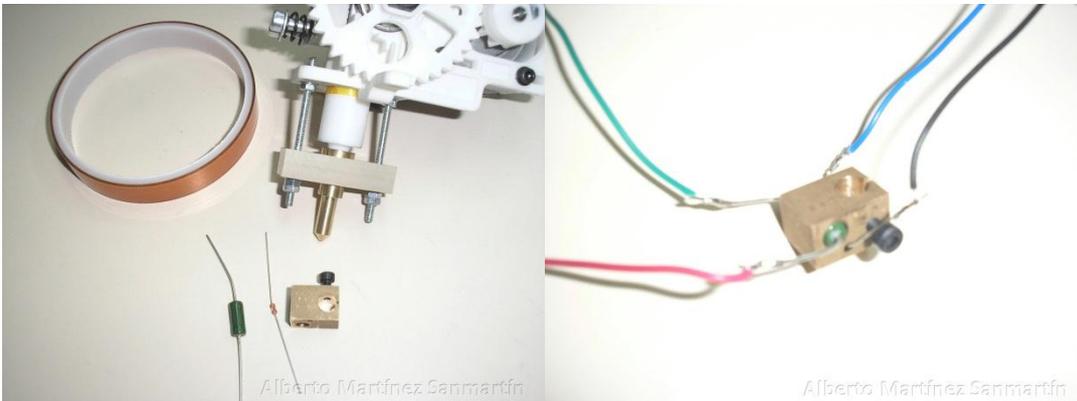
9: Introducimos la pieza Cilindro Teflón la cuál recubrimos su parte superior con cinta Kapton para que quede bien unida por presión.



10: Roscamos la boquilla caliente de cobre, junto con la Pieza sujeción boquilla y atornillamos el conjunto con ayuda de 2 arandelas M3 y 4 tuercas M3.



11: Introducimos en la pieza Calefacción boquilla, el termistor de 100K y la resistencia de 10K. Soldamos un cable a cada uno de sus extremos.



12: Colocamos una ficha de conexión en el extremo de los 2 cables del Termistor.

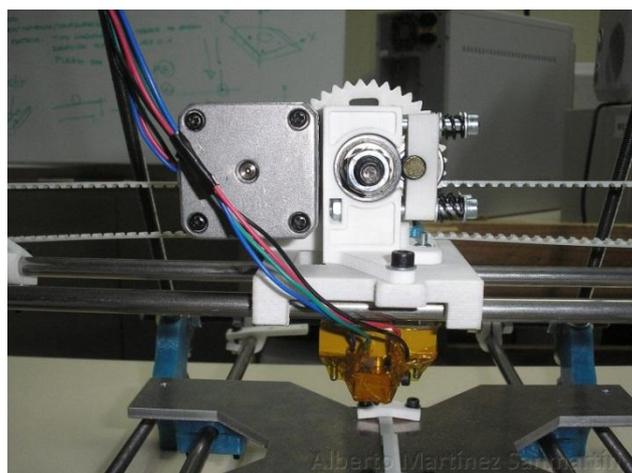


13: Colocamos la pieza en su sitio (cercano a la boca de la boquilla) y apretamos el tornillo M3 de sujeción.

14: Forramos con cinta Kapton todo el extremo de la boquilla caliente.

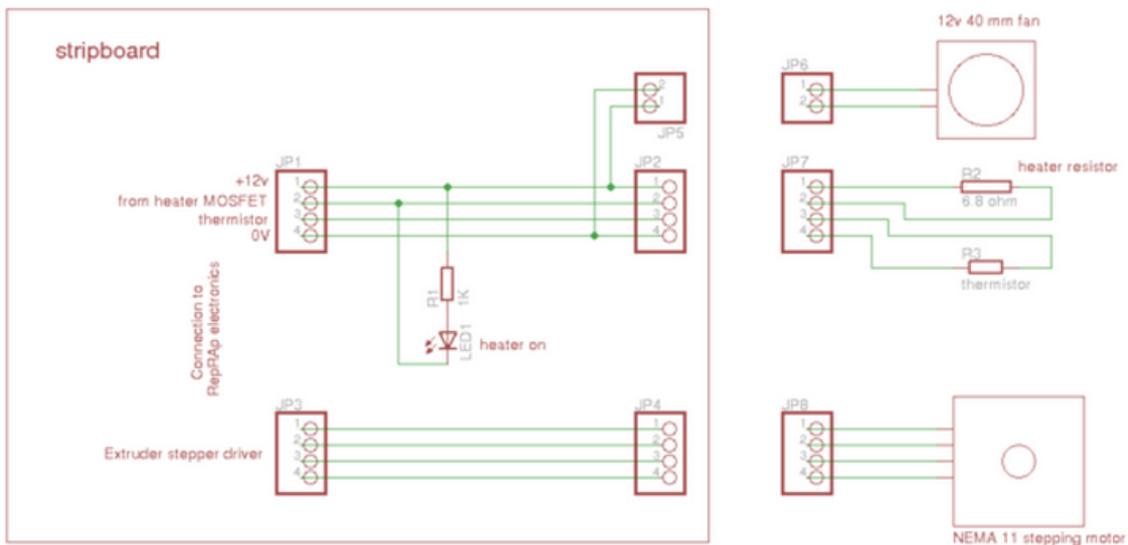


15: Para fijar el Cuerpo extrusor al Carro X basta con atornillar en su sitio con 2 tornillos M4 de 10mm a 2 tuercas M4, con 2 arandelas M4; como se muestra en la figura.

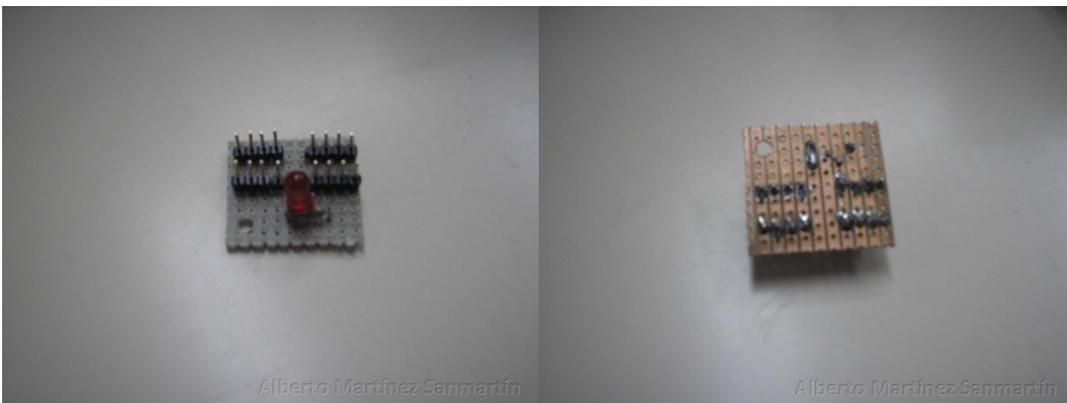


NOTA: Con el fin de poder sustituir rápidamente el extrusor por otro, o para mantenimiento del mismo se ha dotado de una placa rápida de conexiones.

16: Para ello tomamos una plaquita de conexiones de unos 25x20mm, a la cuál soldamos 4 conexiones de 4 pines y uno de 2, un diodo LED y una resistencia, como se muestra en las figuras. Cortamos para que encaje en su sitio y hacemos un agujero en la parte inferior para fijarlo al bloque extrusor.

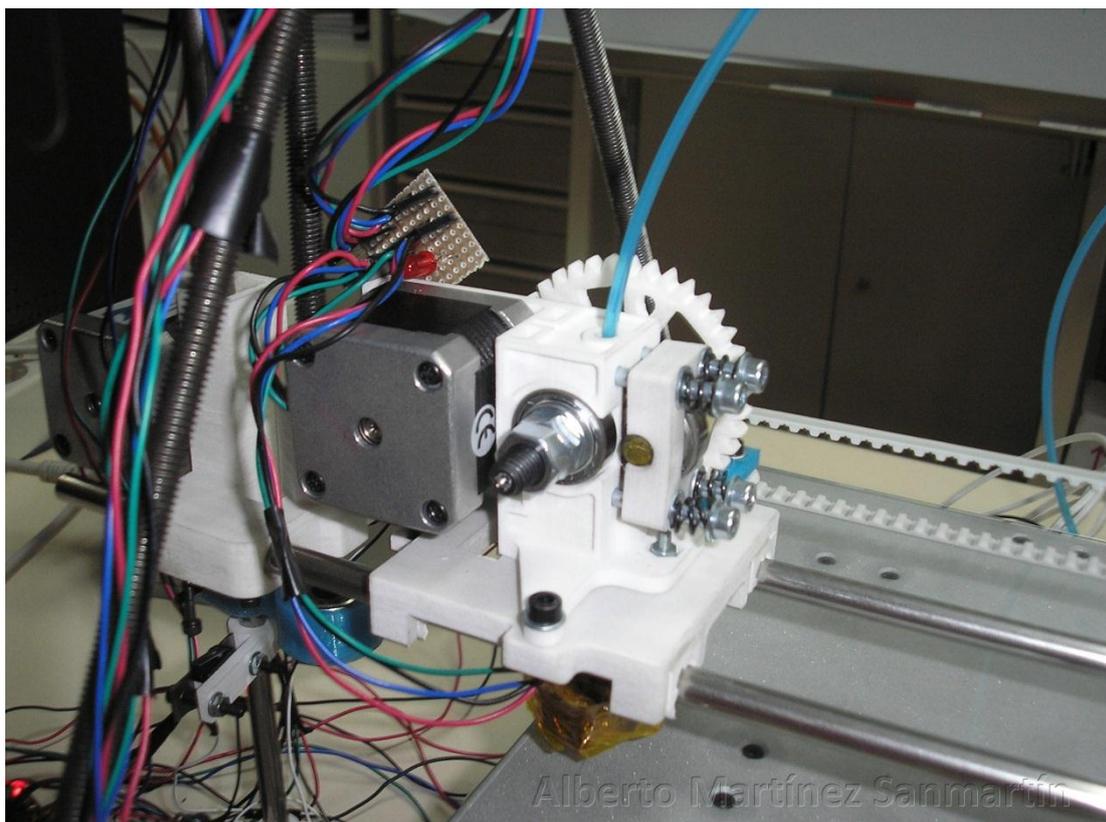
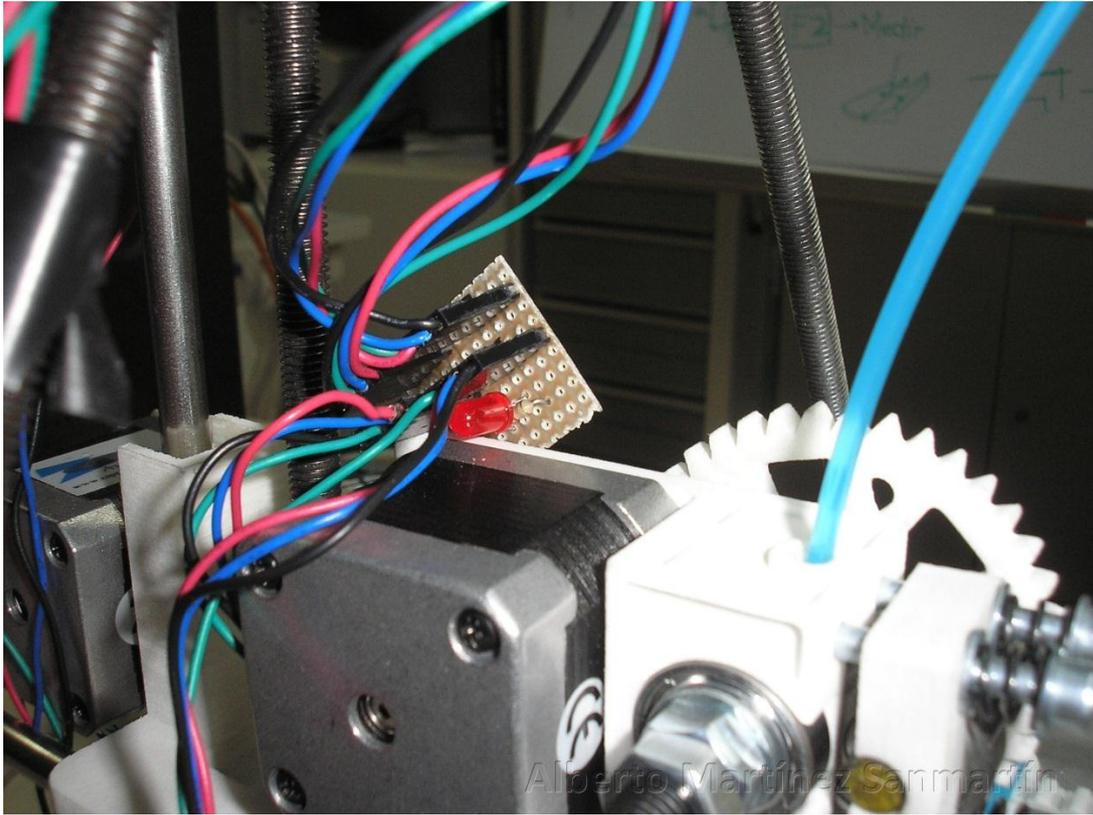


NOTA: La parte referente al ventilador puede obviarse ya que éste modelo no tiene ventilador.



NOTA: es muy importante cortar o limar las pistas traseras de conexión por la parte superior del agujero de fijación para que el tornillo no haga cortocircuito entre ellas.

17: Fijamos la plaquita al bloque extrusor usando un tornillo de fijación del motor, como se muestra en la figura, y conectamos todo correctamente respetando el código de colores.



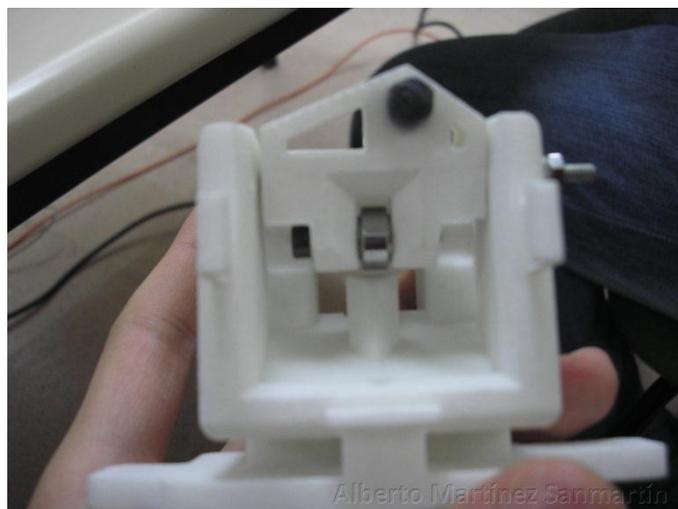
PARTE 14: MONTAJE MINIEXTRUDER UNIVERSAL

1: Tomamos las 2 varillas roscadas M3 de 60mm, roscamos 2 tuercas M3 e introducimos una arandela M3 en cada una. Situamos las varillas como se muestra en la figura y sujetamos con otra arandela M3; roscamos otras 2 tuercas M3.

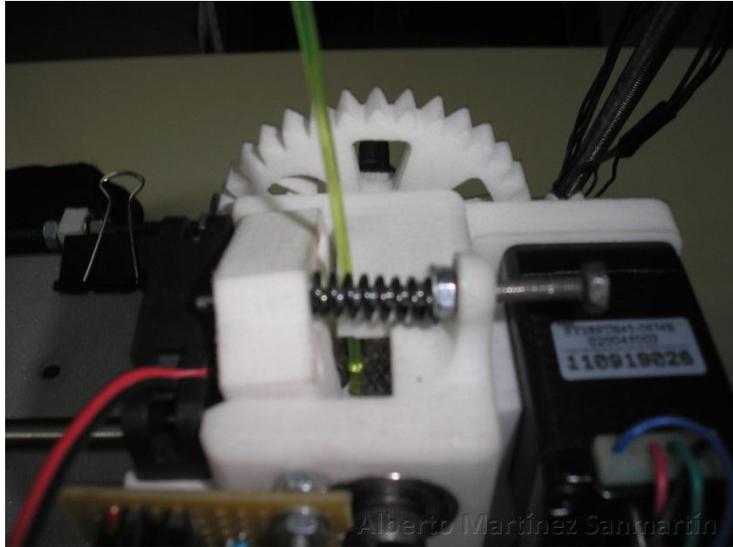


NOTA: Éste paso puede ser complicado ya que es difícil acceder a roscar las tuercas, pero es importante que quede bien sujeto y firme debido a que luego no se puede acceder a ellas para roscar nuevamente.

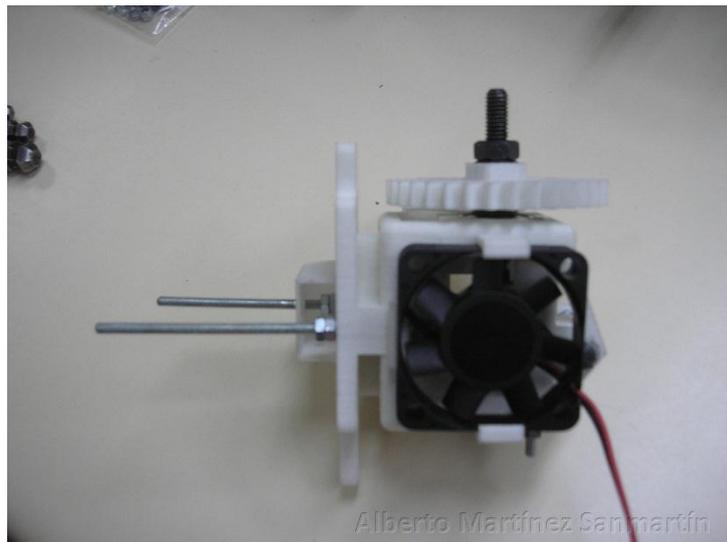
2: Tomamos la pieza Sujeción rodamiento, fijamos en su interior el rodamiento de 8mm, con un tornillo M3 de 25mm y una tuerca M3. Ponemos la pieza en su sitio y la fijamos con la varilla lisa M3 de 45mm, roscamos en ambos lados con una tuerca M3. Es importante que en el lado donde va la rueda dentada no sobresalga la varilla, pero en el otro extremo que sobresalga unos 15 o 20mm.



3: Tomamos el muelle de 25mm lo introducimos en el interior del agujero de la pieza Sujeción rodamiento, tomamos un tornillo M3 de 45mm (al cual se puede limar un poco la punta para evitar rozamiento con la pieza al moverse). Ahora introducimos el tornillo por el agujero superior de la pieza, roscamos por la parte interior un tornillo M3 y una arandela M3, roscamos todo por el interior del muelle hasta que quede en su sitio (es posible que haya que hacer bastante fuerza en el muelle para poder poner todo en su lugar).



4: Ponemos el ventilador en su lugar como se muestra en la figura (es importante que el aire lo eche hacia el interior del cuerpo).



5: Introducimos el Tornillo Moleteado M6 de 80mm, (dejando la cabeza del tornillo en el lado contrario de donde va la rueda dentada). Por el otro extremo colocamos 2 o 3 arandelas.

6: Tomamos la Rueda dentada, introducimos una arandela M6 en su interior (quizás sea necesario forrar con cinta un poco la tuerca para evitar el posible juego dentro de la rueda dentada), roscamos la tuerca con la rueda hasta el extremo, dejando la parte que sobresale de la Rueda dentada con tuerca por el interior, como se muestra en la figura; esto impide que al girar se apriete más e impida el giro. Por último fijamos con una arandela M6 y una Tuerca M6.

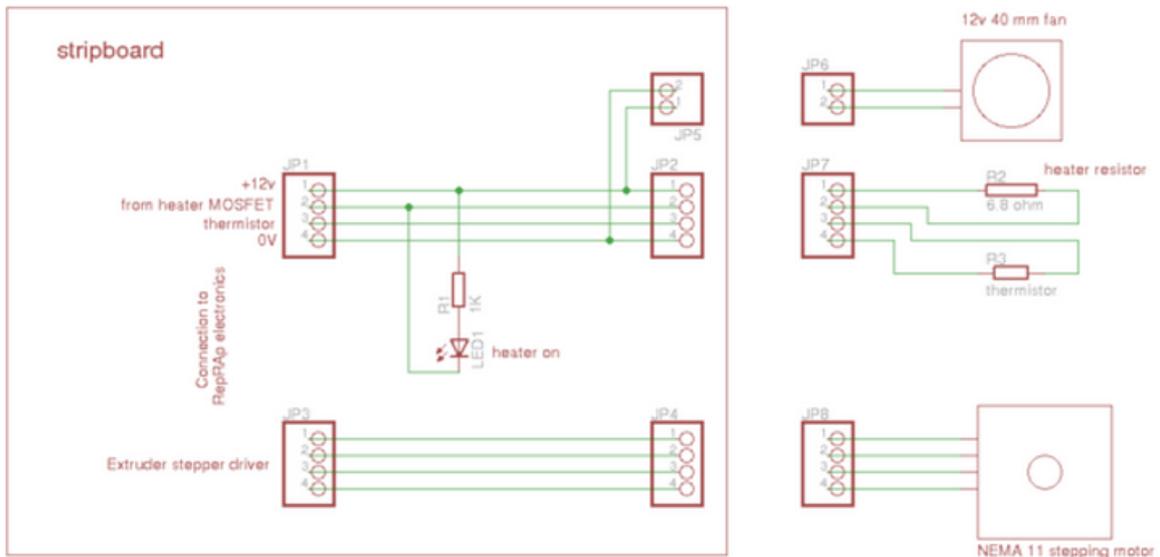


7: Tomamos el motor NEMA 11 Compact, al cual fijamos al eje la Polea engranaje extrusor con una tuerca M3 y un tornillo sin cabeza M3 de 10mm (se puede limar un poco el eje del motor para que el tornillo fije mejor).

8: Fijamos el motor en su sitio con 4 tornillos M3 de 10mm.

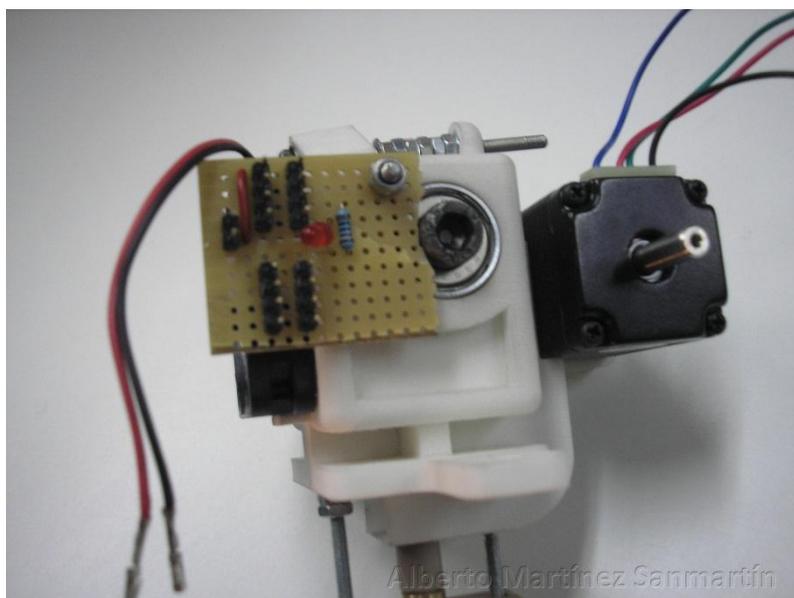


9: Tomamos una plaquita de conexiones de unos 25x20mm a la cuál soldamos 4 conexiones de 4 pines y uno de 2, un diodo LED y una resistencia, como se muestra en las figuras. Cortamos para que encaje en su sitio y hacemos un agujero en la parte inferior para fijarlo al bloque extrusor.



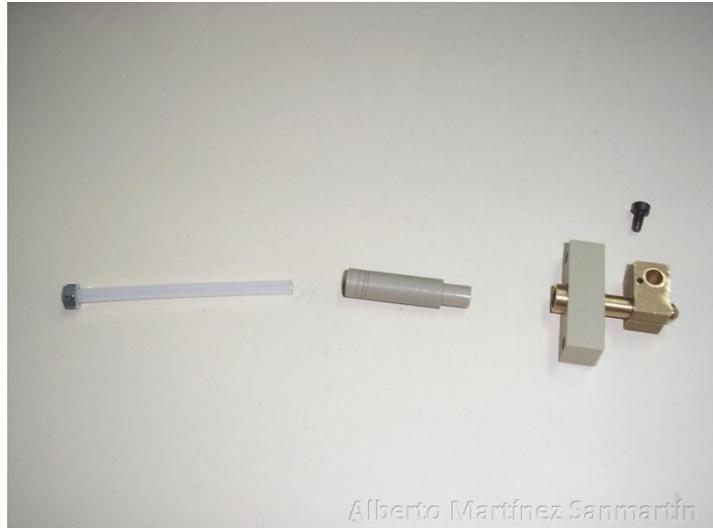
NOTA: Es muy importante cortar o limar las pistas traseras de conexión por la parte superior del agujero de fijación para que el tornillo no haga cortocircuito entre ellas.

10: Fijamos la plaquita al bloque extrusor usando la parte de la varilla roscada que sobresale como se muestra en la figura y fijamos con una o 2 tuercas M3.



11: Tomamos el Tubo de PTFE al cual roscamos una tuerca M3 en su extremo y cortamos lo que sobresalga. Introducimos en el la Pieza aislante PEEK y éste a su vez en la boquilla de cobre.

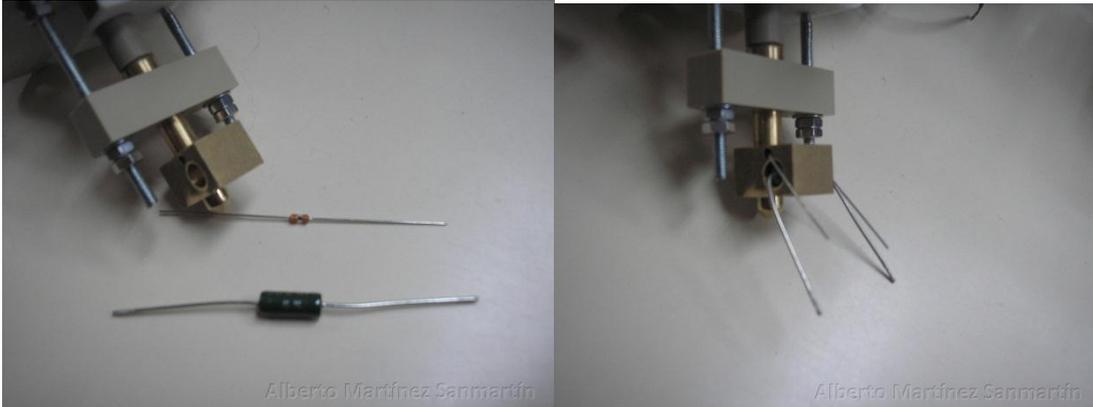
12: Por el otro extremo de la boquilla introducimos la pieza Sujeción boquilla, y la pieza Calefacción boquilla.



13: Fijamos todo al bloque extrusor, introduciéndolo en su sitio y fijando con 2 arandelas M3 y 4 tuercas M3. Fijamos fuertemente y comprobamos que no quede la boquilla torcida. Colocamos la pieza calefactora cerca del extremo de la boquilla y la fijamos fuertemente con un tornillo M3 de 10mm.



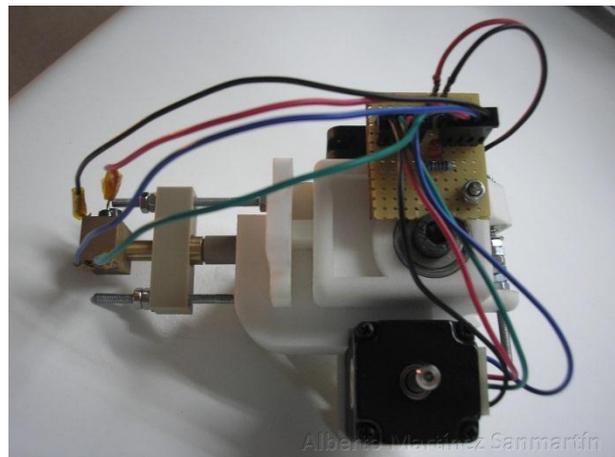
14: Metemos en el interior de la pieza calefactora el termistor de 100K y la resistencia de 10K. Soldamos un cable al extremo de cada uno.



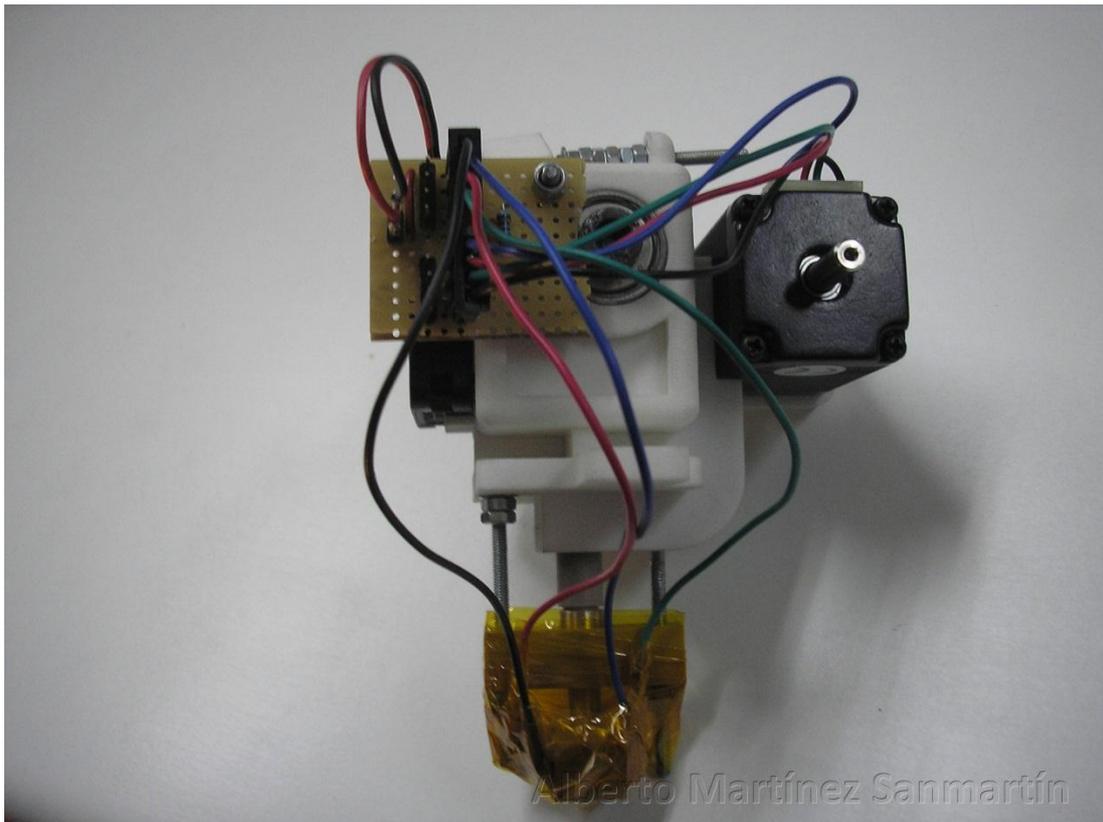
15: Soldamos un conector en el extremo de cada cable (ventilador, motor, resistencia, termistor, etc.). Y colocamos una ficha de conexión en cada uno, como se muestra en la figura. Una de 4 para el motor, otra de 4 para termistor y resistencia y una de 2 para el ventilador, respetando el código de colores que se muestra.



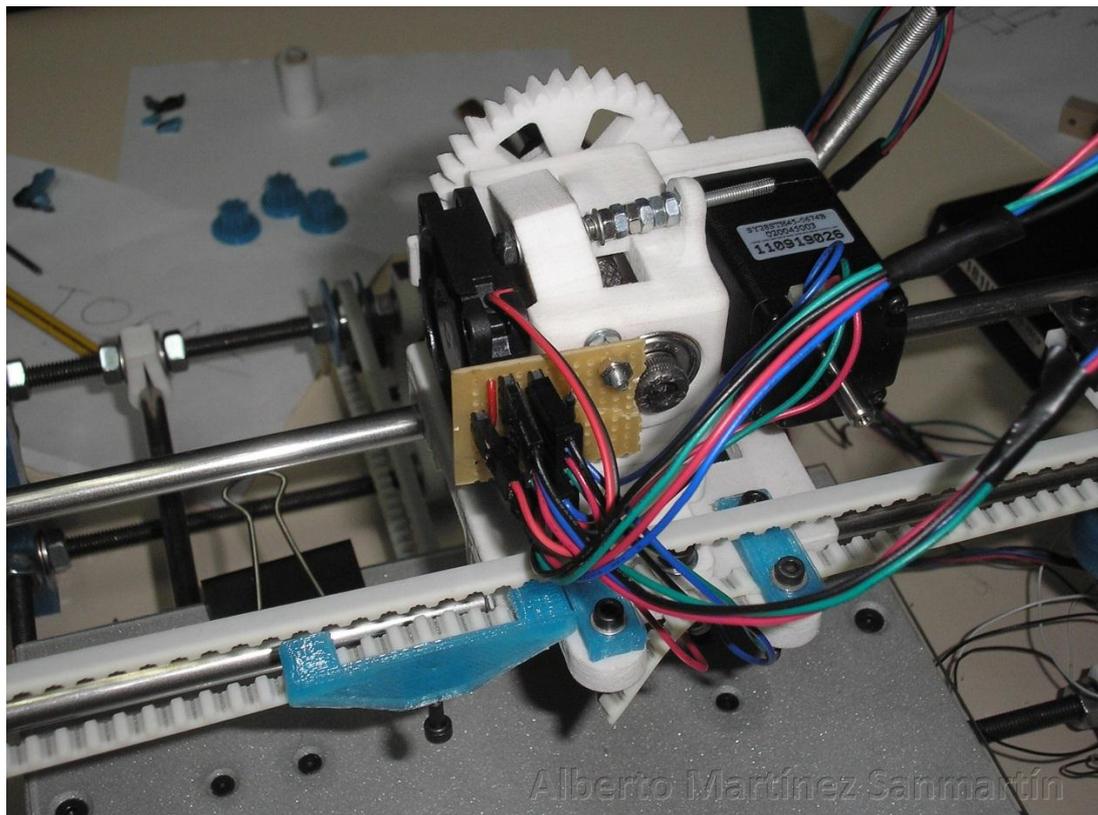
16: Conectamos todo a la plaqueta de conexiones como se muestra en la figura.



17: Forramos con cinta Kapton todo el extremo de la boquilla caliente.



18: Para fijar el extrusor al carro basta con atornillar con 2 tornillos M4 de 10mm a 2 tuercas M4, con 2 arandelas M4; como se muestra en la figura.

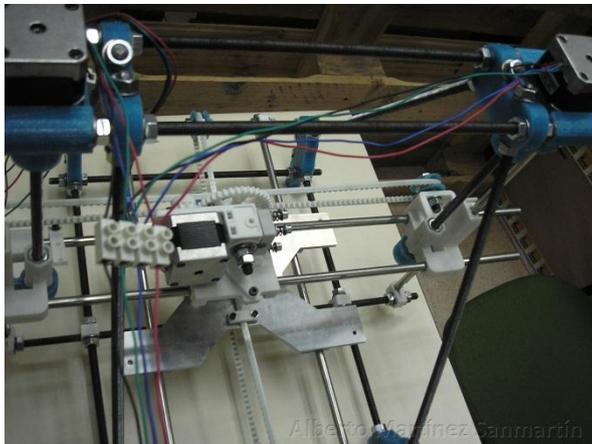


PARTE 15: CONEXIONES ELÉCTRICAS

- 1: Pelamos con cuidado los extremos de cables de cada motor.



- 2: Los cables procedentes de los motores del Eje Z, los empalmamos con ayuda de una ficha obteniendo una sola entrada y poniendo ambos motores en paralelo.



- 3: Colocamos en cada extremo de cables un conector, el cuál con ayuda de unos alicates apretamos al extremo del cable y soldamos.



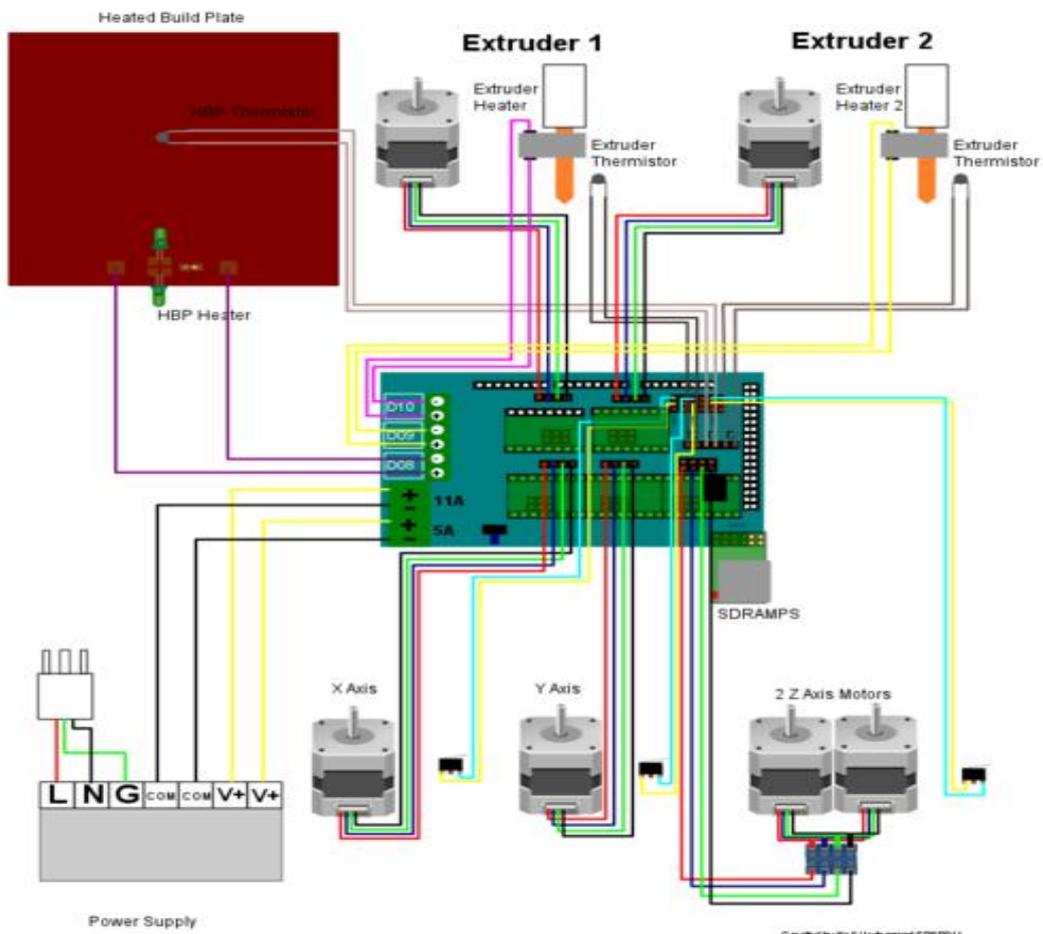
NOTA: Es muy importante hacer bien éstas uniones y con cuidado, ya que si no luego no conectarán correctamente.

4: Introducimos los 4 cables de cada motor en su ficha conectora, respetando el código de colores como se muestra en la figura. ROJO, AZUL, VERDE, NEGRO.



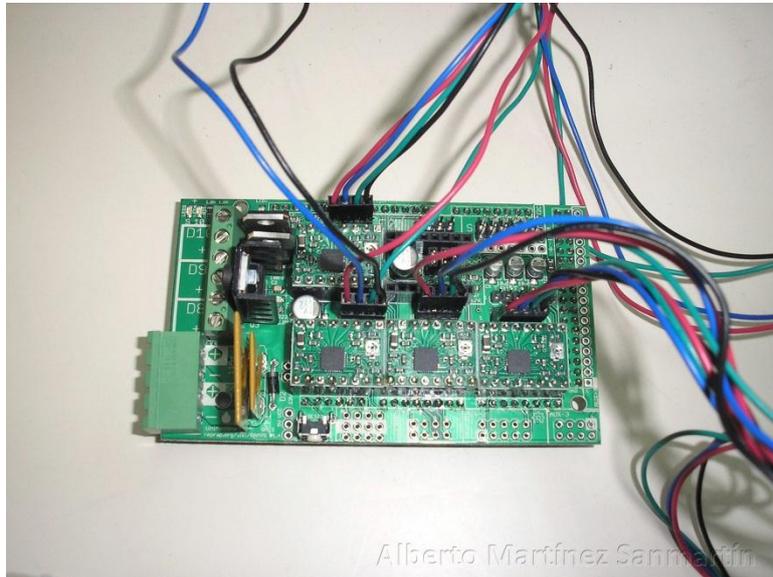
5: Conectamos a la placa RAMPS 1.4 como se muestra en la figura.

RepRap Arduino Mega Pololu Shield 1.4



NOTA: En la figura de conexiones eléctricas se muestra como realizar el montaje con 2 extrusores y cama caliente sin relé. Se puede obviar esa parte y montar como se indica más adelante, ya que debido a la alta intensidad circulante es más seguro realizar la conexión con relé de seguridad. Y completar el montaje solo con el extrusor 1.

6: Conectamos las fichas a la placa de conexiones del bloque extrusor y el otro extremo a la placa RAMPS 1.4.



7: Para poner en funcionamiento la fuente de alimentación no basta con conectar el interruptor de la fuente, es necesario puentear un cable verde y uno negro.



NOTA: Los cables amarillos son de 12V y los negros de 0V. Cuando hablemos de conectar a 12V o a 0V significa conectar un cable amarillo o uno negro.

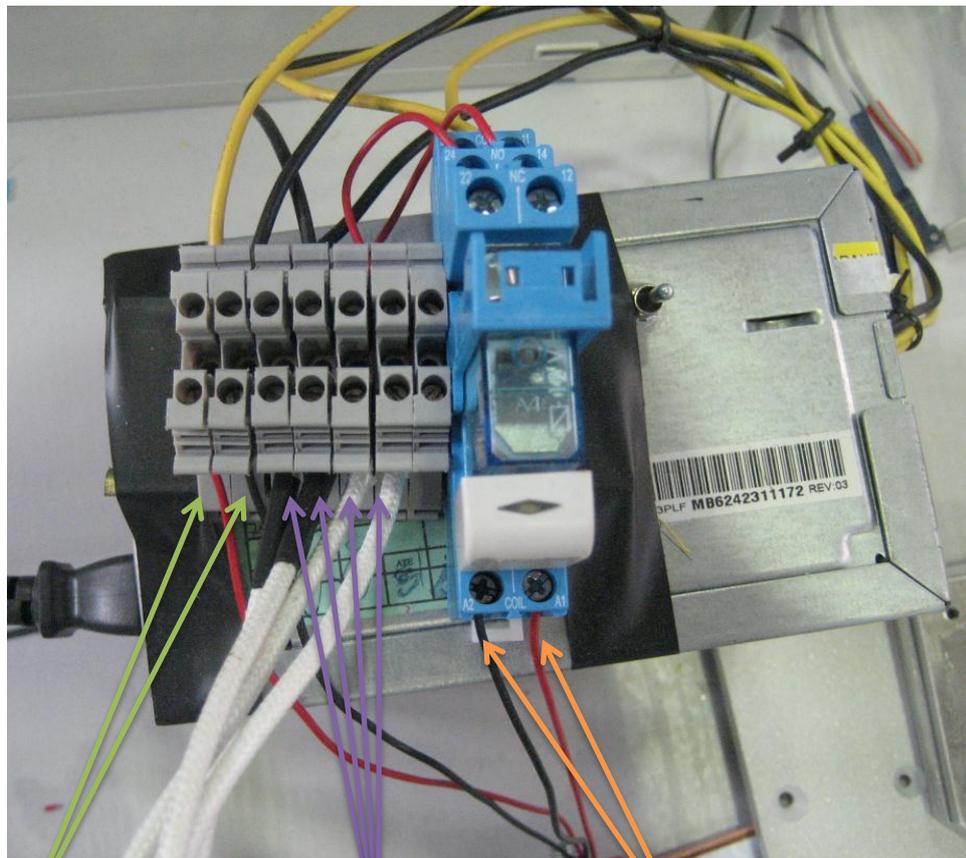
8: Fijamos a la placa de metal las conexiones y el relé como se muestra en la figura.



9: Conectamos la salida D8 de la placa RAMPS 1.4 a la señal de control COIL del relé. Conectamos en los terminales COM del relé 12V y a la salida los cables de las resistencias.

10: En las salidas NO del relé conectaremos los dos pares de resistencias y los otros dos terminales de las resistencias a 0V.

11: Conectamos el resto de terminales como se muestra en la figura.

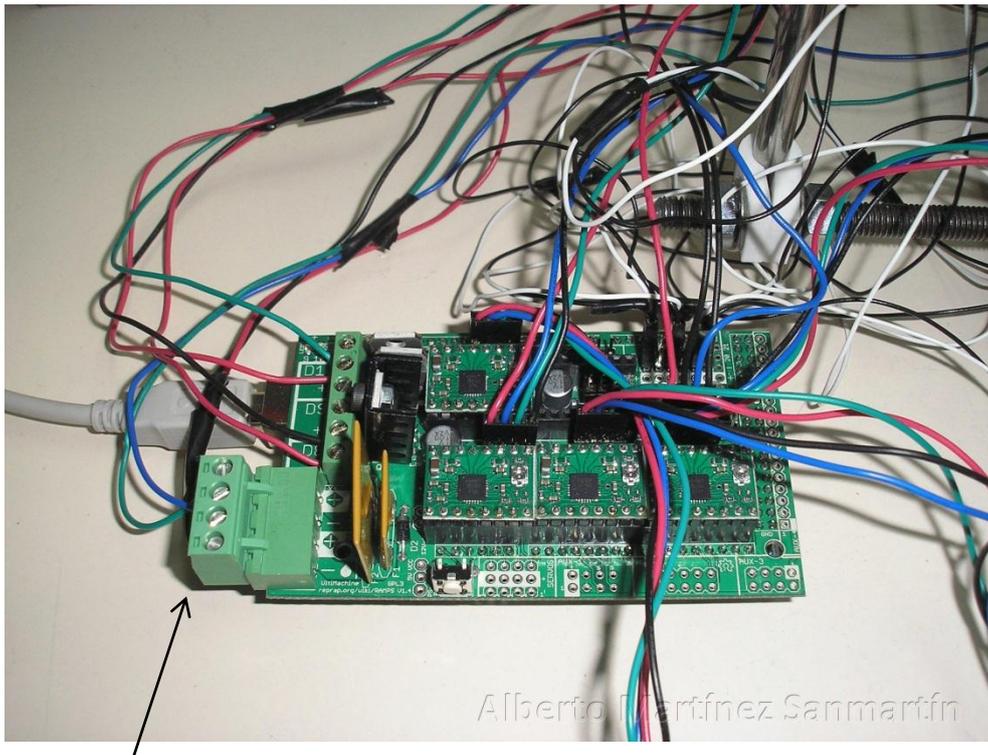


Alimentación

Heated Bed

Salida D8
RAMPS

12: Por último conectamos la alimentación de la plaza RAMPS 1.4, utilizando el conector adecuado, con 2 tomas a 12V y a 0V; como se muestra en la figura.



NOTA: Es necesario alimentara 12V tanto la entrada de 5A como la de 11A.



PARTE 16: FIRMWARE Y SOFTWARE

1: Primero descargaremos e instalaremos el Firmware, esto es el interpretador de GCODE (el lenguaje de control de la máquina) y el control de la máquina que va en la placa Arduino. Para ello descargaremos los siguientes programas o aplicaciones que se indican:

- **Sprinter de Kliment**, descargaremos instalaremos como se indica en la página: <https://github.com/kliment/Sprinter>
- **Git Bash**: Programa que almacena los cambios que realizas en los archivos, para tener un claro registro de los cambios realizados.
- **Edit Plus 3 (o similar)**: es un visualizador de C++. Para poder ver claramente y modificar archivos en C++.

Procedemos a la configuración de Sprinter, para ello abrimos el archivo Configuration.h, dentro de la carpeta Windows/Kliment/Sprinter.

Aquí podemos observar muchos parámetros de control que podemos activar o desactivar quitando o poniendo // delante de la línea de código.

Los parámetros más importantes que debemos modificar son los siguientes: (indicados en nuestro caso, si se tuviera otro hardware poner en cada caso el que corresponda, como indican las opciones del propio archivo)

Definir la placa base: **#MOTHERBOARD 33**

Definir los termistores: **#THERMISTORHEATER 1**
 #THERMISTORBED 1

Paso de los ejes: **float axis_steps_per_unit[] = {79.6, 79.9, 2616, 607.1}**
607.1(miniextruder) o 658.2 (Wade extruder)

Éstos son los valores correctos en ésta máquina, pero varían ligeramente para cada máquina, en el apartado de configuración se indica como calcular los nuevos valores que deben ser sustituidos aquí.

Velocidad de comunicación: **#define BAUDRATE 115200**

Definición tarjeta SD: Como no tenemos tarjeta SD es importante desactivar las líneas referentes a ella: **///**#define SDSUPPORT** **///**#define SDINITFILE******

Configuración finales de carrera: **// Disables axis when it's not being used.**

const bool DISABLE_X = false;

const bool DISABLE_Y = false;

const bool DISABLE_Z = true;

```
const bool DISABLE_E = false;

// Inverting axis direction

const bool INVERT_X_DIR = false;

const bool INVERT_Y_DIR = true;

const bool INVERT_Z_DIR = true;

const bool INVERT_E_DIR = false;
```

Recorrido máximo en los ejes:

```
const int X_MAX_LENGTH = 175;

const int Y_MAX_LENGTH = 160;

const int Z_MAX_LENGTH = 80;
```

Esto limita el recorrido máximo en cada eje, para que se detenga sin chocar al final. Nuevamente para cada máquina tendrá sus valores, pero éstos como primera aproximación están bien.

Definición PID: Como no usamos PID es importante desactivar esta línea

```
// #define PIDTEMP1
```

Activamos el tipo de cama caliente que tenemos:

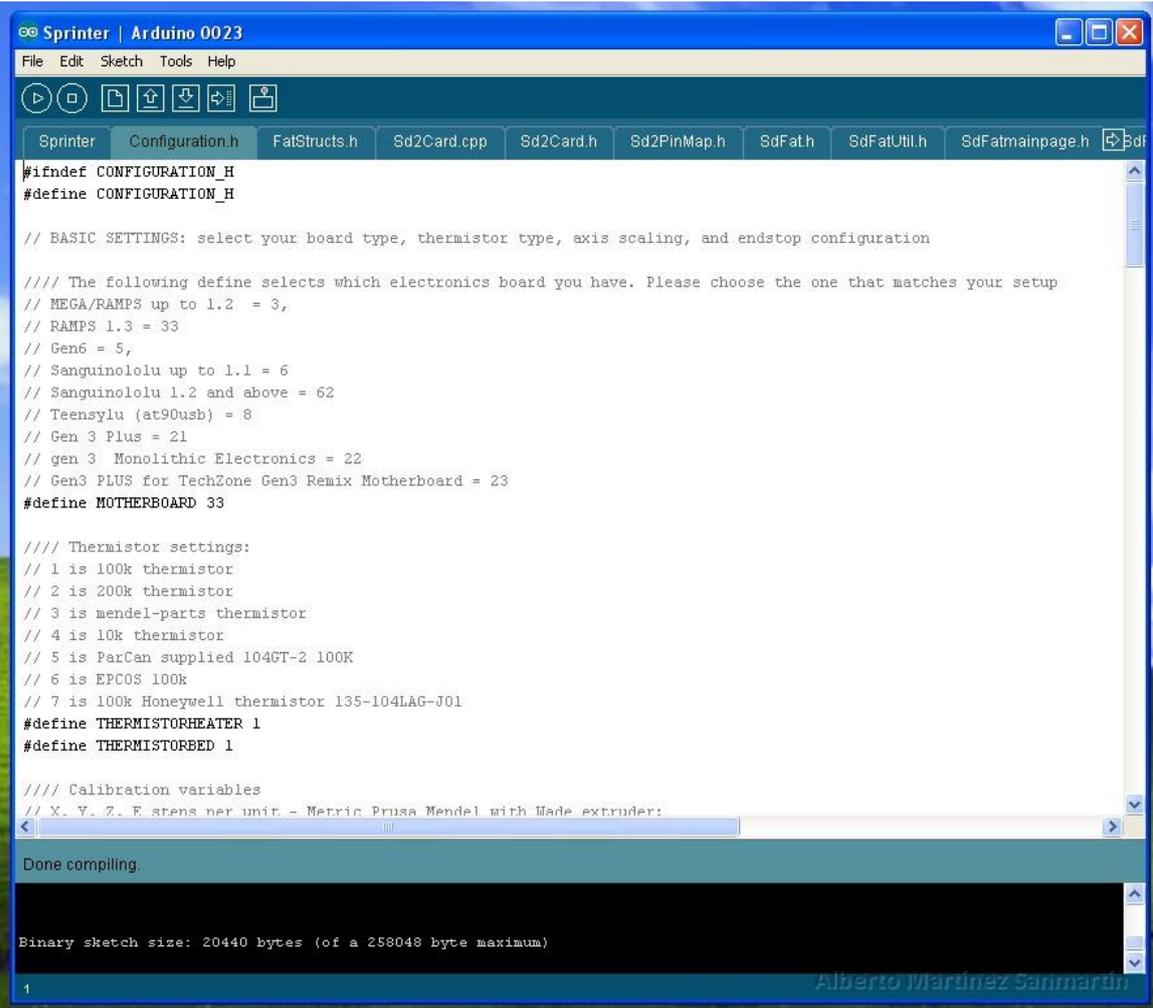
```
#define BED_USES_THERMISTOR
```

Se pueden variar muchos más términos y configuraciones como velocidades, aceleraciones, etc. Pero para empezar a funcionar con ésta configuración es suficiente.

2: Configuración de la placa Arduino, para ello usaremos el programa Arduino que va en arduinoMEGA, el cual nos permite compilar y actualizar la placa.

Abrimos el interface del programa, cargamos el archivo configuration.h que hemos modificado previamente, comprobamos que el puerto que esta enchufada la placa la ordenador y la velocidad de trasferencia coinciden (en nuestro caso, PORT 3; rate 115200) lo compilamos y si todo esta correcto, le damos a actualizar la placa.

Cada vez que realicemos cambios en el configuration.h es necesario volver a compilar y actualizar la placa.



```
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H

// BASIC SETTINGS: select your board type, thermistor type, axis scaling, and endstop configuration

//// The following define selects which electronics board you have. Please choose the one that matches your setup
// MEGA/RAMPS up to 1.2 = 3,
// RAMPS 1.3 = 33
// Gen6 = 5,
// Sanguinololu up to 1.1 = 6
// Sanguinololu 1.2 and above = 62
// Teensylu (at90usb) = 8
// Gen 3 Plus = 21
// gen 3 Monolithic Electronics = 22
// Gen3 PLUS for TechZone Gen3 Remix Motherboard = 23
#define MOTHERBOARD 33

//// Thermistor settings:
// 1 is 100k thermistor
// 2 is 200k thermistor
// 3 is mendel-parts thermistor
// 4 is 10k thermistor
// 5 is ParCan supplied 104GT-2 100K
// 6 is EPCOS 100k
// 7 is 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J01
#define THERMISTORHEATER 1
#define THERMISTORBED 1

//// Calibration variables
// X, Y, Z, E steps per unit - Metric Prusa Mendel with Wade extruder:
```

Done compiling.

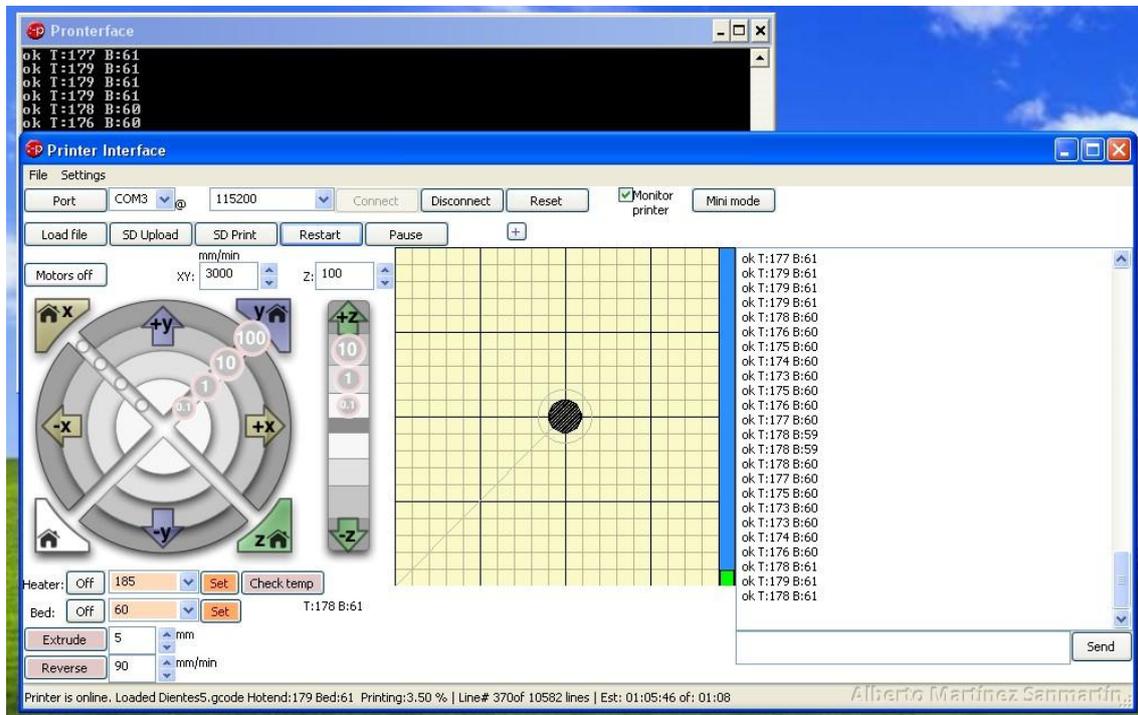
Binary sketch size: 20440 bytes (of a 258048 byte maximum)

1

Alberto Martínez Sanmartín

3: El interface para la impresora usamos Pronterface que está dentro de Printron de Kliment; éste también incorpora el Skeinforge para generar los GCODE, pero nosotros usaremos para esto Slic3r, ya que es más sencillo e intuitivo de usar.

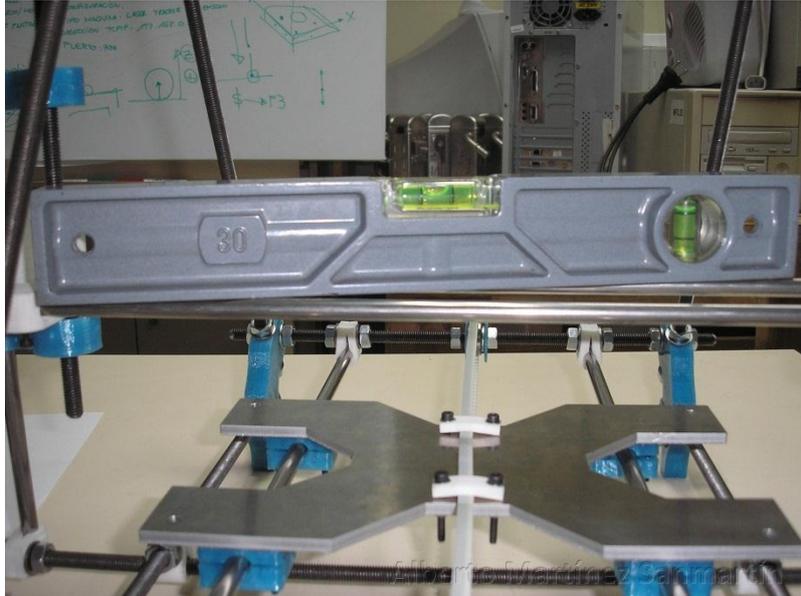
Desde Pronterface podemos mover los diferentes ejes, extrusor así como ver y activar las temperaturas tanto de la cama como de la boquilla. Ahora ya podemos comprobar que todo se mueve correctamente, que funcionan las resistencias y termistores y comenzar a calibrar la máquina.



4: Puede ser de ayuda instalar la versión gratuita de Netfabb Studio o similar, que nos permite manipular .stl (girar, rotar, duplicar, escalar, etc.). Incluso algún programa de diseño 3d.

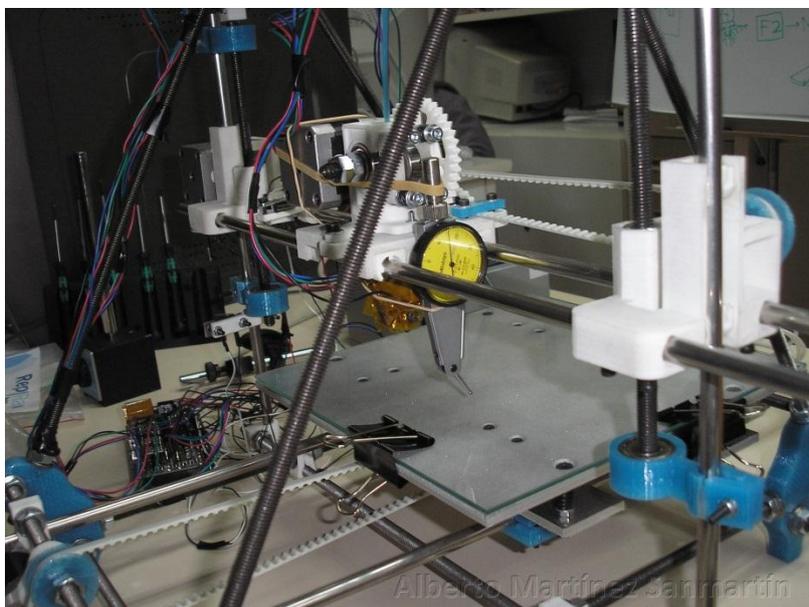
PARTE 17: PUESTA A PUNTO Y CALIBRACIÓN

1: Comprobamos una vez más la horizontalidad del eje X, con un nivel y pie de rey.



2: Primeramente nivelaremos perfectamente la cama, para ello iremos ajustando los tornillos con muelle que la sustentan hasta que quede completamente alineada. Para éste proceso utilizaremos un nivel y un pie de rey; iremos midiendo las distancias de cada tornillo y con el nivel comprobando la horizontalidad.

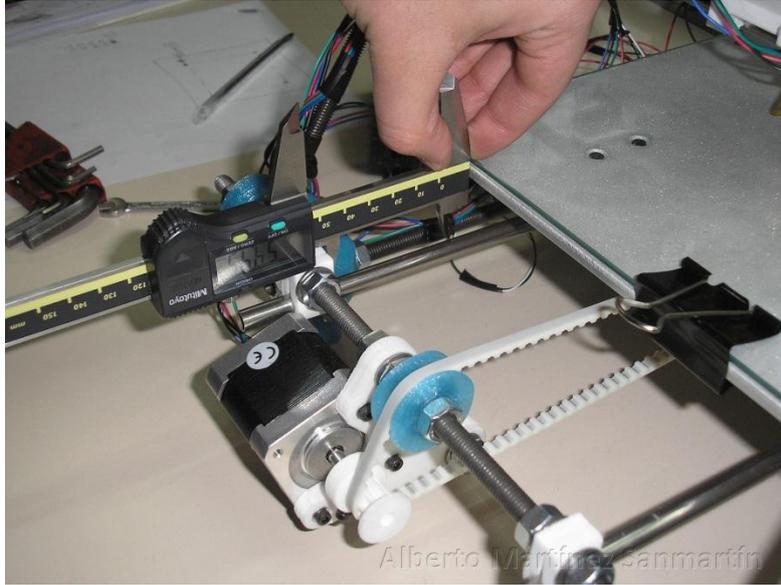
También puede hacerse en caso de disponer de él de un reloj comparador, el cual montado en la boquilla extrusora lo pasaremos por toda la base e iremos ajustando en función de su lectura.



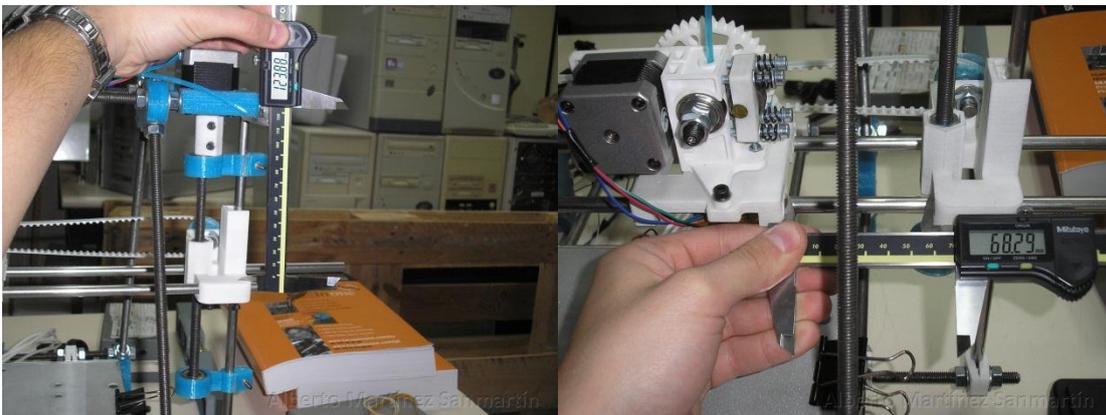
3: Pasamos a calibrar el firmware. Para ello con ayuda de *Pronterface* movemos el eje que queremos calibrar una distancia conocida, por ejemplo 100mm y mediremos con un pie de rey la distancia que ha movido realmente.

Calculamos el nuevo valor de *axis_step_per_unit* de la siguiente manera:

*(Distancia teórica movida/distancia real movida)*axis_step_per_unit*



4: Repetimos éste paso para cada eje, y vamos sustituyendo en el archivo *configuration.h* cada valor en el comando *axis_step_per_unit[X,Y,Z,E]*, repetimos este proceso de forma iterativa las veces que sean necesarias hasta conseguir que la distancia que se mueve sea exactamente la que se ordena desde el programa.



5: Para calibrar el extrusor se hace de la misma manera, solo que medimos la longitud de plástico que entra y hacemos el cálculo frente a la cantidad que le habíamos ordenado. (Es importante medir el filamento, antes de que entre al extrusor, es decir por la parte superior, NO lo distancia que extruye por la boquilla).

6: Ajustamos los finales de carrera de manera que no interfieran con ninguna pieza, ni en el inicio ni en el final del recorrido. Muy importante ajustar perfectamente el final de carrera del eje Z, el cuál lo colocaremos de manera que al tocarlo, la boquilla extrusora esté prácticamente en contacto con la mesa caliente.

7: Comprobamos con una prueba empírica la calibración, para lo que haremos varias pruebas de impresión, imprimiendo un cubo de prueba y una moneda de prueba.

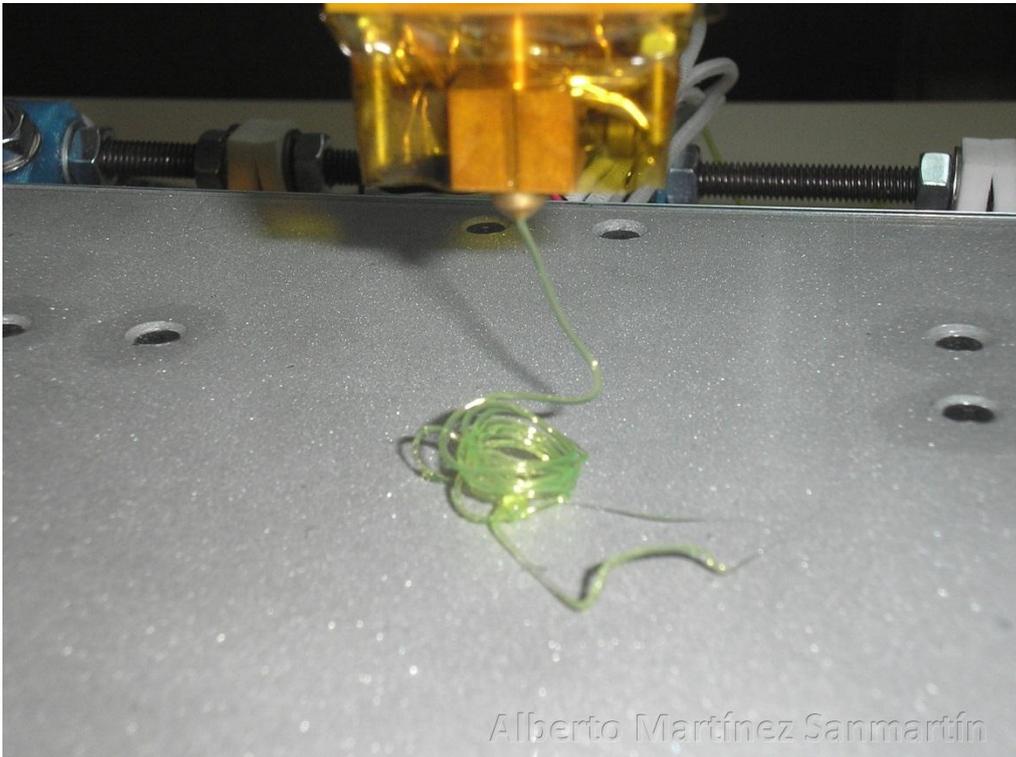
Descargar Cubo: <http://www.learobotics.com/downloads/2011-12-18-Prusa-R2D2/test-parts/cube/cube-20-20-10.stl>

Descargar Moneda: <http://www.learobotics.com/downloads/2011-12-18-Prusa-R2D2/test-parts/coin/coin.stl>

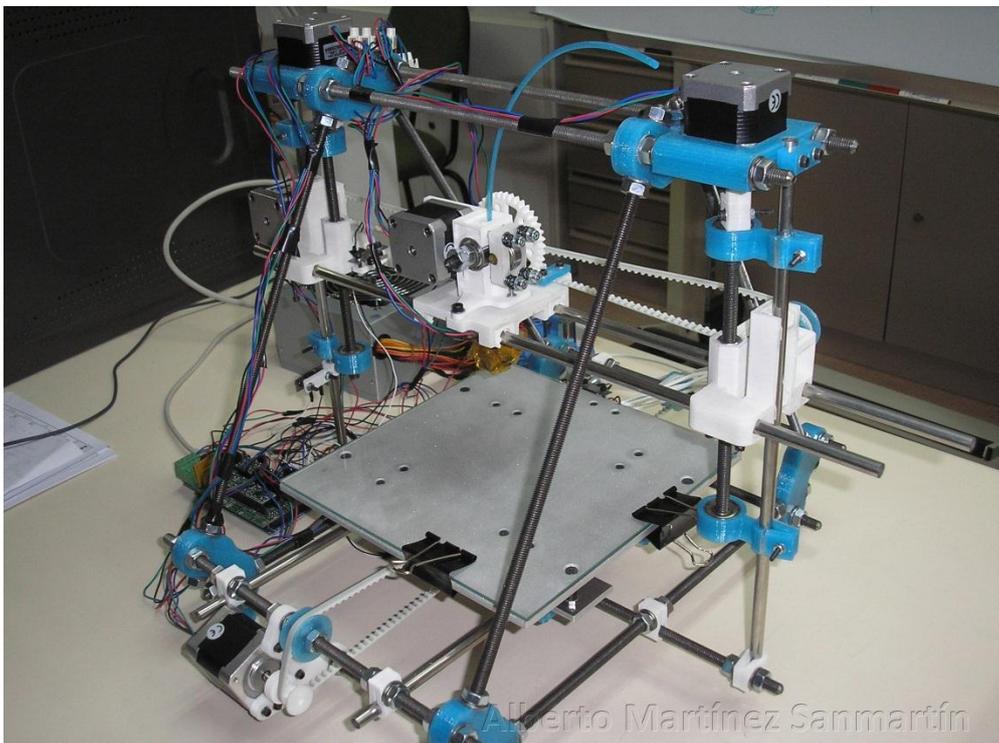
Aquí podemos comprobar si realmente está todo bien calibrado y correcto midiendo sobre la misma pieza. Si no coinciden las dimensiones quizás sea necesario ajustar algún eje, dar más tensión alguna correa, o comprobar cuál puede ser la causa de la desviación.



8: En función del color y dimensiones del plástico, es necesario variar la temperatura de extrusión unos pocos grados, para ello necesitamos hacer varias pruebas hasta comprobar con que temperatura fluye correctamente (ni muy líquido, ni demasiado espeso y que no se aprecien burbujas internas en el material extruido).



9: Una vez todo está correcto ya estamos listos para comenzar a imprimir.



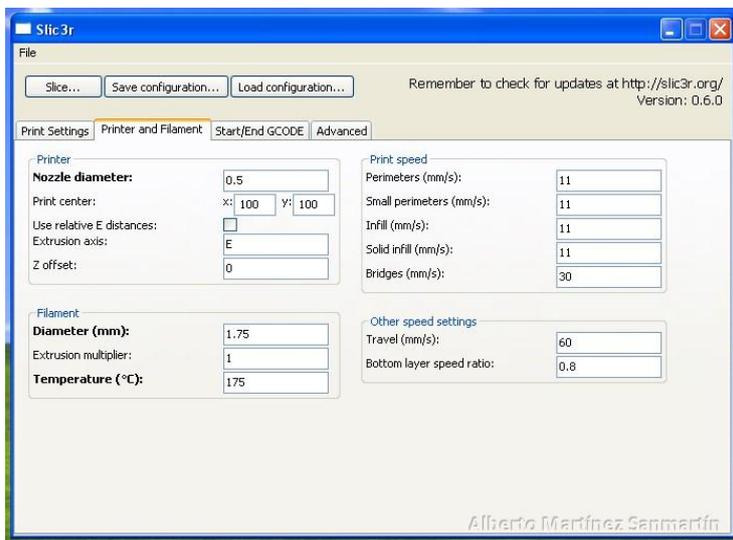
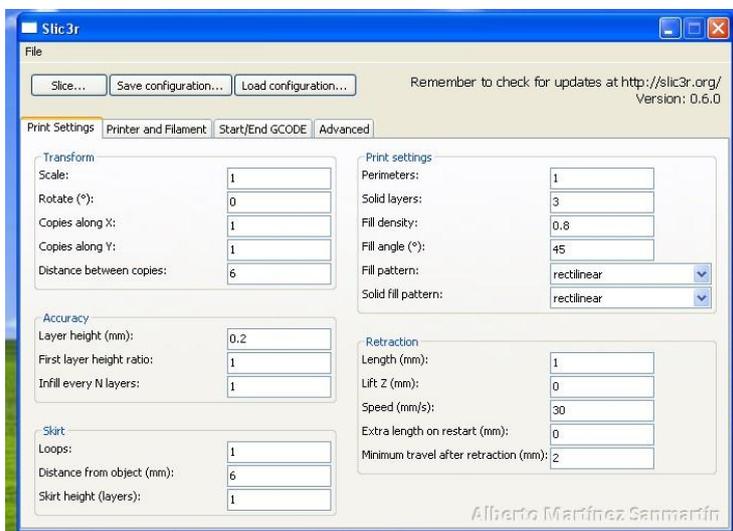
GUÍA DE IMPRESIÓN

A continuación se detallan los pasos para imprimir una o varias piezas.

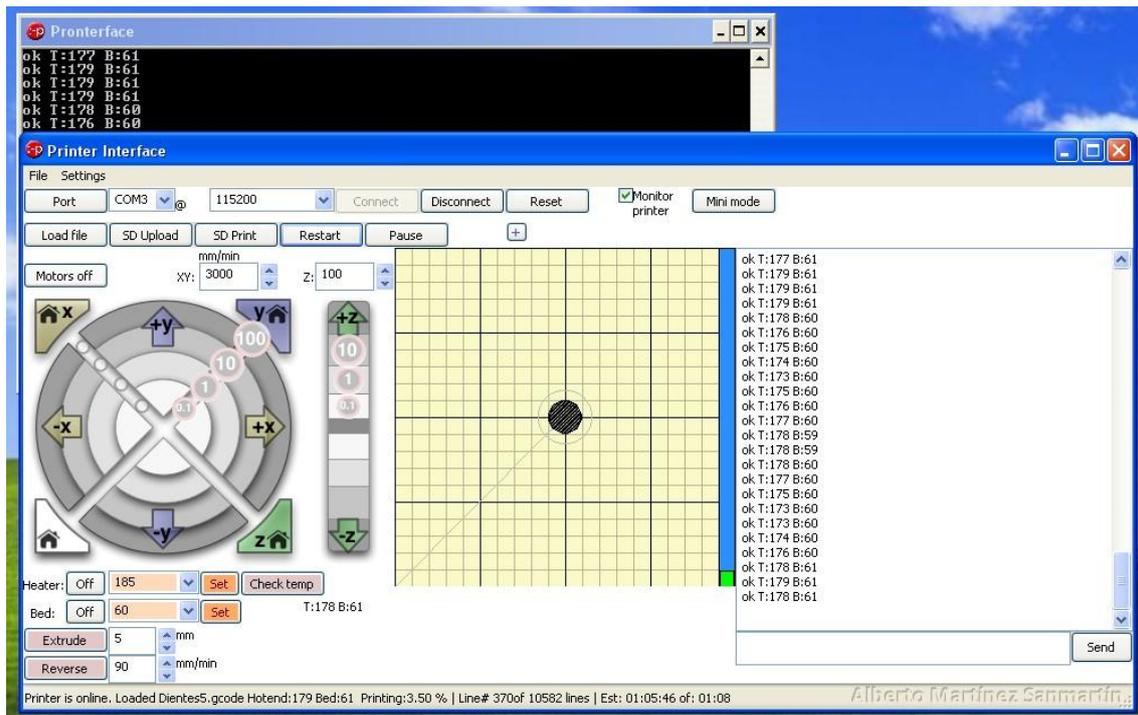
Primeramente debemos exportar la pieza 3D que deseamos imprimir a formato .stl, esto lo permite casi cualquier programa de modelado 3D.

Una vez tenemos el .stl de la pieza, podemos abrirlo con Netfabb Estudio u otro programa de modificación de .stl para comprobar que la orientación, escala y demás factores es la correcta. Debemos tener en cuenta que la pieza no debe contener cornisas u ángulos salientes muy pronunciados ya que la máquina no es capaz de imprimirlo, por ello es muy importante la orientación de la pieza.

Seguidamente ejecutamos Slic3r (Skeinforge u otro programa generador de GCODE). Aquí configuramos los parámetros de impresión que deseamos como numero de capas, temperaturas, diámetro del filamento y de la boquilla; así como el número de piezas o velocidades de impresión. (Existen bastantes parámetros modificables, todos ellos muy intuitivos una vez ejecutado el programa).

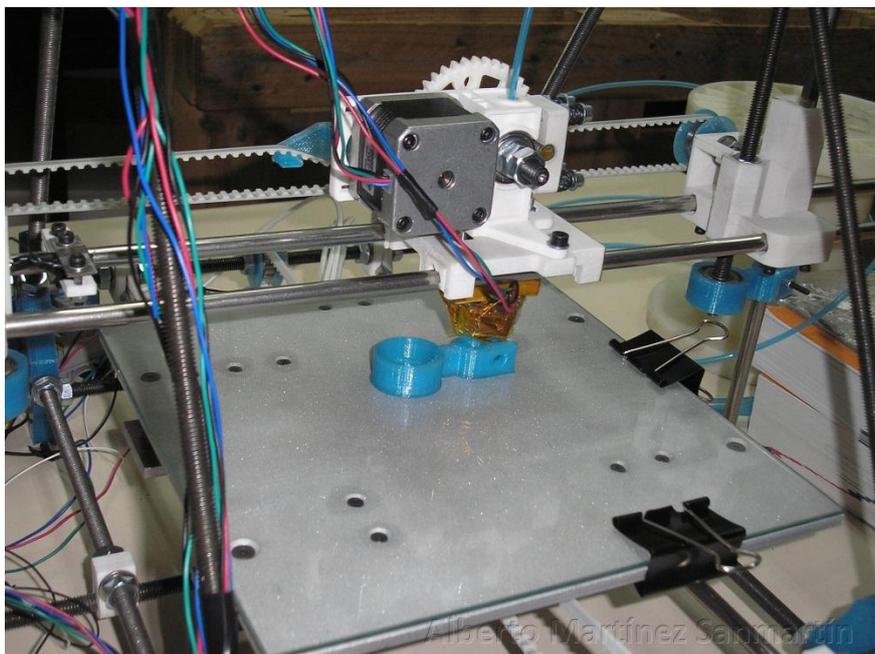


Una vez generado el archivo GCODE (el cual es accesible y modificable, como archivo de texto), debemos cargarlo en Pronterface.



Activamos y esperamos a que las temperaturas alcancen los grados deseados, extruimos un poco de material para comprobar que todo funciona correctamente.

Damos a imprimir y automáticamente la máquina hará un *Home* (ira a los 3 finales de carrera) y comenzará a imprimir.



Una vez finalizada la impresión, es recomendable extraer todo el vidrio sobre el que se ha impreso y dejar que se enfríe antes de intentar extraer la pieza. Así sale con facilidad y evitamos que se deforme.

Limpiar bien el vidrio antes de una nueva impresión para evitar restos o partículas que podrían estropear la próxima pieza.

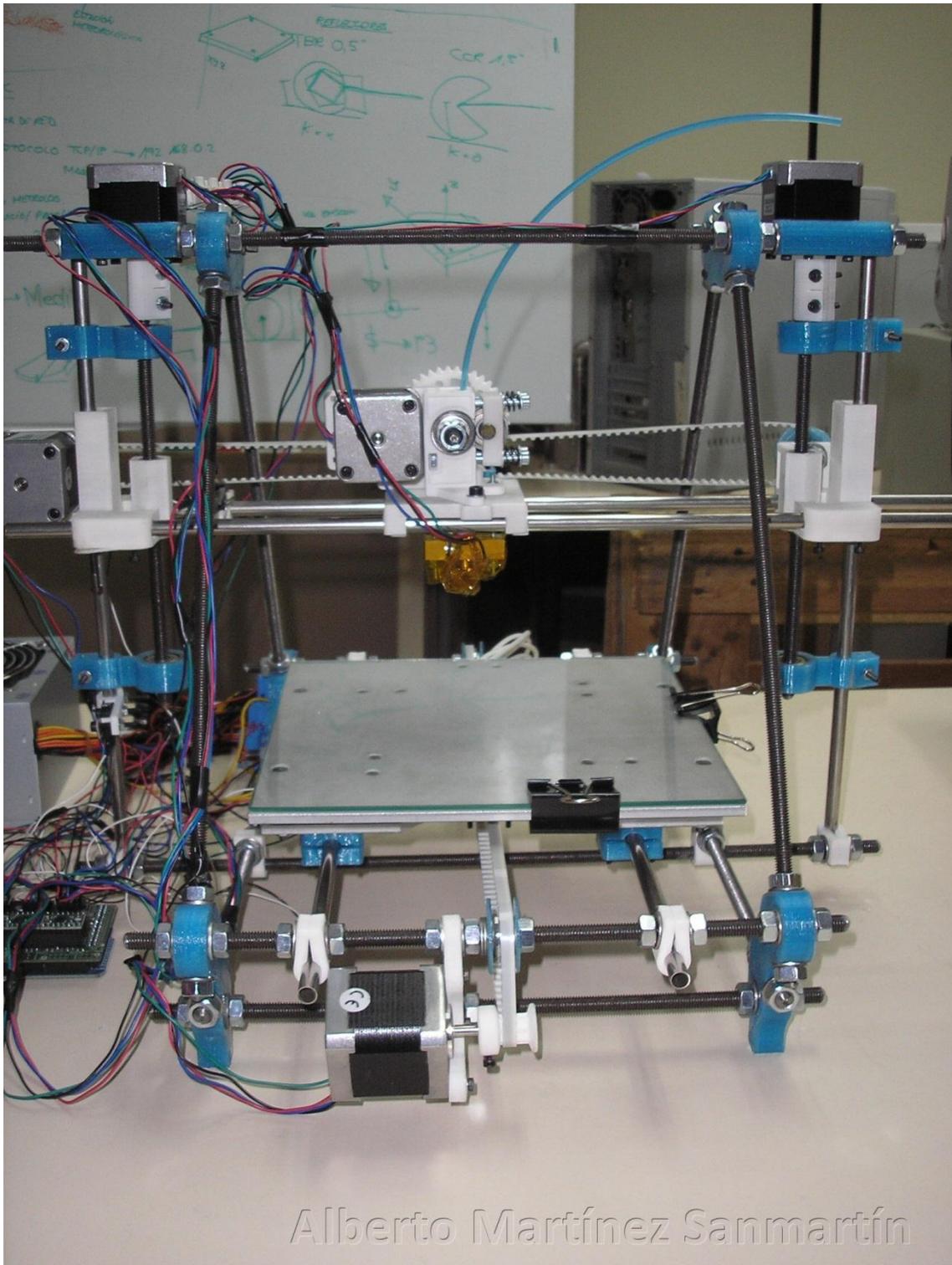


TABLA DE TIEMPOS DE MONTAJE

PARTE 1	Apartados	Tiempo (min.)
	1-3	30
	4-5	20
	Sub-Total:	50
PARTE 2	Apartados	Tiempo (min.)
	2-4	20
	5	5
	Sub-Total:	25
PARTE 3	Apartados	Tiempo (min.)
	1-4	10
	5	2
	Sub-Total:	12
PARTE 4	Apartados	Tiempo (min.)
	1-2	10
	3	20
	Sub-Total:	30
PARTE 5	Apartados	Tiempo (min.)
	1-2	20
	3-6	20
	Sub-Total:	40
PARTE 6	Apartados	Tiempo (min.)
	1-2	10
	2-5	20
	6-7	15
	Sub-Total:	45
PARTE 7	Apartados	Tiempo (min.)
	1-2	5
	3-4	10
	Sub-Total:	15
PARTE 8	Apartados	Tiempo (min.)
	1	20
	2	10
	3	20
	4	20
	5	15
	6	10
	7-8	10
	9-11	20
	Sub-Total:	125

PARTE 10	Apartados	Tiempo (min.)
ELECTRÓNICA	1-4	60
	5-8	30
	9-12	40
	Sub-Total:	130
PARTE 11	Apartados	Tiempo (min.)
CAMA CALIENTE	1-3	5
	4-5	20
	6-8	10
	8-11	30
	Sub-Total:	65
PARTE 12	Apartados	Tiempo (min.)
FINALES DE CARRERA	1	15
	2-3	20
	Sub-Total:	35
PARTE 13	Apartados	Tiempo (min.)
WADE'S EXTRUDER	1-3	5
	4-6	10
	7-10	20
	11-15	10
	16-17	30
	Sub-Total:	75
PARTE 14	Apartados	Tiempo (min.)
MINIEXTRUDER	1	15
	2-4	15
	5-8	20
	9-10	30
	11-13	20
	13-16	20
	17-18	5
	Sub-Total:	125
PARTE 15	Apartados	Tiempo (min.)
CONEXIONES ELÉCTRICAS	1-4	40
	5-7	15
	8-12	30
	Sub-Total:	85
PARTE 16	Apartados	Tiempo (min.)
FIRMWARE	1-4	60

PARTE 9	Apartados	Tiempo (min.)
	1-4	10
	5-6	5
	7	10
	Sub-Total:	25

PARTE 17	Apartados	Tiempo (min.)
CALIBRACIÓN	1-7	40
	7-9	60
	Sub-Total	100

TOTAL 17,37 horas



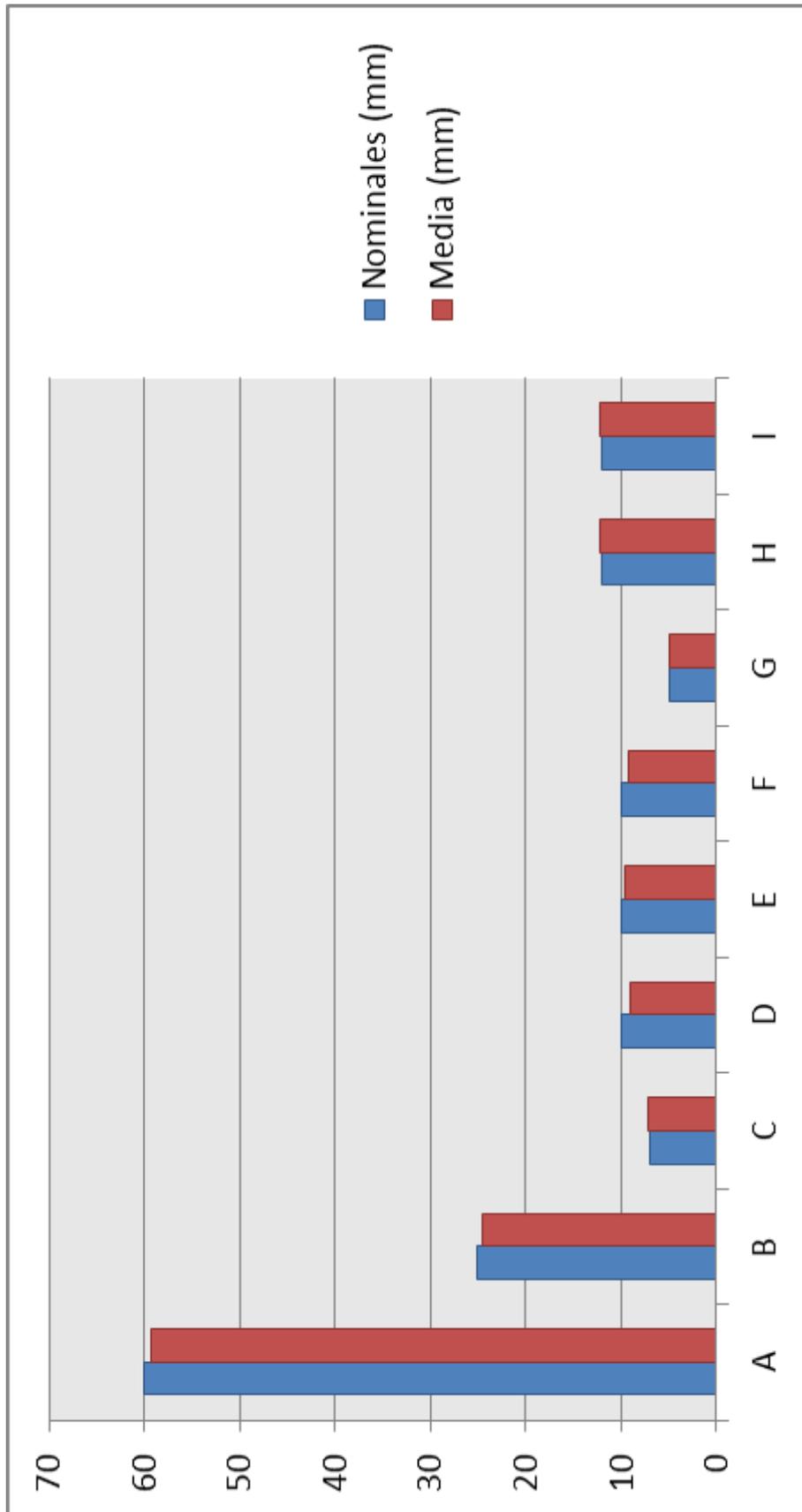
ANEXO 2

Estudio de precisión

Anexo 2.1. Comparación de medidas.

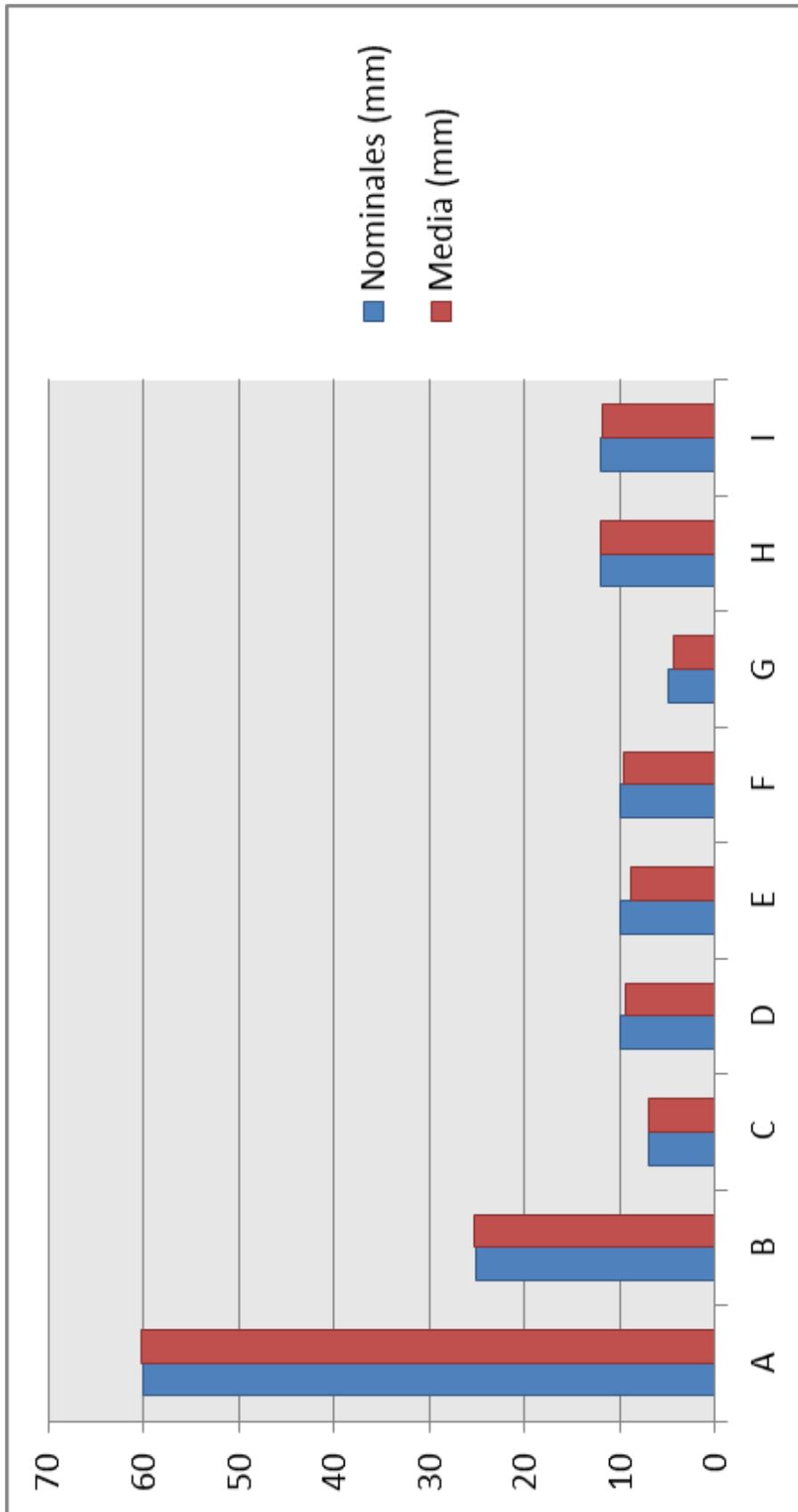
ANEXO 2.1.1 MiniExtruder.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Nominales (mm)	60	25	7	10	10	10	5	12	12
MiniExtruder	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Medida 1	59,13	24,48	7	9,05	9,44	9,1	5,03	12,24	12,18
Medida 2	59,16	24,45	7,03	9,2	9,58	9,33	4,91	12,24	12,13
Medida 3	59,23	24,5	7,06	9,14	9,48	9,22	4,95	12,23	12,14
Medida 4	59,21	24,63	7,14	9,07	9,44	9,22	5,15	12,36	12,18
Medida 5	59,13	24,65	7,26	8,88	9,56	9,72	4,95	12,27	12,17
Medida 6	59,11	24,57	7,28	9,24	9,45	9,03	5,01	12,23	12,2
Medida 7	59,3	24,52	7,15	8,91	9,66	9,3	4,92	12,21	12,18
Medida 8	59,25	24,48	7,27	9,06	9,63	9	4,98	12,22	12,14
Medida 9	59,23	24,52	7,07	9,3	9,51	9,31	4,92	12,7	12,19
Medida 10	59,22	24,43	7,11	8,98	9,77	8,79	4,98	12,24	12,13
Media (mm)	59,20	24,52	7,14	9,08	9,55	9,20	4,98	12,29	12,16
MiniExtruder	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Nominales (mm)	60	25	7	10	10	10	5	12	12
Media (mm)	59,20	24,52	7,14	9,08	9,55	9,20	4,98	12,29	12,16
Error MiniExtruder (mm)	-0,80	-0,48	0,14	-0,92	-0,45	-0,80	-0,02	0,29	0,16

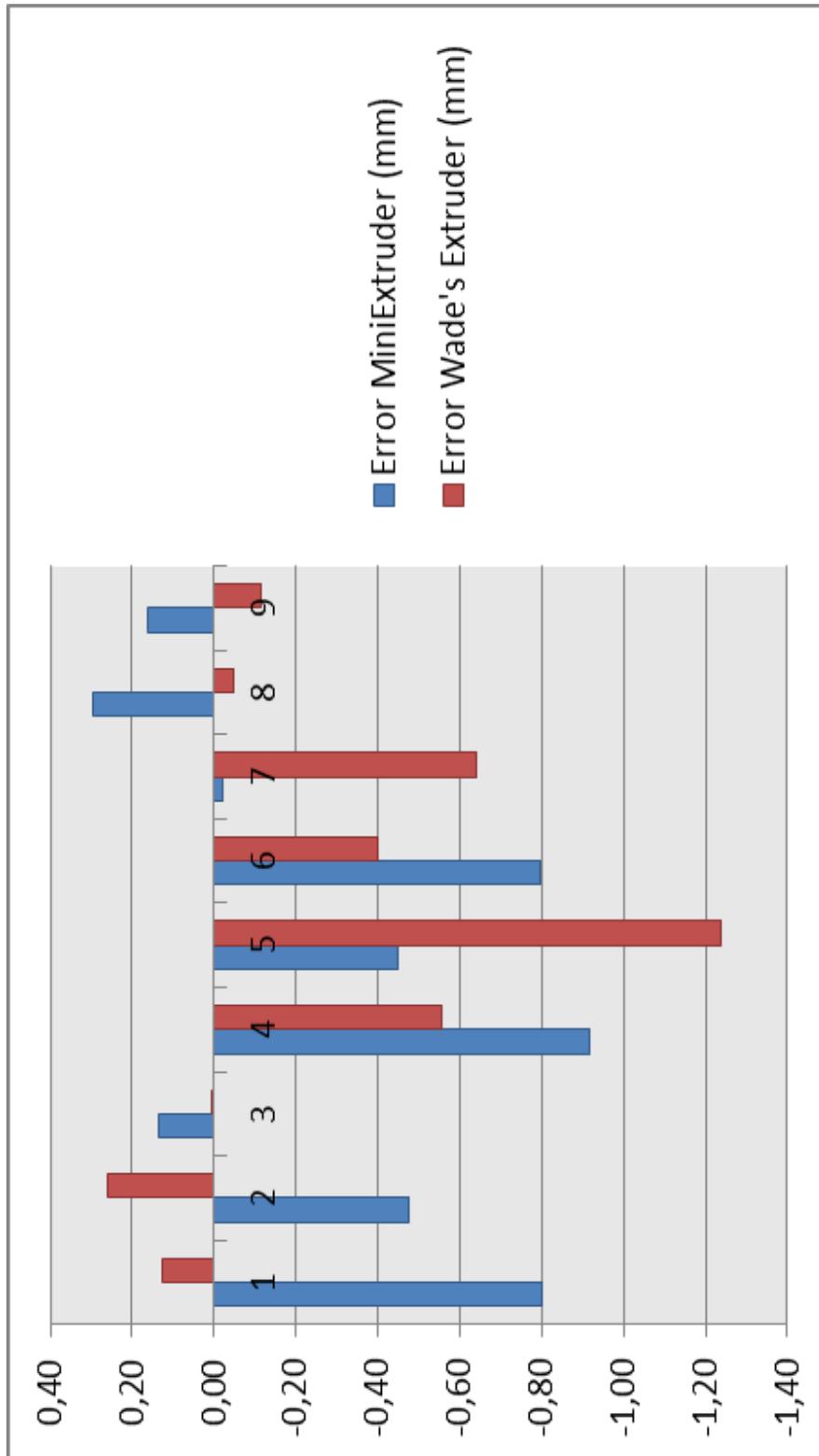


ANEXO 2.1.2 Wade's Extruder.

Wade's Extruder	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Medida 1	59,97	25,34	7,03	9,28	9,91	9,58	5,09	12	11,98
Medida 2	60,11	25,33	6,97	9,64	9,45	9,11	4,26	11,89	11,91
Medida 3	60,3	25,24	7,05	9,32	9,54	9,52	4,32	12	11,88
Medida 4	60,24	25,09	6,95	9,42	9,95	9,55	4,46	11,98	11,86
Medida 5	60,28	25,02	6,97	9,27	9,65	9,87	4,1	11,99	11,89
Medida 6	60,34	25,04	7,07	9,29	8,88	9,74	4,3	11,98	11,89
Medida 7	60,3	25,47	7,05	9,13	8,97	9,06	4	11,89	11,87
Medida 8	60,06	25,51	7,08	9,49	5,71	9,3	4,28	11,96	11,89
Medida 9	60,07	25,48	6,9	9,42	9,32	9,66	4,23	11,92	11,88
Medida 10	59,96	25,05	6,93	9,41	9,37	9,91	4,38	11,95	11,79
Media (mm)	60,16	25,26	7,00	9,37	9,08	9,53	4,34	11,96	11,88
Wade's Extruder	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Nominales (mm)	60	25	7	10	10	10	5	12	12
Media (mm)	60,13	25,26	7,00	9,44	8,76	9,60	4,36	11,95	11,89
Error Wade's Extruder (mm)	0,13	0,26	0,00	-0,56	-1,24	-0,40	-0,64	-0,05	-0,11



ANEXO 2.1.3. Gráfica del error medio.

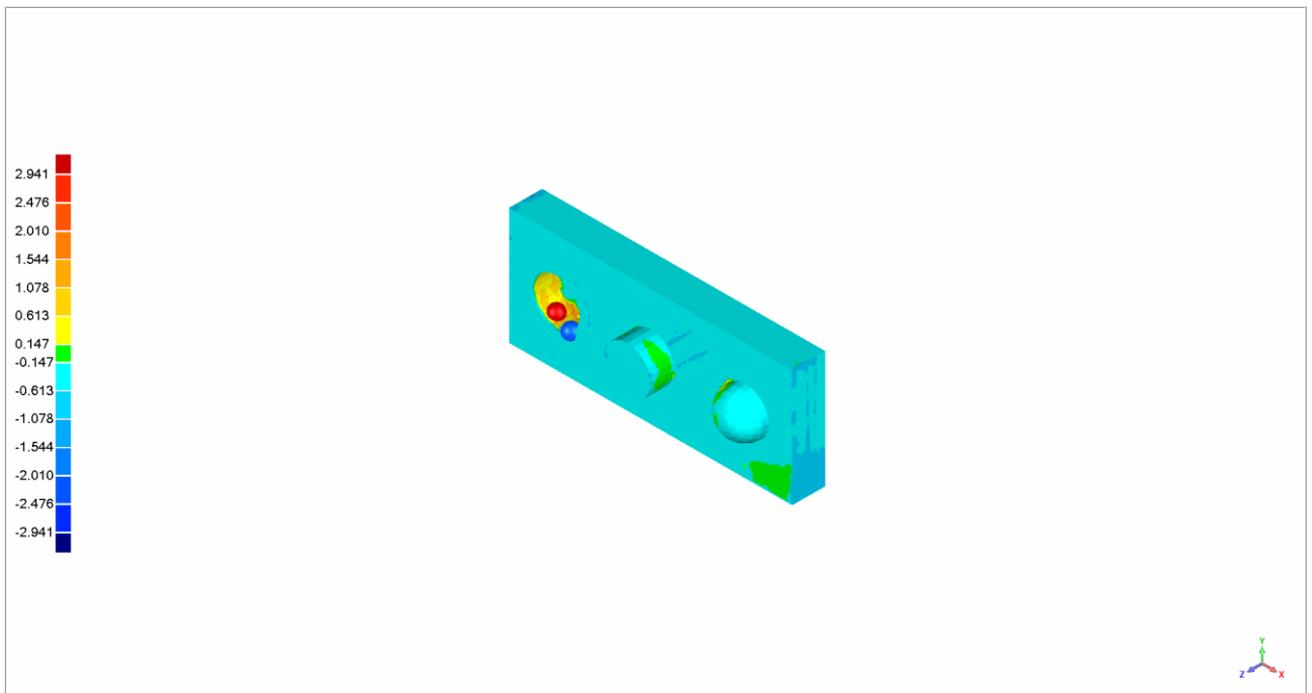


ANEXO 2.2.1 MiniExtruder.

Informe calificación Geomagic

Fecha inspeccionada: 6/7/2012

Fecha generada: 6/7/2012, 8:11 pm



Modelo referencia: PiezaPrueba

Modelo test: MiniExtruder

Estadísticas de alineación

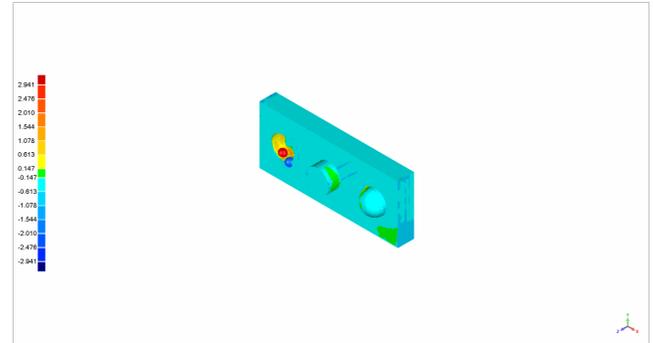
Error medio: 0.376mm

Longitud máx. del modelo: 59.999mm

Nombre de alineación: Alineación de ajuste perfecto: PiezaPrueba (1)

3D Comparación Resultados

Modelo referencia	PiezaPrueba
Modelo test	MiniExtruder
Nº de puntos de datos	135295
# Aislados	834



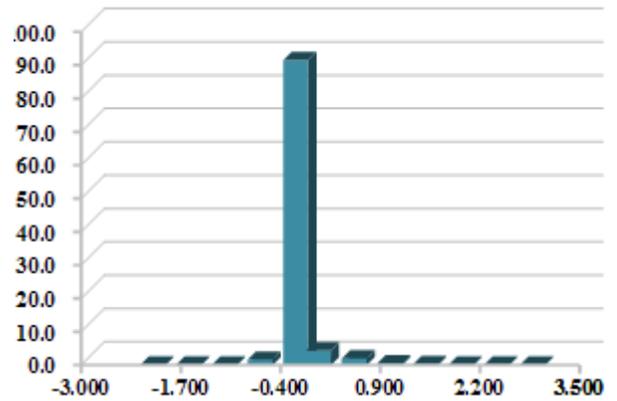
Tipo tolerancia	3D desviación
Unidades	mm
Máx. crítico	2.941
Máx. nominal	0.147
Mín. nominal	-0.147
Mín. crítico	-2.941

Desviación	
Máx. desviación superior	2.941
Máx. desviación inferior	-2.067
Desviación media	0.315 /-0.384
Desviación estándar	0.188

Deviation Distribution

Distribución desviación

>=Min	<Max	# Puntos	%
-2.941	-2.476	0	0.000
-2.476	-2.010	1	0.001
-2.010	-1.544	32	0.024
-1.544	-1.078	29	0.021
-1.078	-0.613	2124	1.570
-0.613	-0.147	123832	91.527
-0.147	0.147	5886	4.350
0.147	0.613	2581	1.908
0.613	1.078	638	0.472
1.078	1.544	141	0.104
1.544	2.010	18	0.013
2.010	2.476	8	0.006
2.476	2.941	4	0.003

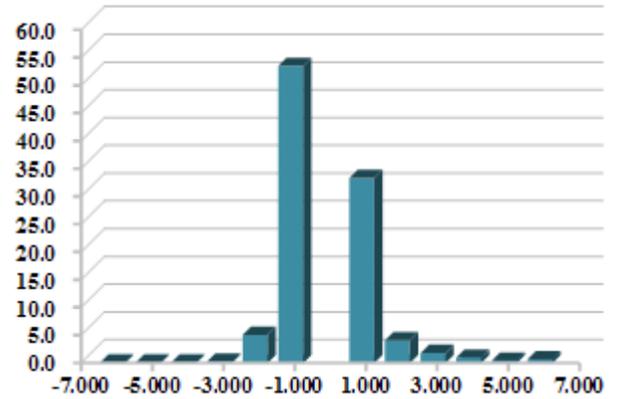


Fuera del crítico superior	1	0.001
Fuera del crítico inferior	0	0.001

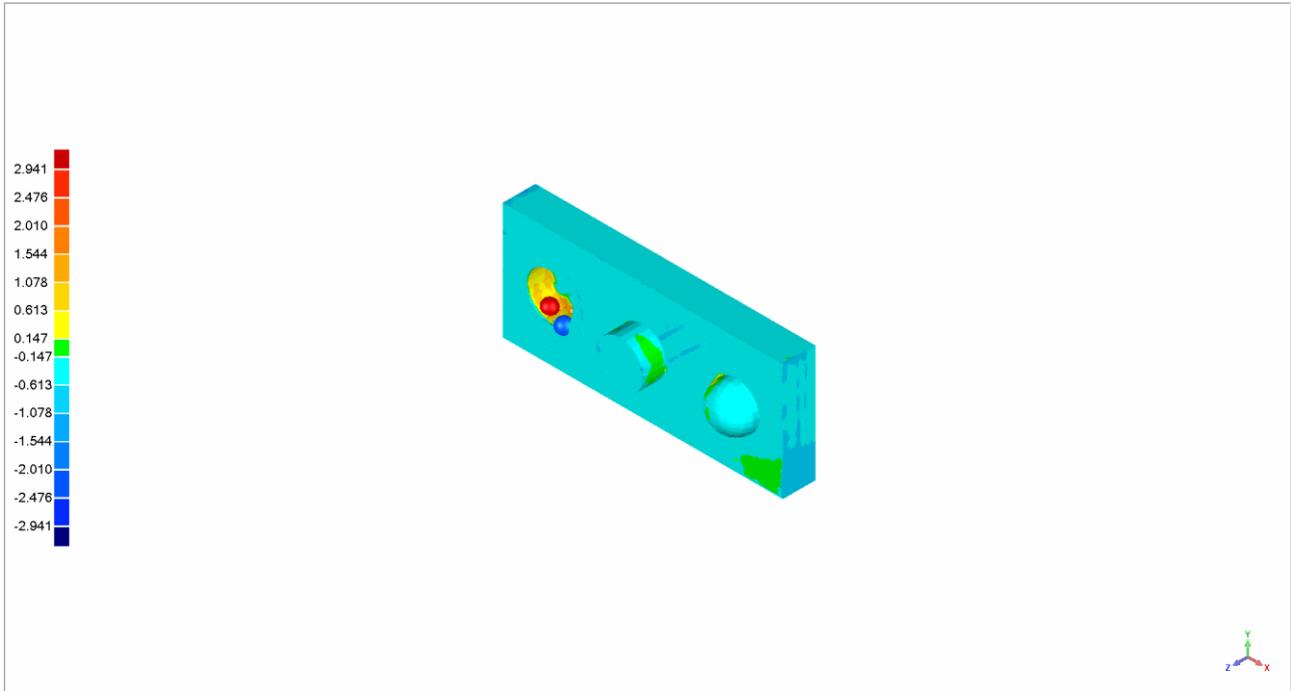
Desviaciones estándar

Distribución (+/-)	# Puntos	%
-6 * Desv. estándar.	50	0.037
-5 * Desv. estándar.	10	0.007
-4 * Desv. estándar.	48	0.035
-3 * Desv. estándar.	312	0.231
-2 * Desv. estándar.	6802	5.028
-1 * Desv. estándar.	72378	53.496
1 * Desv. estándar.	45069	33.312
2 * Desv. estándar.	5513	4.075
3 * Desv. estándar.	2411	1.782
4 * Desv. estándar.	1282	0.948
5 * Desv. estándar.	553	0.409
6 * Desv. estándar.	867	0.641

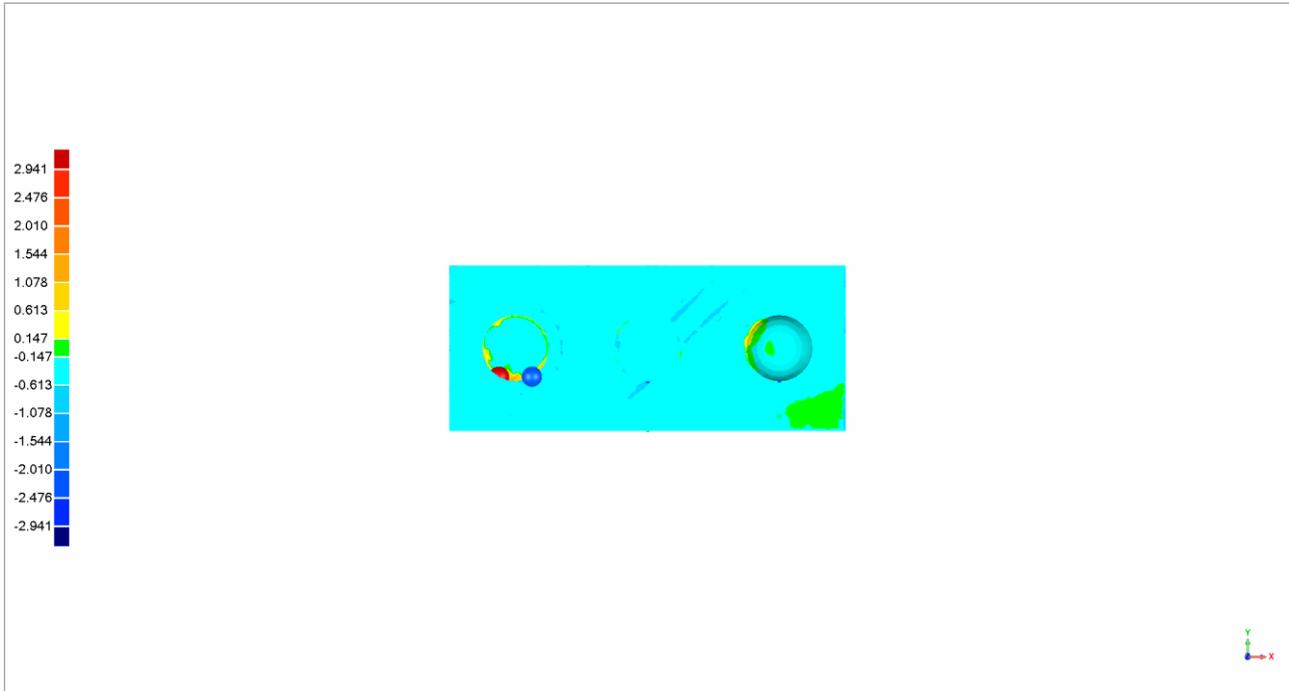
Standard Deviation



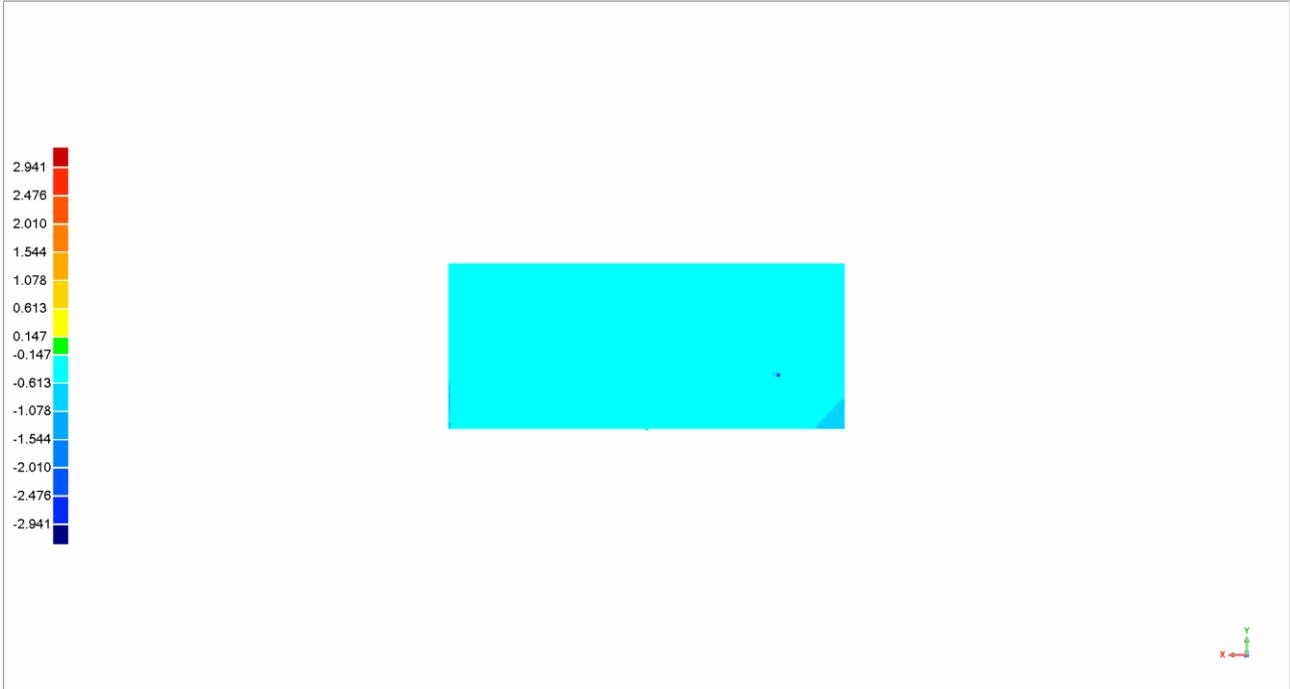
Predefinido: Isométrico



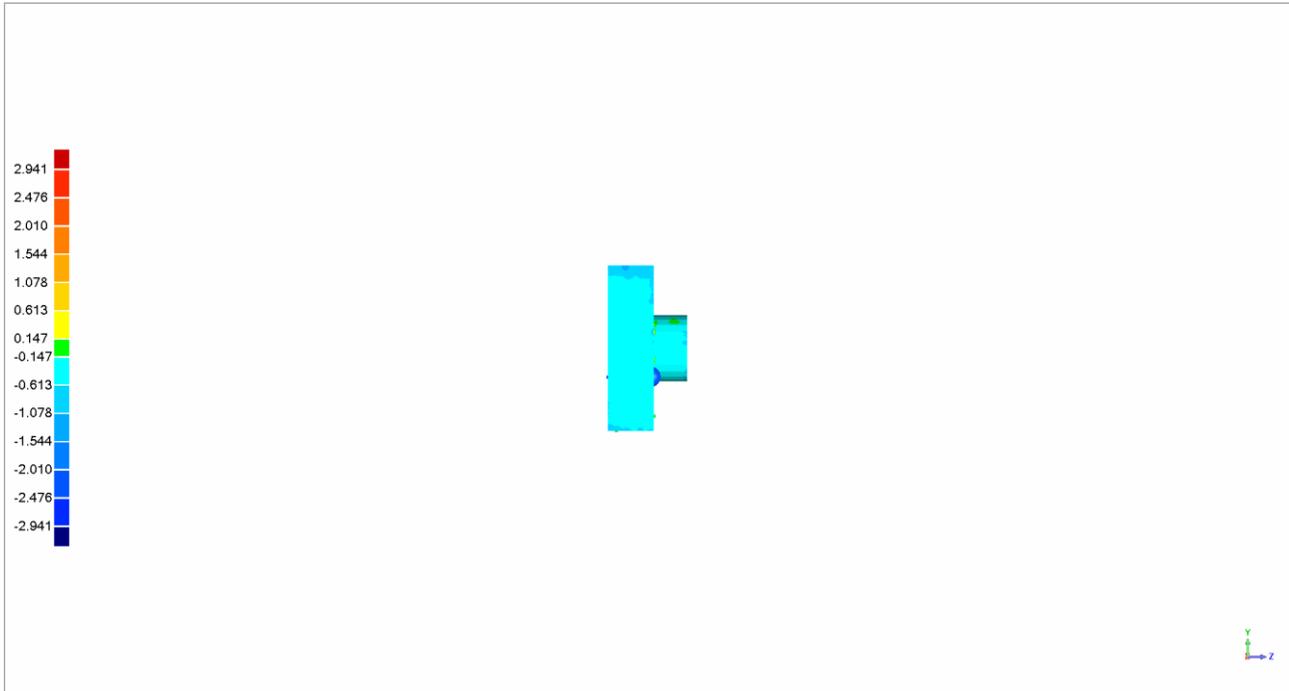
Predefinido: Frente



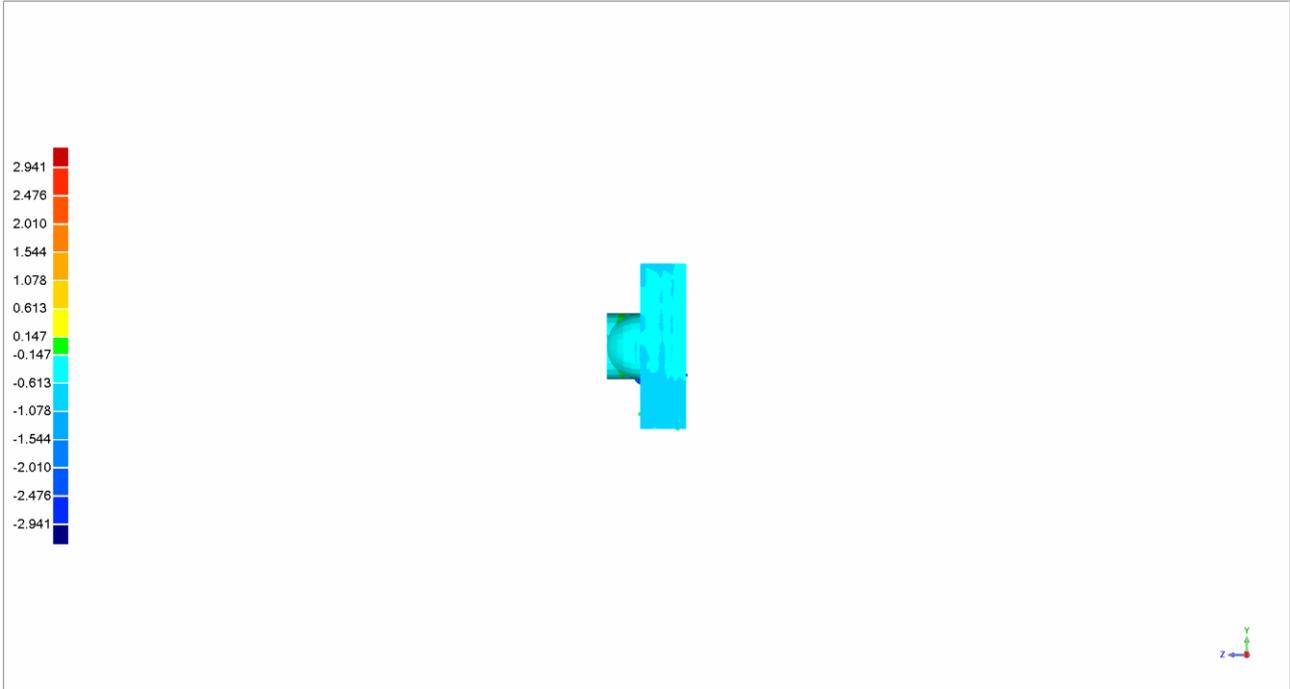
Predefinido: Atrás



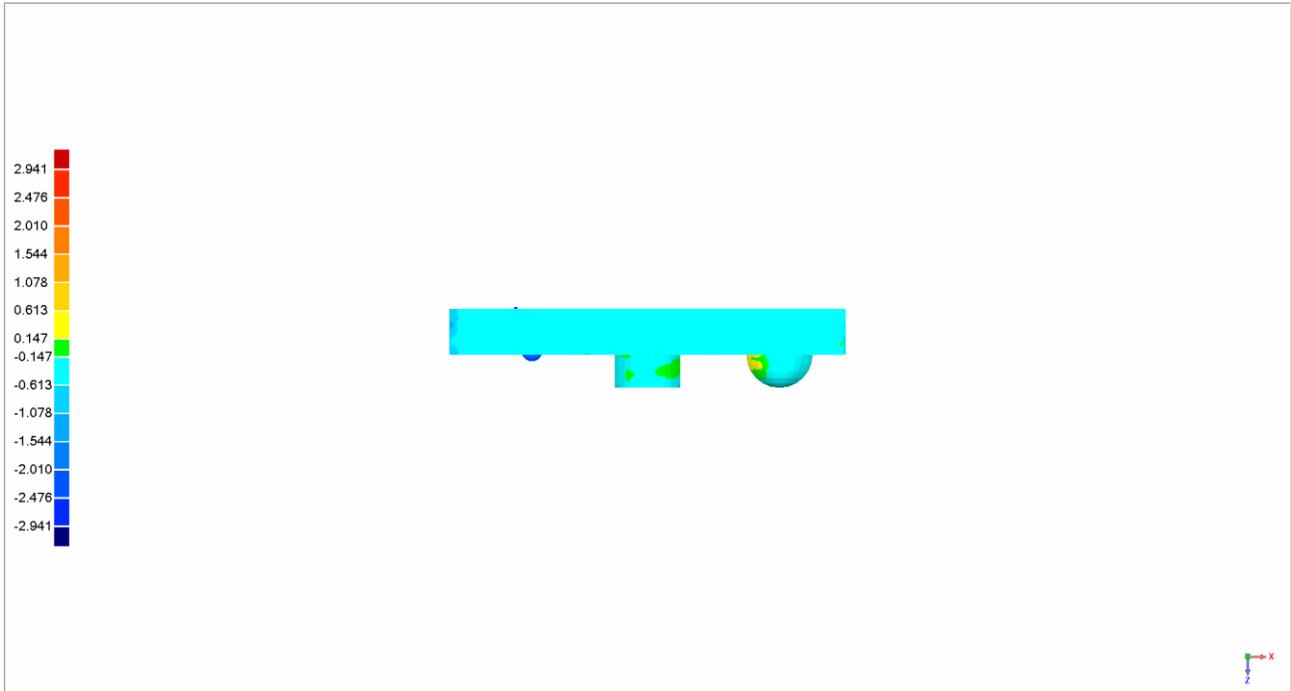
Predefinido: Izquierda



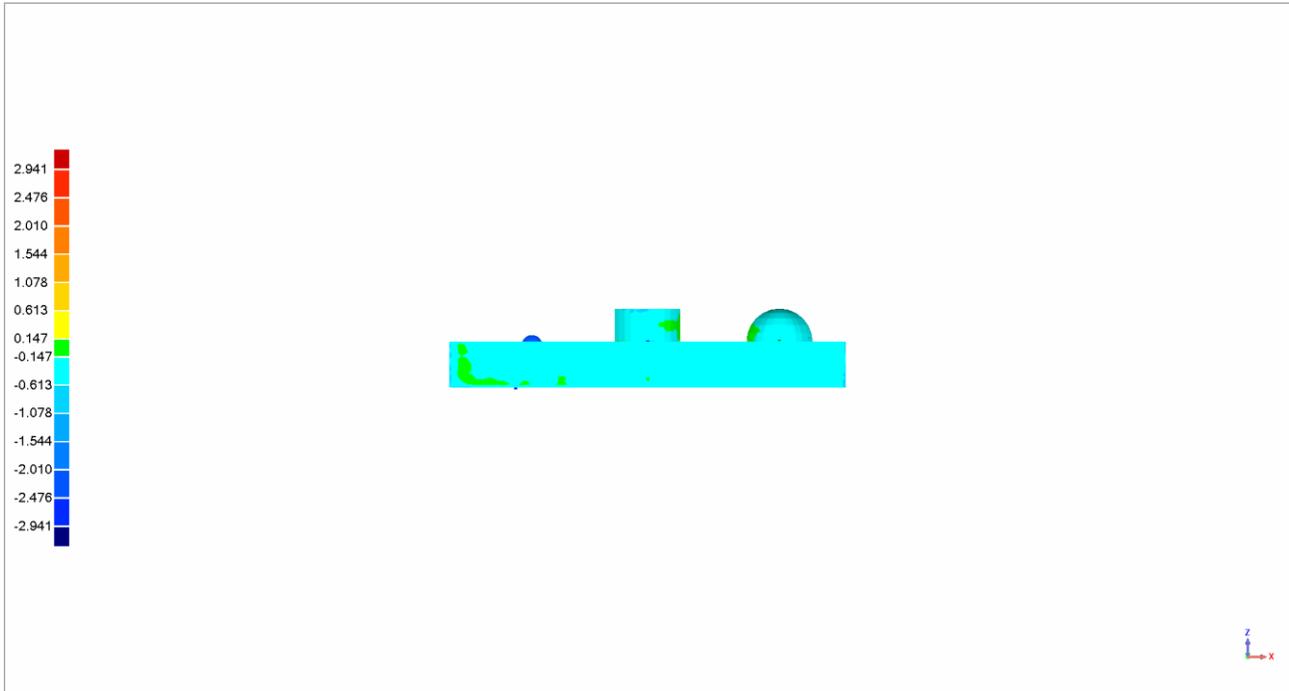
Predefinido: Derecha



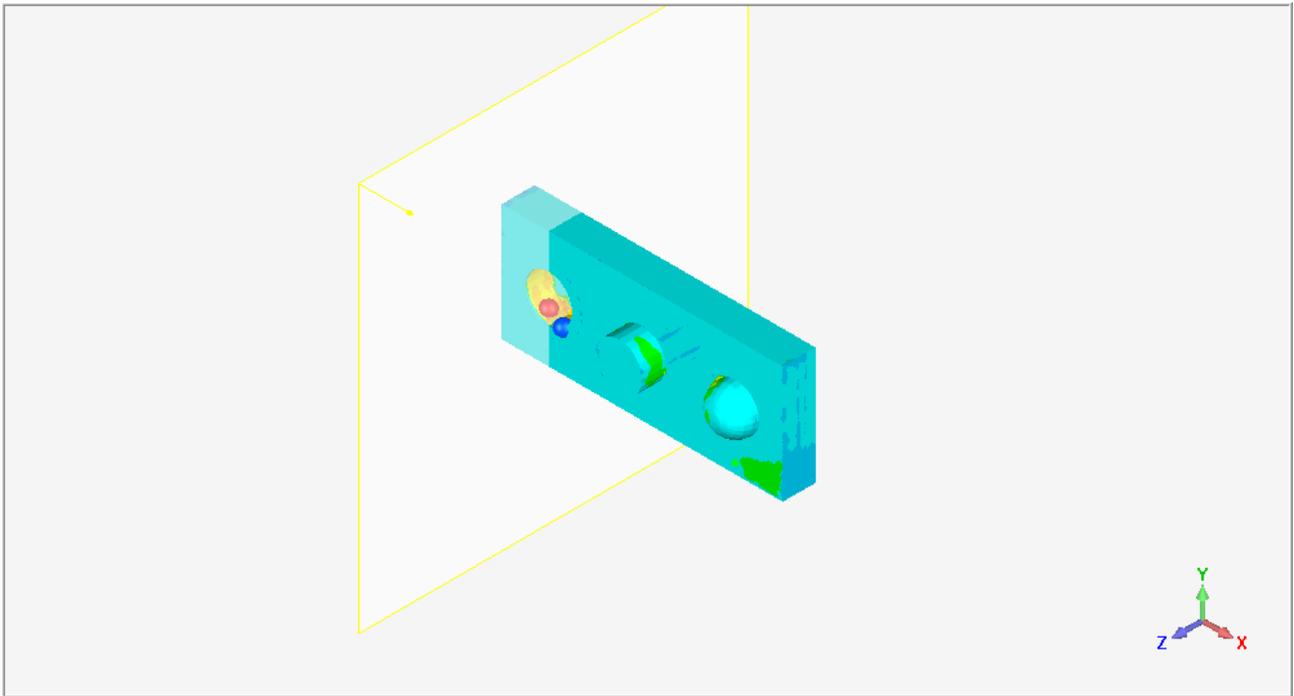
Predefinido: Superior



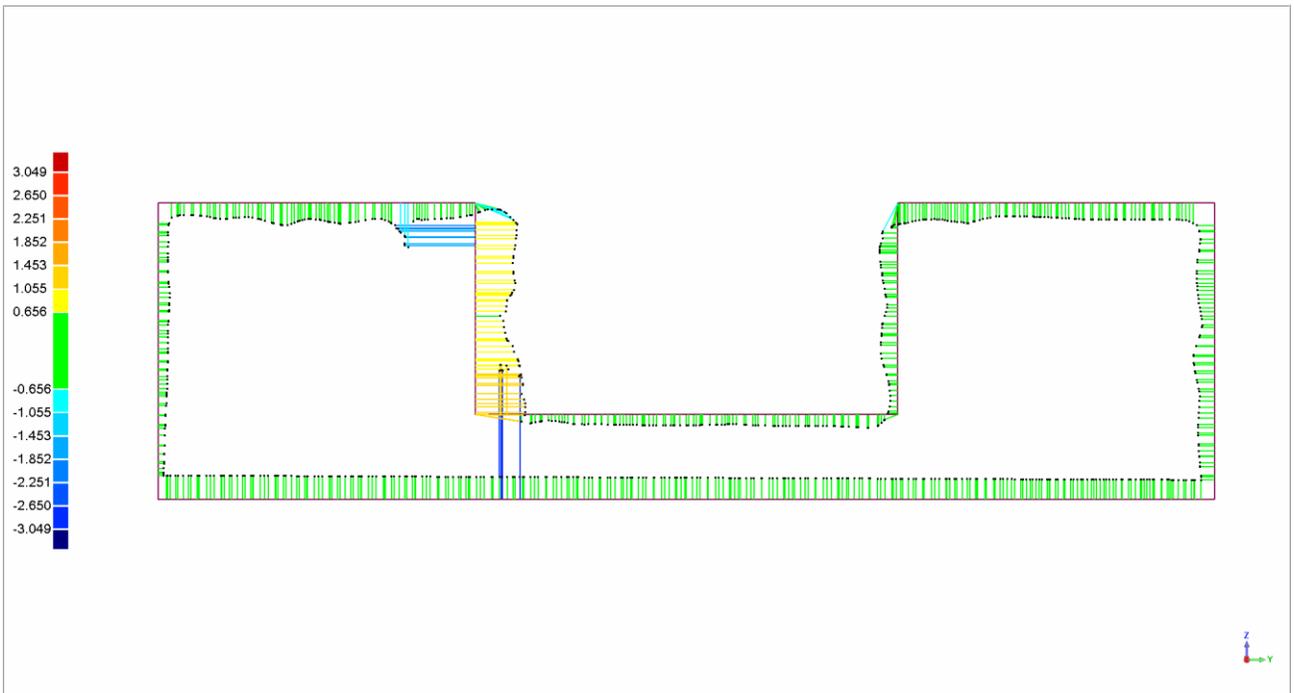
Predefinido: Inferior



Comparar 2D: Comparativa en 2D 1



X = 10.000 mm

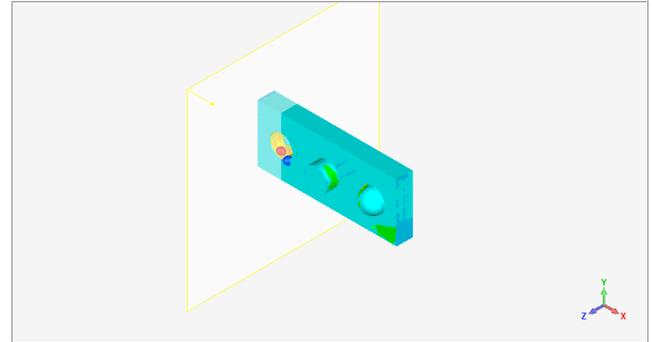


Método: Desviación planar

Comparación 2D Resultados

CSYS: World CSYS

Modelo referencia	PiezaPrueba
Modelo test	MiniExtruder



Nombre	Comparativa en 2D 1
Ubicación	X = 10.000 mm
Nº de puntos de datos	841

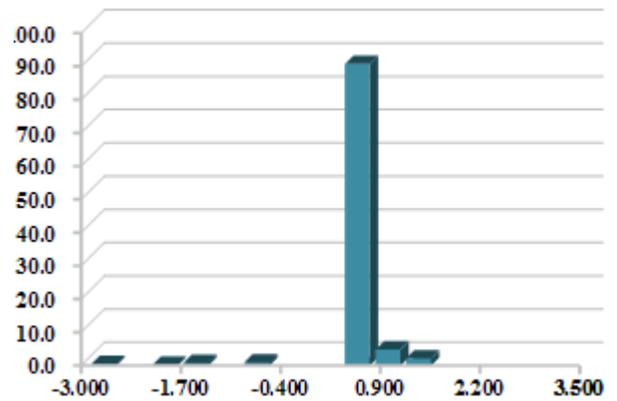
Unidades	mm
Máx. crítico	3.049
Máx. nominal	0.656
Mín. nominal	-0.656
Mín. crítico	-3.049

Desviación	
Máx dev +	1.189
Máx dev -	-3.049
Desviación estándar	0.464

Desviaciones de porcentaje

>=Min	<Max	# Puntos	%
-3.049	-2.650	4	0.476
-2.650	-2.251	0	0.000
-2.251	-1.852	2	0.238
-1.852	-1.453	6	0.713
-1.453	-1.055	0	0.000
-1.055	-0.656	8	0.951
-0.656	0.656	763	90.725
0.656	1.055	40	4.756
1.055	1.453	18	2.140
1.453	1.852	0	0.000
1.852	2.251	0	0.000
2.251	2.650	0	0.000
2.650	3.049	0	0.000

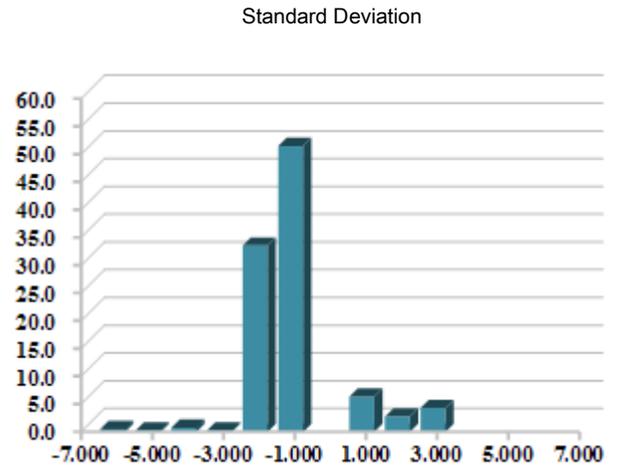
Deviation Distribution



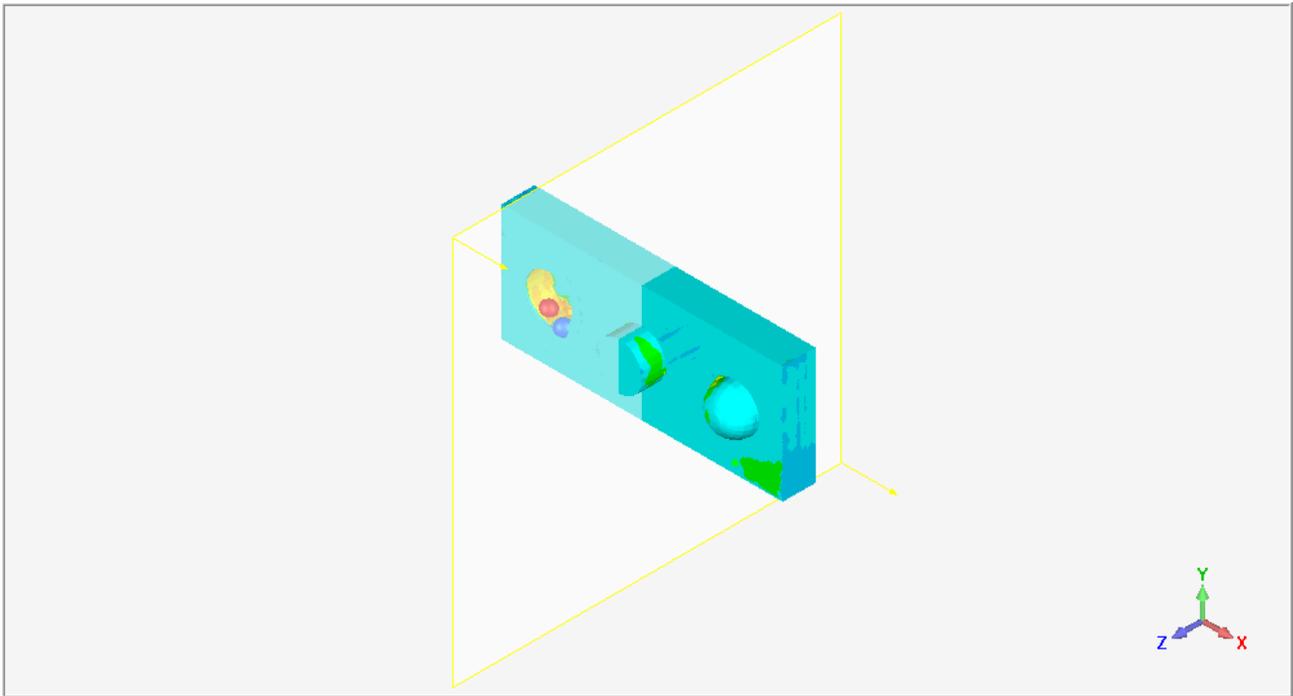
Fuera del crítico superior +	0	0.000
Fuera del crítico inferior -	0	0.000

Desviaciones estándar

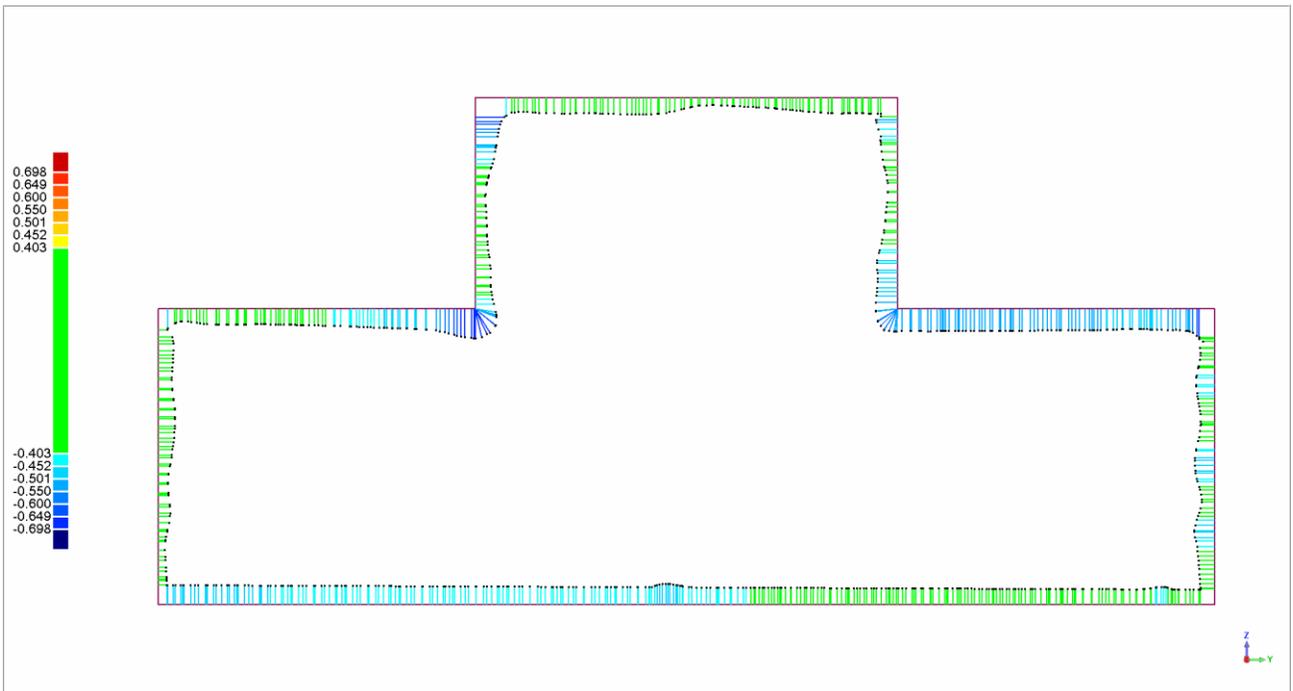
Distribución (+/-)	# Puntos	%
-6 * Desv. estándar.	4	0.476
-5 * Desv. estándar.	2	0.238
-4 * Desv. estándar.	6	0.713
-3 * Desv. estándar.	2	0.238
-2 * Desv. estándar.	282	33.532
-1 * Desv. estándar.	433	51.486
1 * Desv. estándar.	53	6.302
2 * Desv. estándar.	23	2.735
3 * Desv. estándar.	36	4.281
4 * Desv. estándar.	0	0.000
5 * Desv. estándar.	0	0.000
6 * Desv. estándar.	0	0.000



Comparar 2D: Comparativa en 2D 2



X = 30.000 mm

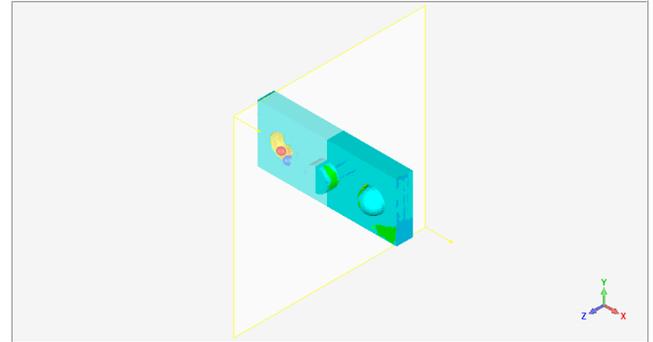


Método: Desviación planar

Comparación 2D Resultados

CSYS: World CSYS

Modelo referencia	PiezaPrueba
Modelo test	MiniExtruder



Nombre	Comparativa en 2D 2
Ubicación	X = 30.000 mm
Nº de puntos de datos	808

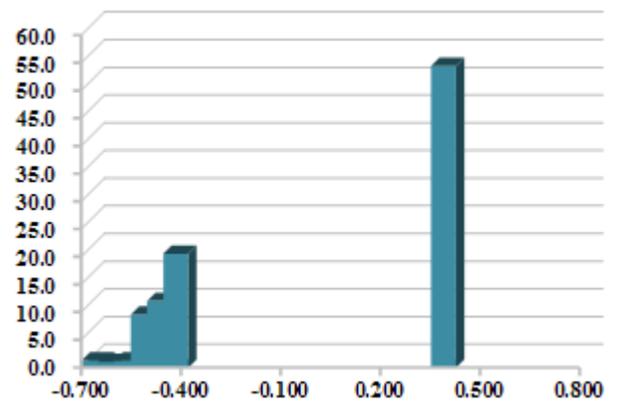
Unidades	mm
Máx. crítico	0.698
Máx. nominal	0.403
Mín. nominal	-0.403
Mín. crítico	-0.698

Desviación	
Máx dev +	0.000
Máx dev -	-0.698
Desviación estándar	0.088

Desviaciones de porcentaje

>=Min	<Max	# Puntos	%
-0.698	-0.649	10	1.238
-0.649	-0.600	8	0.990
-0.600	-0.550	10	1.238
-0.550	-0.501	77	9.530
-0.501	-0.452	97	12.005
-0.452	-0.403	166	20.545
-0.403	0.403	440	54.455
0.403	0.452	0	0.000
0.452	0.501	0	0.000
0.501	0.550	0	0.000
0.550	0.600	0	0.000
0.600	0.649	0	0.000
0.649	0.698	0	0.000

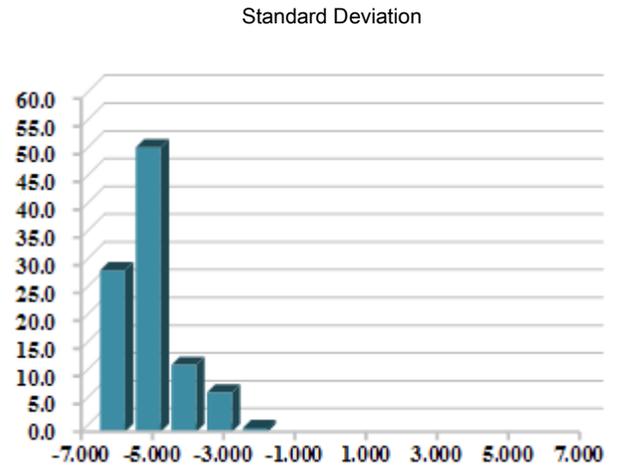
Deviation Distribution



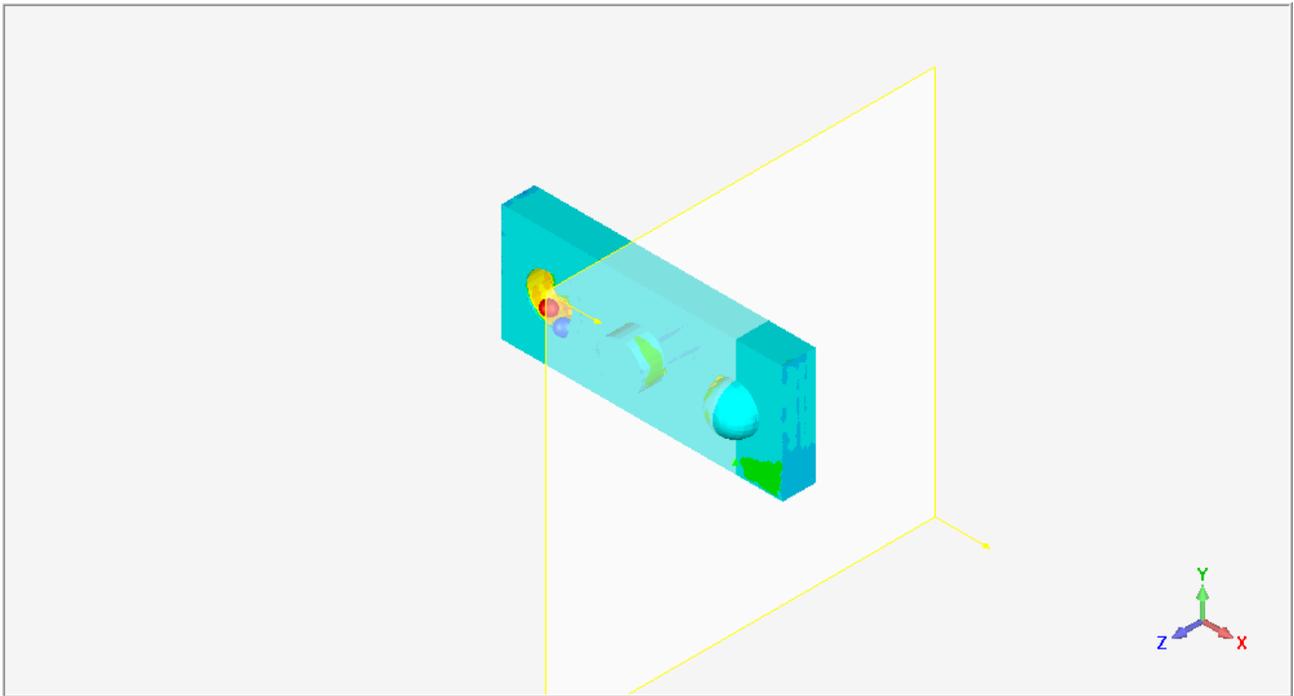
Fuera del crítico superior +	0	0.000
Fuera del crítico inferior -	0	0.000

Desviaciones estándar

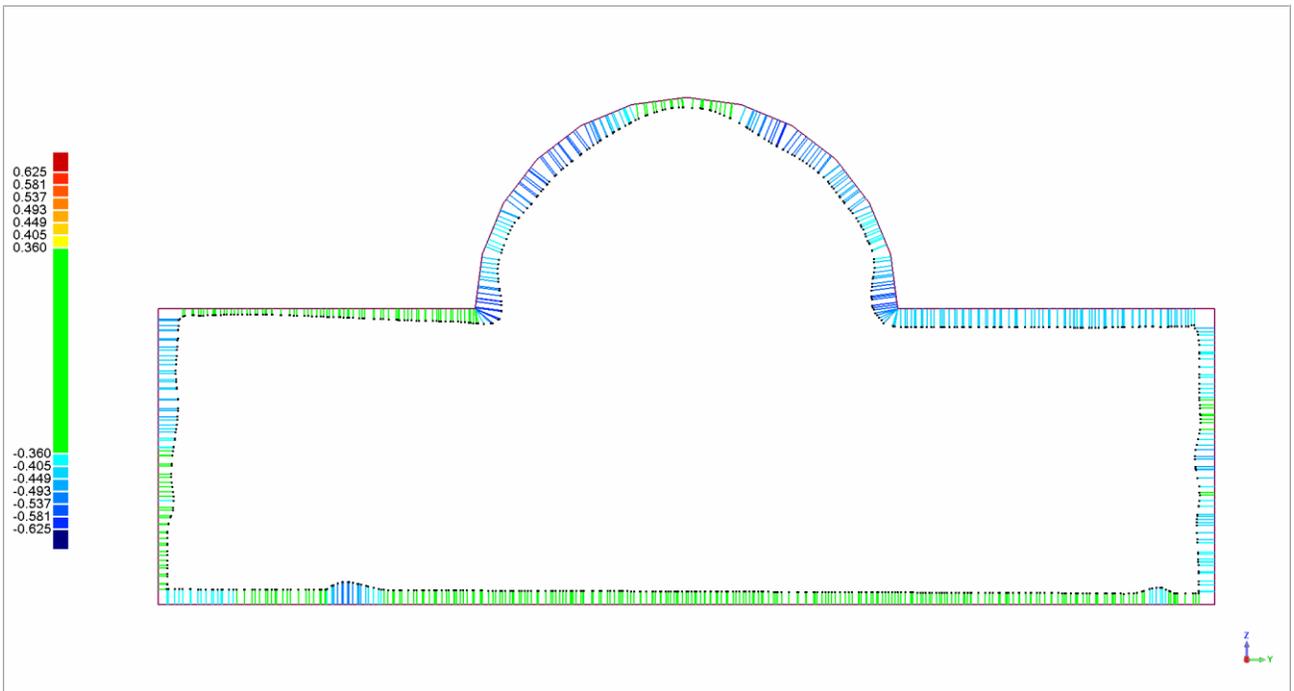
Distribución (+/-)	# Puntos	%
-6 * Desv. estándar.	235	29.084
-5 * Desv. estándar.	414	51.238
-4 * Desv. estándar.	97	12.005
-3 * Desv. estándar.	57	7.054
-2 * Desv. estándar.	5	0.619
-1 * Desv. estándar.	0	0.000
1 * Desv. estándar.	0	0.000
2 * Desv. estándar.	0	0.000
3 * Desv. estándar.	0	0.000
4 * Desv. estándar.	0	0.000
5 * Desv. estándar.	0	0.000
6 * Desv. estándar.	0	0.000



Comparar 2D: Comparativa en 2D 3



X = 50.000 mm

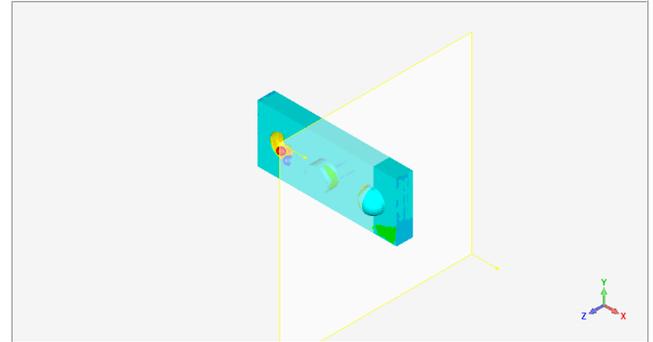


Método: Desviación planar

Comparación 2D Resultados

CSYS: World CSYS

Modelo referencia	PiezaPrueba
Modelo test	MiniExtruder



Nombre	Comparativa en 2D 3
Ubicación	X = 50.000 mm
Nº de puntos de datos	789

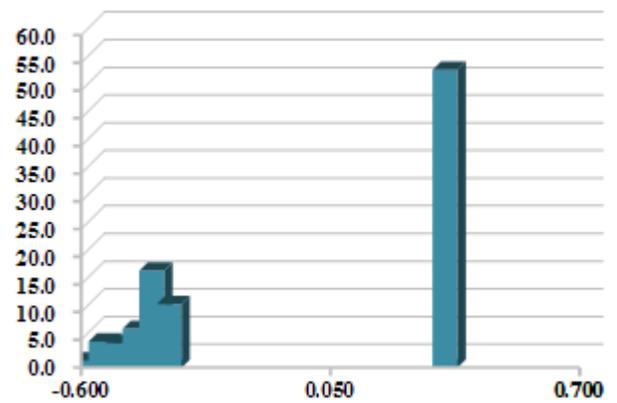
Unidades	mm
Máx. crítico	0.625
Máx. nominal	0.360
Mín. nominal	-0.360
Mín. crítico	-0.625

Desviación	
Máx dev +	0.000
Máx dev -	-0.625
Desviación estándar	0.101

Desviaciones de porcentaje

>=Min	<Max	# Puntos	%
-0.625	-0.581	10	1.267
-0.581	-0.537	37	4.689
-0.537	-0.493	35	4.436
-0.493	-0.449	55	6.971
-0.449	-0.405	138	17.490
-0.405	-0.360	90	11.407
-0.360	0.360	424	53.739
0.360	0.405	0	0.000
0.405	0.449	0	0.000
0.449	0.493	0	0.000
0.493	0.537	0	0.000
0.537	0.581	0	0.000
0.581	0.625	0	0.000

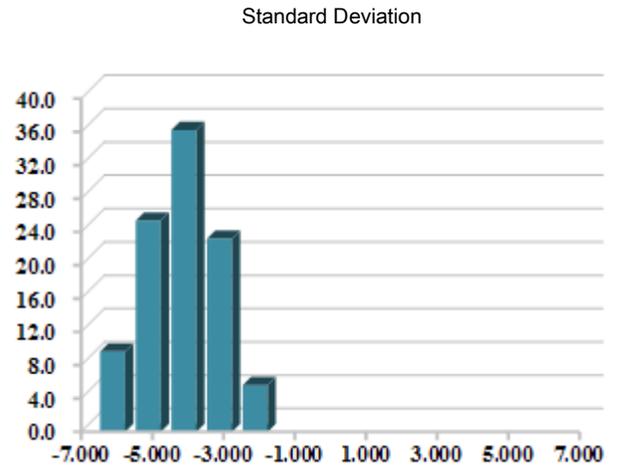
Deviation Distribution



Fuera del crítico superior +	0	0.000
Fuera del crítico inferior -	0	0.000

Desviaciones estándar

Distribución (+/-)	# Puntos	%
-6 * Desv. estándar.	76	9.632
-5 * Desv. estándar.	200	25.349
-4 * Desv. estándar.	286	36.248
-3 * Desv. estándar.	183	23.194
-2 * Desv. estándar.	44	5.577
-1 * Desv. estándar.	0	0.000
1 * Desv. estándar.	0	0.000
2 * Desv. estándar.	0	0.000
3 * Desv. estándar.	0	0.000
4 * Desv. estándar.	0	0.000
5 * Desv. estándar.	0	0.000
6 * Desv. estándar.	0	0.000



Ubicaciones: Desviaciones superior e inferior

Unidades: mm

Nombre	Desv	Estado	Superior Tol	Inferior Tol	Ref X	Ref Y	Ref Z	Radio	Desv X	Desv Y	Desv Z	Medido X	Medido Y	Medido Z	Normal X	Normal Y	Normal Z
Desv. inferior	-2.067				12.500	8.170	6.413	n/a	0.205	-2.056	0.000	12.705	6.113	6.413	-0.099	0.995	0.000
Desv. superior	2.941				7.500	8.170	4.500	n/a	2.805	-0.732	0.499	10.305	7.438	4.999	0.954	-0.249	0.170

Ubicaciones: Comparativa en 2D 1 Desv. superior e inferior

Unidades: mm

Nombre	Desv	Estado	Superior Tol	Inferior Tol	Ref X	Ref Y	Ref Z	Radio	Desv X	Desv Y	Desv Z	Medido X	Medido Y	Medido Z	Normal X	Normal Y	Normal Z
Comparativa en 2D 1 Desv. inferior	-3.049				10.000	8.122	0.000	n/a	0.000	0.000	3.049	10.000	8.122	3.049			
Comparativa en 2D 1 Desv. superior	1.189				10.000	7.500	2.182	n/a	0.000	1.189	0.000	10.000	8.689	2.182			

Ubicaciones: Comparativa en 2D 2 Desv. superior e inferior

Unidades: mm

Nombre	Desv	Estado	Superior Tol	Inferior Tol	Ref X	Ref Y	Ref Z	Radio	Desv X	Desv Y	Desv Z	Medido X	Medido Y	Medido Z	Normal X	Normal Y	Normal Z
Comparativa en 2D 2 Desv. inferior	-0.698				30.000	7.469	7.000	n/a	0.000	0.000	-0.698	30.000	7.469	6.302			
Comparativa en 2D 2 Desv. superior	-0.160				30.000	0.000	1.293	n/a	0.000	0.160	0.000	30.000	0.160	1.293			

Ubicaciones: Comparativa en 2D 3 Desv. superior e inferior

Unidades: mm

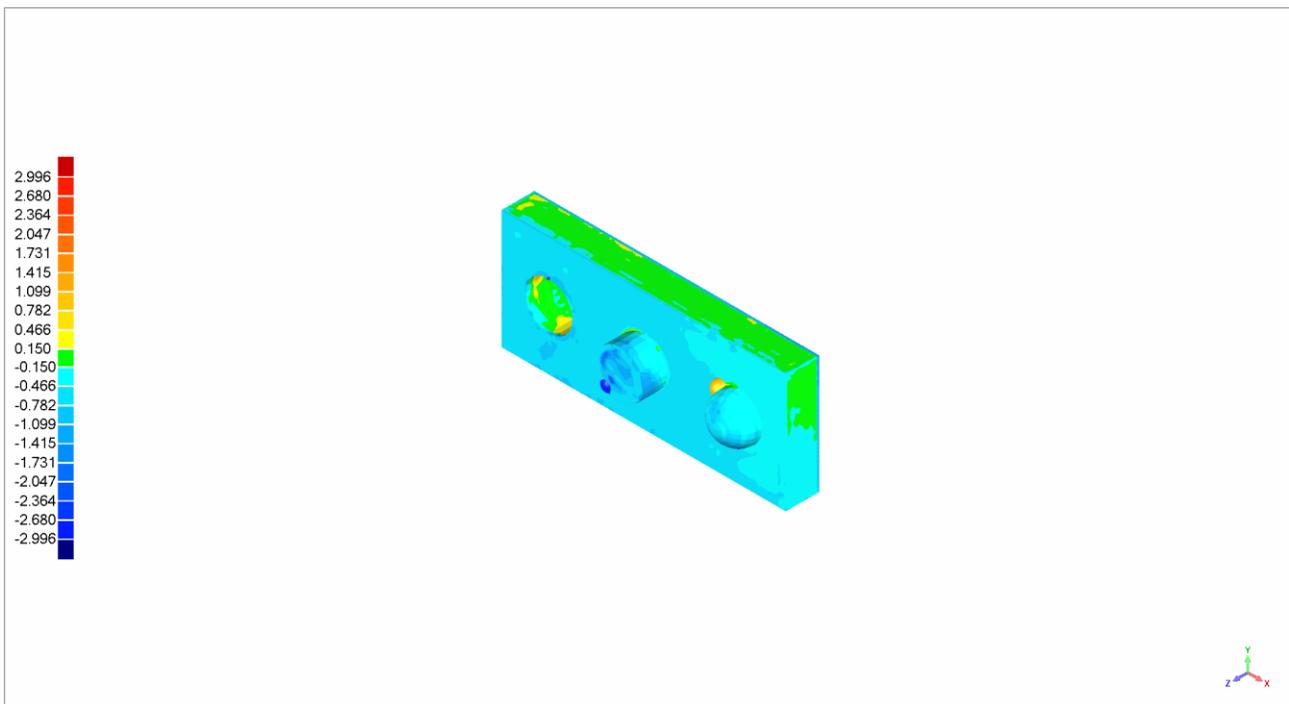
Nombre	Desv	Estado	Superior Tol	Inferior Tol	Ref X	Ref Y	Ref Z	Radio	Desv X	Desv Y	Desv Z	Medido X	Medido Y	Medido Z	Normal X	Normal Y	Normal Z
Comparativa en 2D 3 Desv. inferior	-0.625				50.000	7.505	7.040	n/a	0.000	0.620	-0.082	50.000	8.125	6.958			
Comparativa en 2D 3 Desv. superior	-0.135				50.000	2.180	7.000	n/a	0.000	0.000	-0.135	50.000	2.180	6.865			

ANEXO 2.2.2 Wade's Extruder.

Informe calificación Geomagic

Fecha inspeccionada: 6/7/2012

Fecha generada: 6/7/2012, 7:42 pm



Modelo referencia: PiezaPrueba

Modelo test: Wades

Estadísticas de alineación

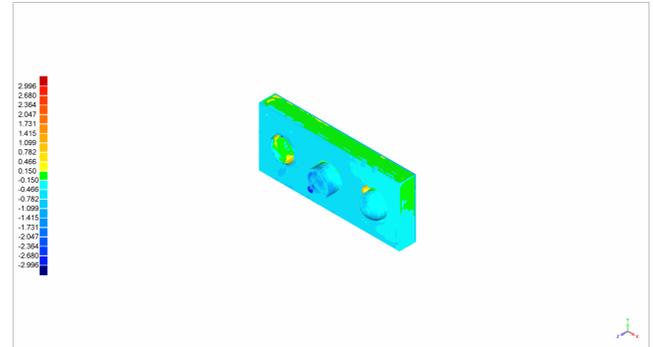
Error medio: 0.523mm

Longitud máx. del modelo: 59.999mm

Nombre de alineación: Alineación de ajuste perfecto: PiezaPrueba2 (1)

3D Comparación Resultados

Modelo referencia	PiezaPrueba
Modelo test	Wades
Nº de puntos de datos	112288
# Aislados	1398



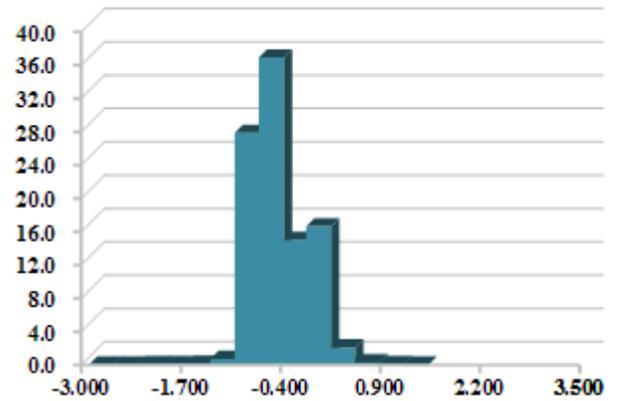
Tipo tolerancia	3D desviación
Unidades	mm
Máx. crítico	2.996
Máx. nominal	0.150
Mín. nominal	-0.150
Mín. crítico	-2.996

Desviación	
Máx. desviación superior	1.393
Máx. desviación inferior	-2.996
Desviación media	0.131 /-0.608
Desviación estándar	0.357

Deviation Distribution

Distribución desviación

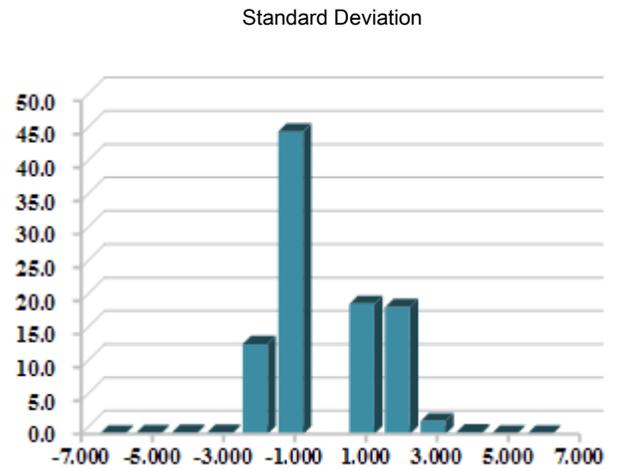
>=Min	<Max	# Puntos	%
-2.996	-2.680	18	0.016
-2.680	-2.364	20	0.018
-2.364	-2.047	74	0.066
-2.047	-1.731	111	0.099
-1.731	-1.415	126	0.112
-1.415	-1.099	817	0.728
-1.099	-0.782	31299	27.874
-0.782	-0.466	41471	36.933
-0.466	-0.150	16877	15.030
-0.150	0.150	18704	16.657
0.150	0.466	2361	2.103
0.466	0.782	350	0.312
0.782	1.099	57	0.051
1.099	1.415	3	0.003
1.415	1.731	0	0.000
1.731	2.047	0	0.000
2.047	2.364	0	0.000
2.364	2.680	0	0.000
2.680	2.996	0	0.000



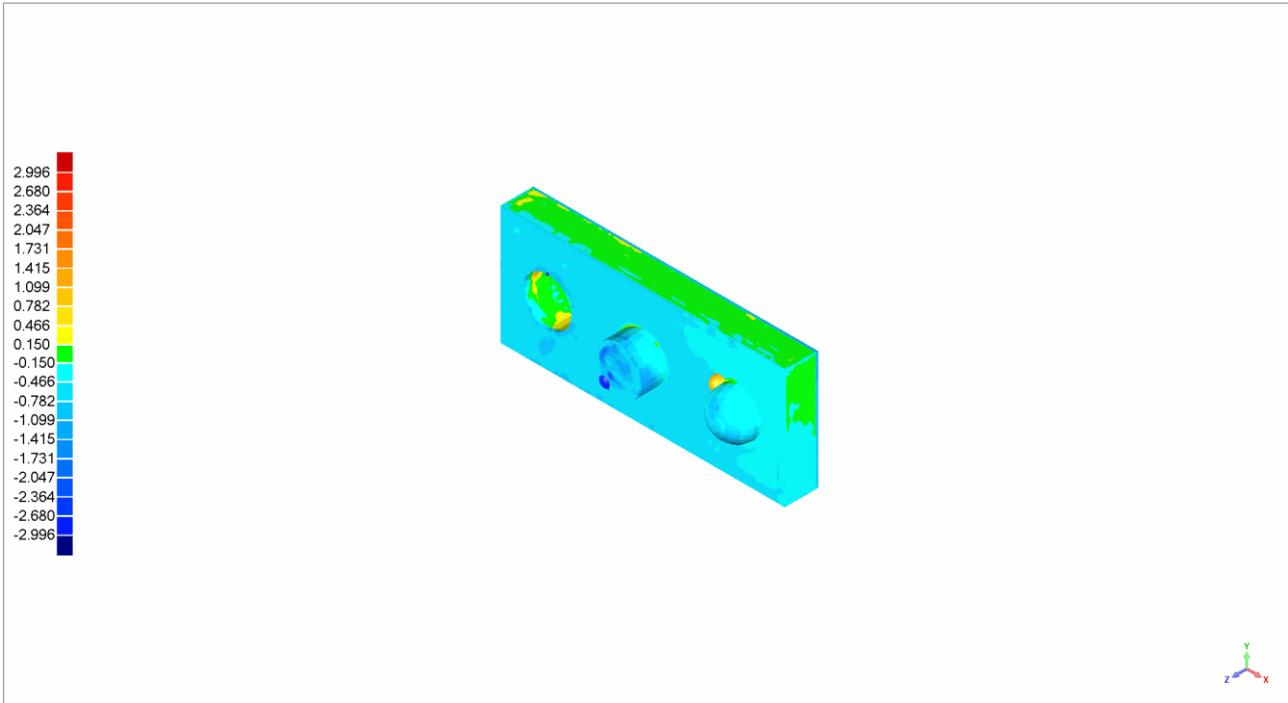
Fuera del crítico superior	0	0.000
Fuera del crítico inferior	0	0.000

Desviaciones estándar

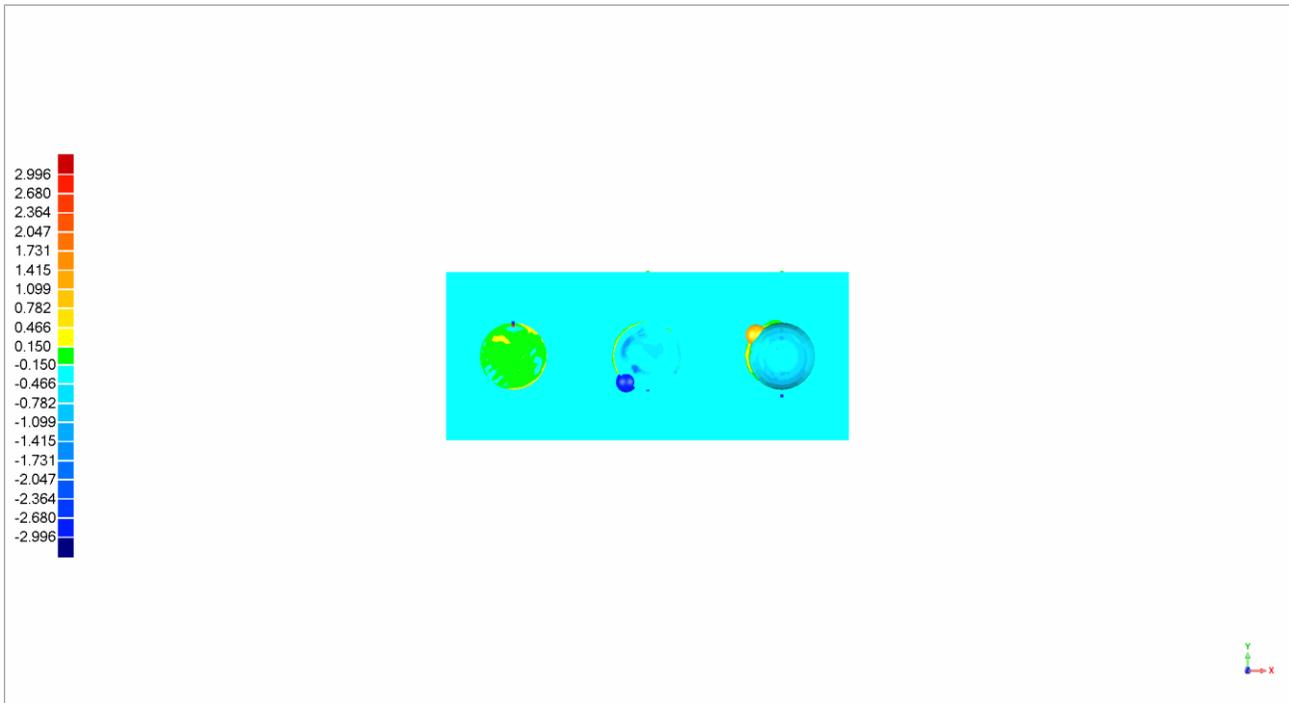
Distribución (+/-)	# Puntos	%
-6 * Desv. estándar.	38	0.034
-5 * Desv. estándar.	92	0.082
-4 * Desv. estándar.	148	0.132
-3 * Desv. estándar.	205	0.183
-2 * Desv. estándar.	15138	13.481
-1 * Desv. estándar.	50961	45.384
1 * Desv. estándar.	21929	19.529
2 * Desv. estándar.	21367	19.029
3 * Desv. estándar.	2143	1.908
4 * Desv. estándar.	242	0.216
5 * Desv. estándar.	22	0.020
6 * Desv. estándar.	3	0.003



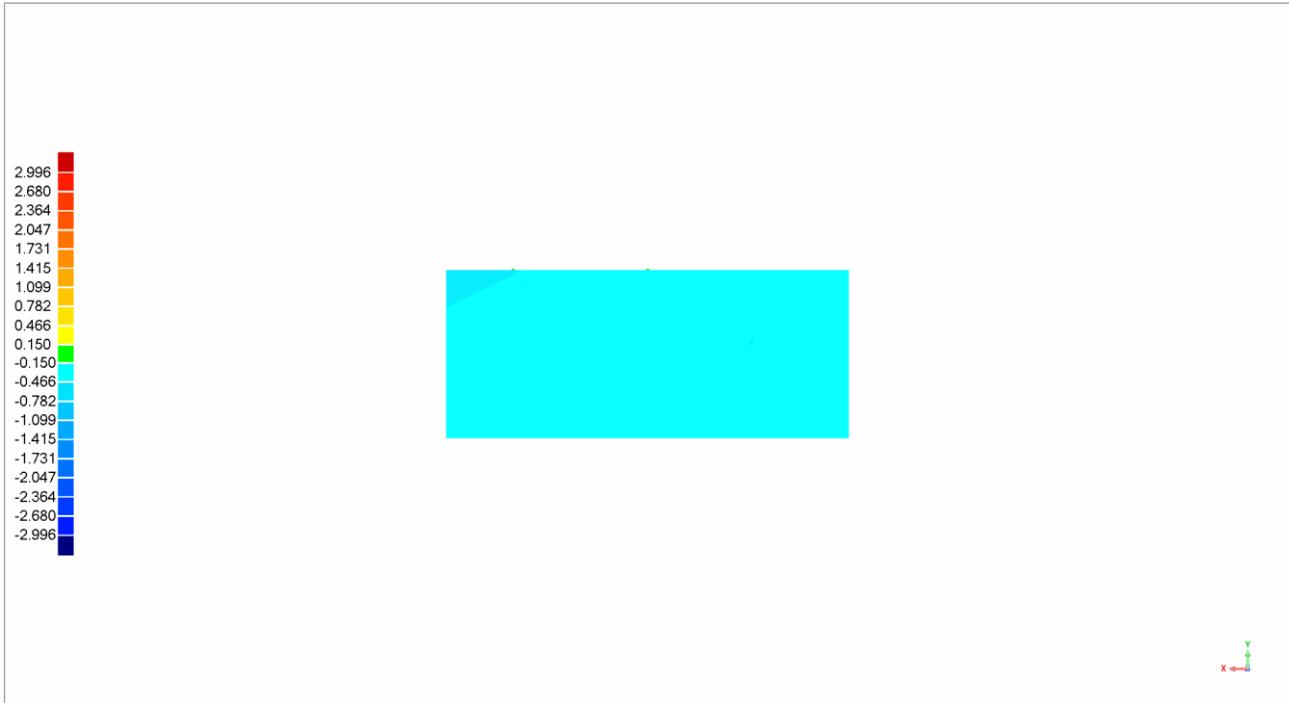
Predefinido: Isométrico



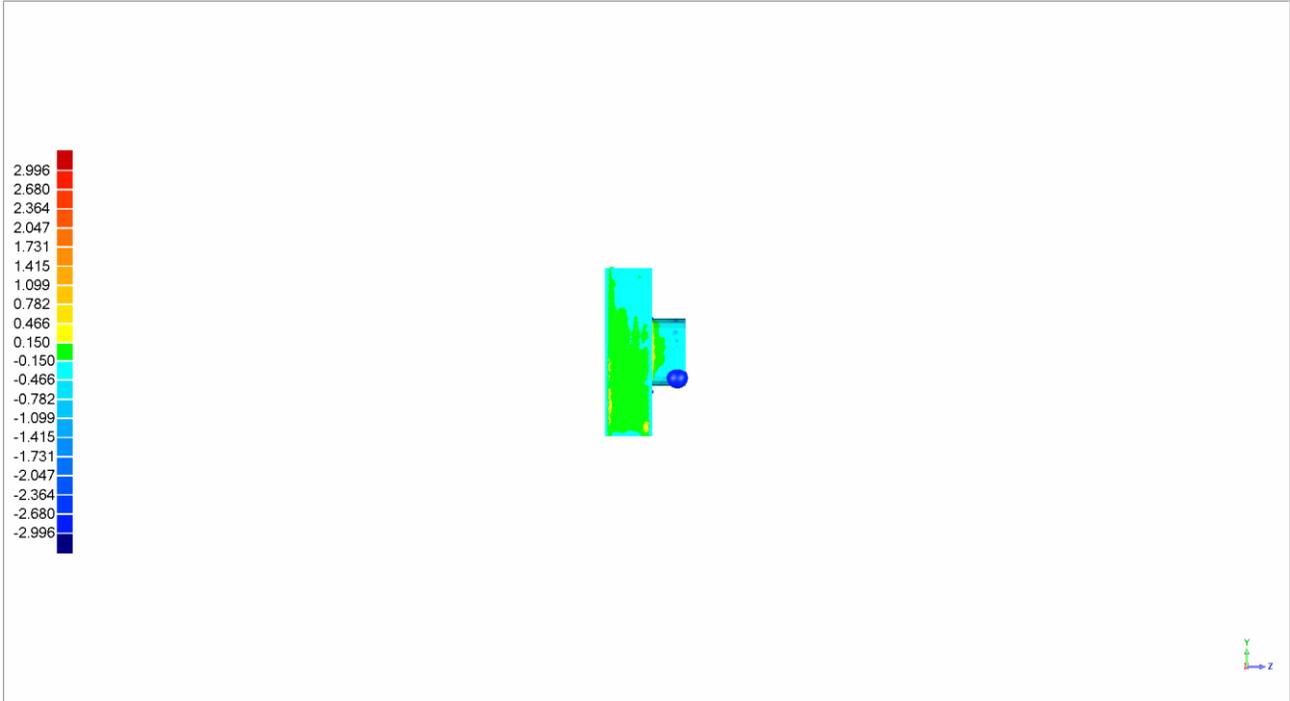
Predefinido: Frente



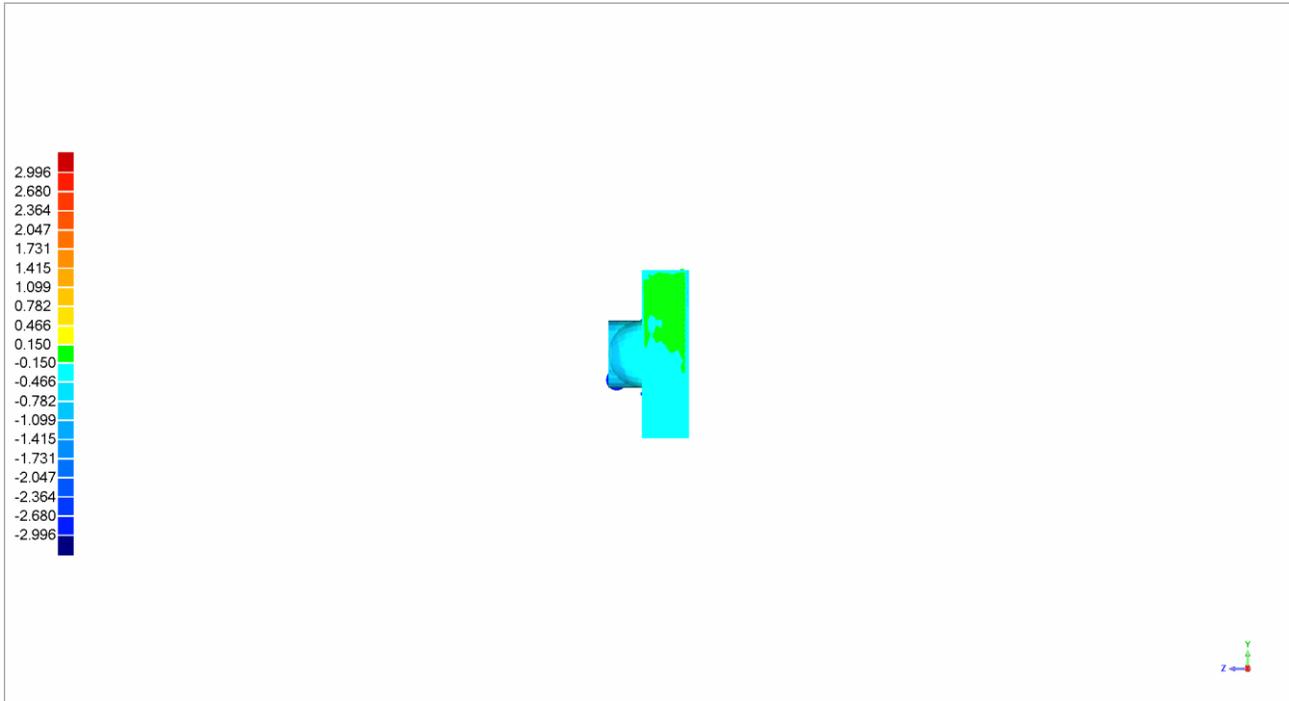
Predefinido: Atrás



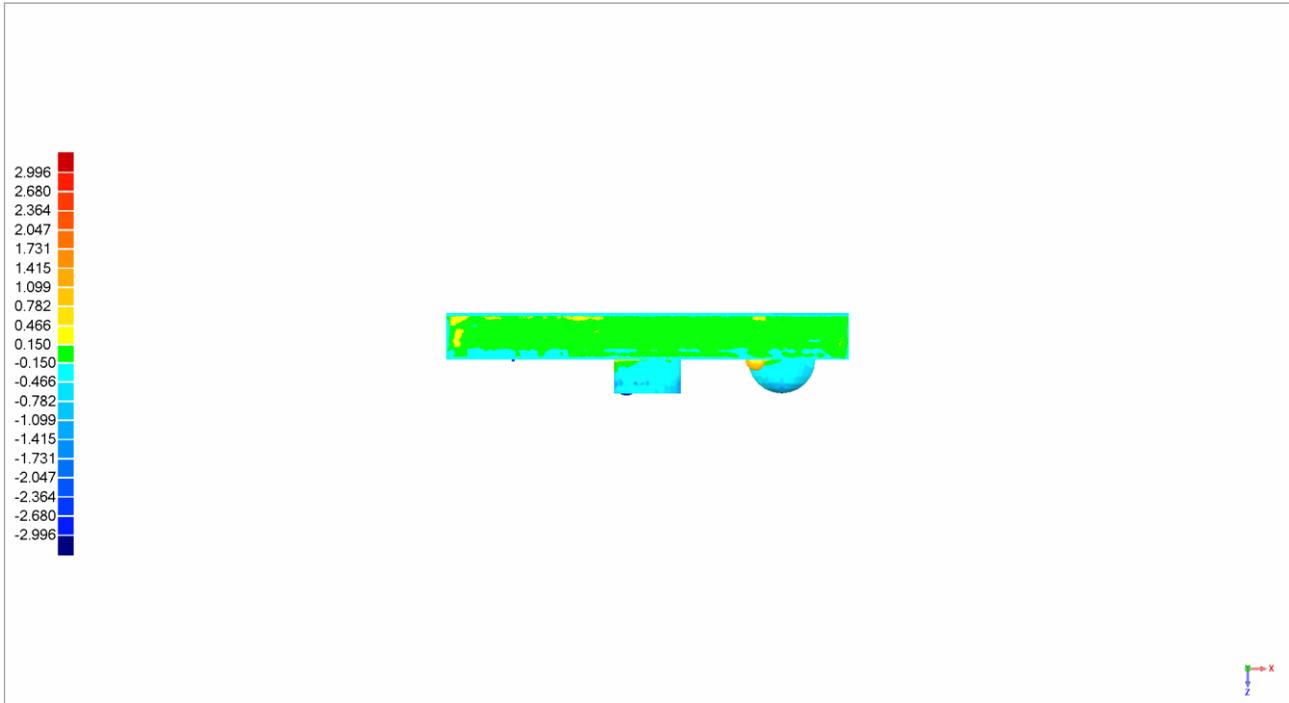
Predefinido: Izquierda



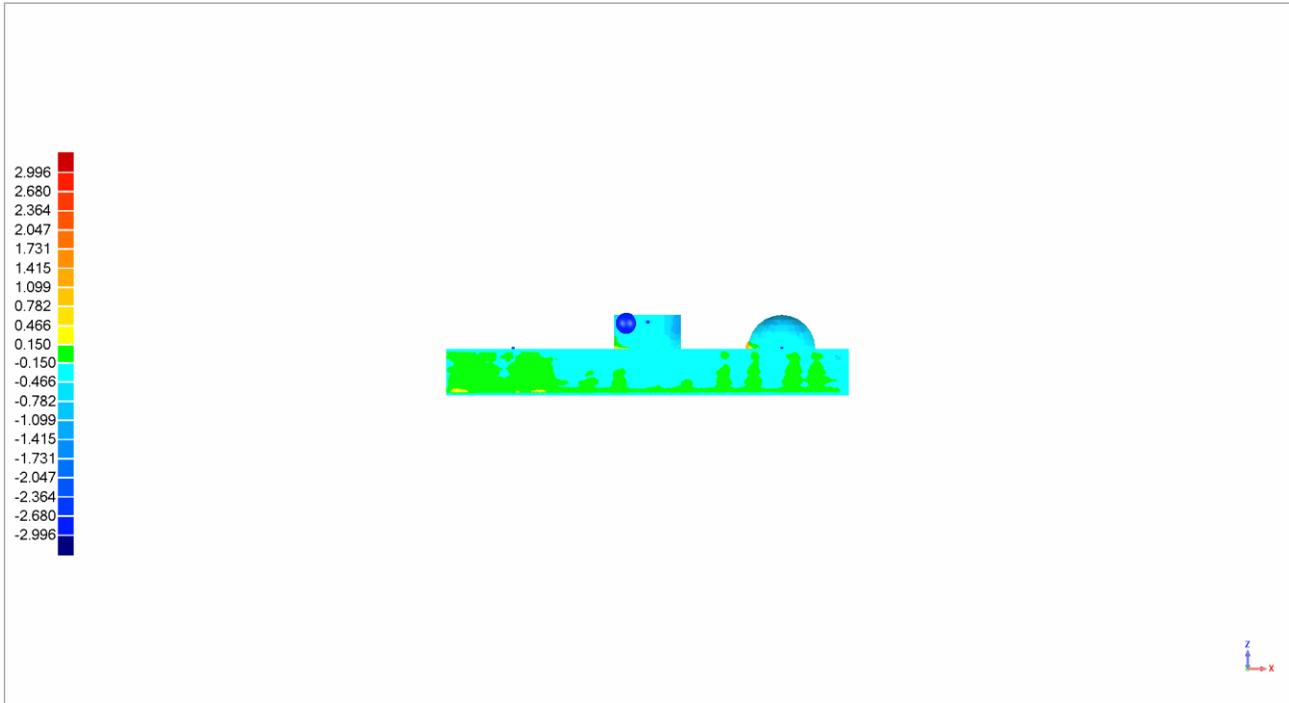
Predefinido: Derecha



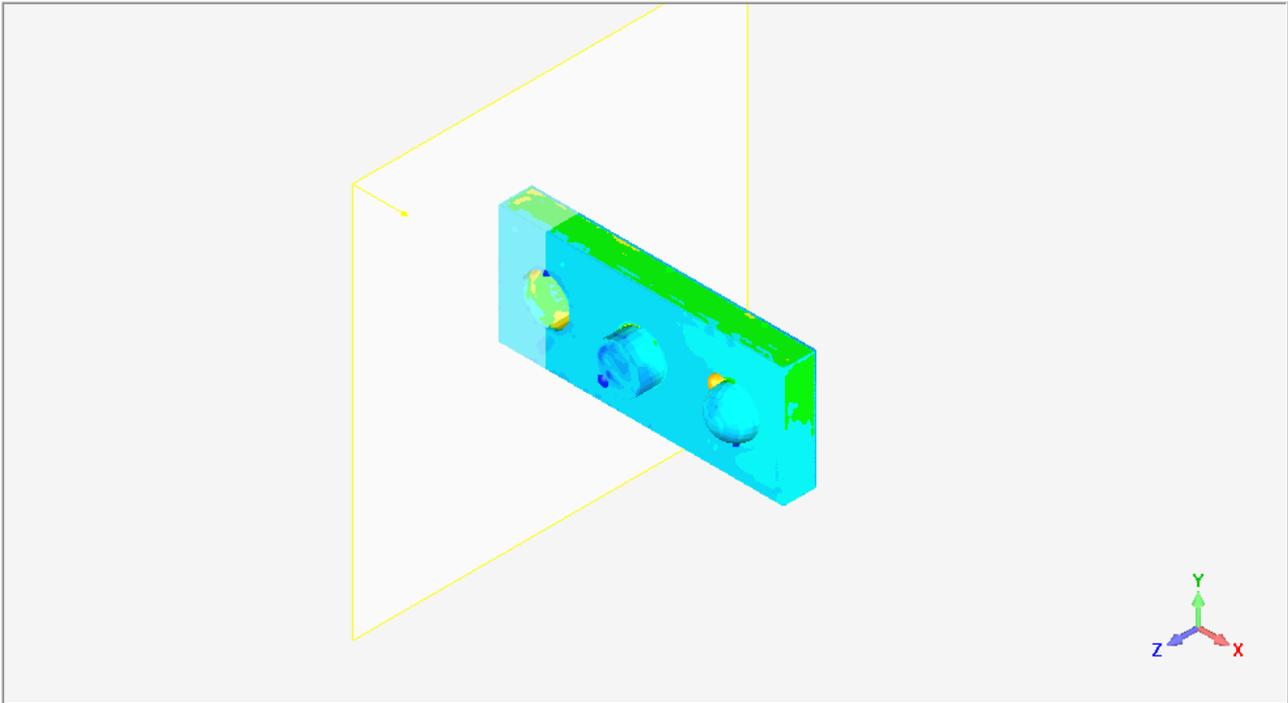
Predefinido: Superior



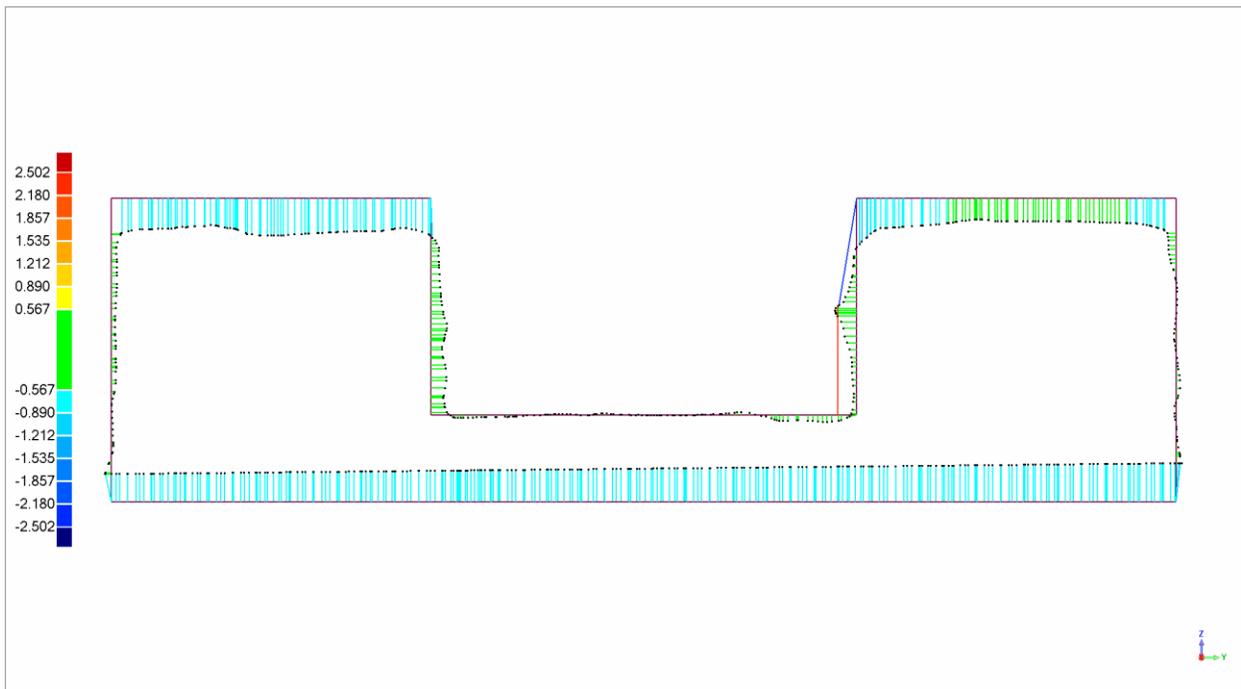
Predefinido: Inferior



Comparar 2D: Comparativa en 2D 1



X = 10.000 mm

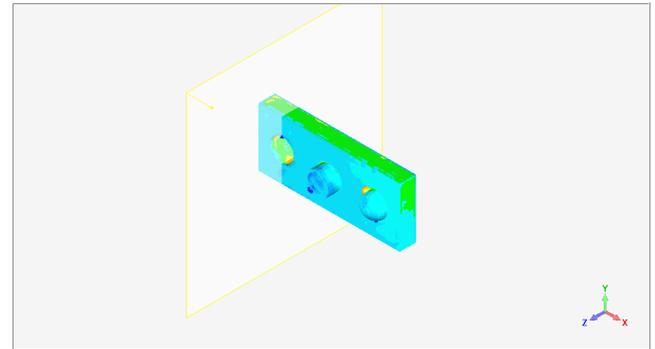


Método: Desviación planar

Comparación 2D Resultados

CSYS: World CSYS

Modelo referencia	PiezaPrueba
Modelo test	Wades



Nombre	Comparativa en 2D 1
Ubicación	X = 10.000 mm
Nº de puntos de datos	756

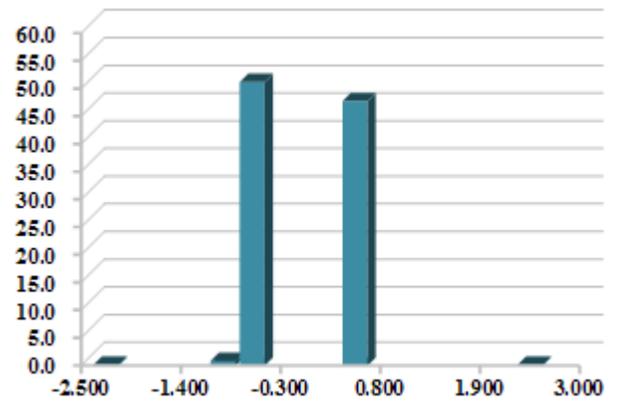
Unidades	mm
Máx. crítico	2.502
Máx. nominal	0.567
Mín. nominal	-0.567
Mín. crítico	-2.502

Desviación	
Máx dev +	2.502
Máx dev -	-2.492
Desviación estándar	0.418

Desviaciones de porcentaje

>=Min	<Max	# Puntos	%
-2.502	-2.180	1	0.132
-2.180	-1.857	0	0.000
-1.857	-1.535	0	0.000
-1.535	-1.212	0	0.000
-1.212	-0.890	6	0.794
-0.890	-0.567	387	51.190
-0.567	0.567	361	47.751
0.567	0.890	0	0.000
0.890	1.212	0	0.000
1.212	1.535	0	0.000
1.535	1.857	0	0.000
1.857	2.180	0	0.000
2.180	2.502	1	0.132

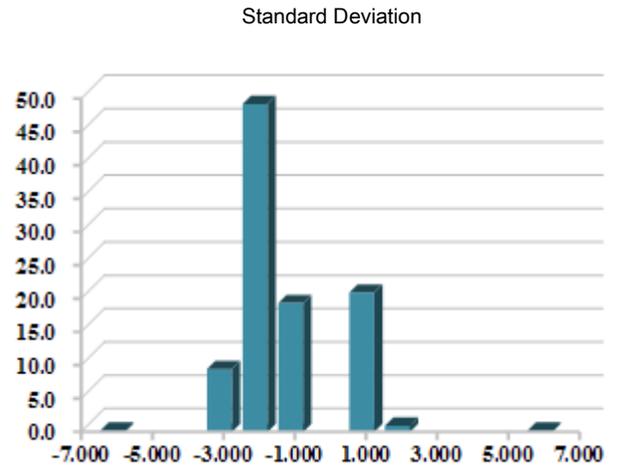
Deviation Distribution



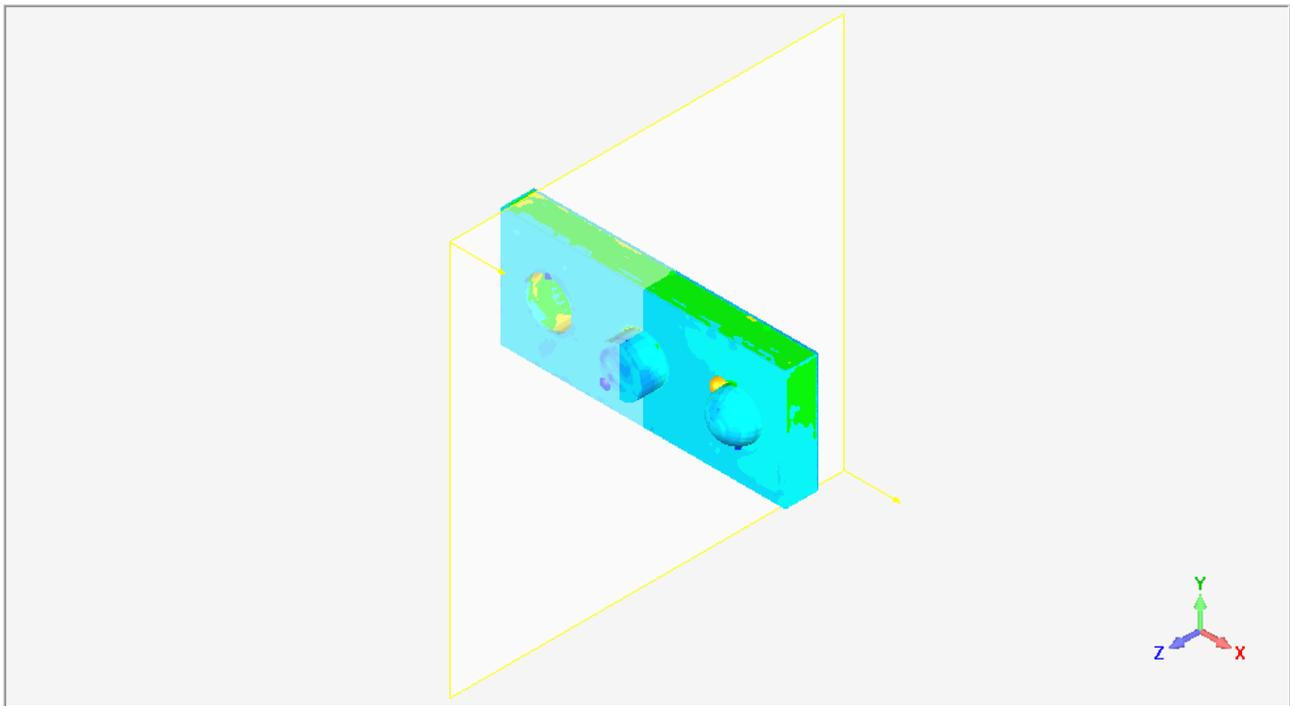
Fuera del crítico superior +	0	0.000
Fuera del crítico inferior -	0	0.000

Desviaciones estándar

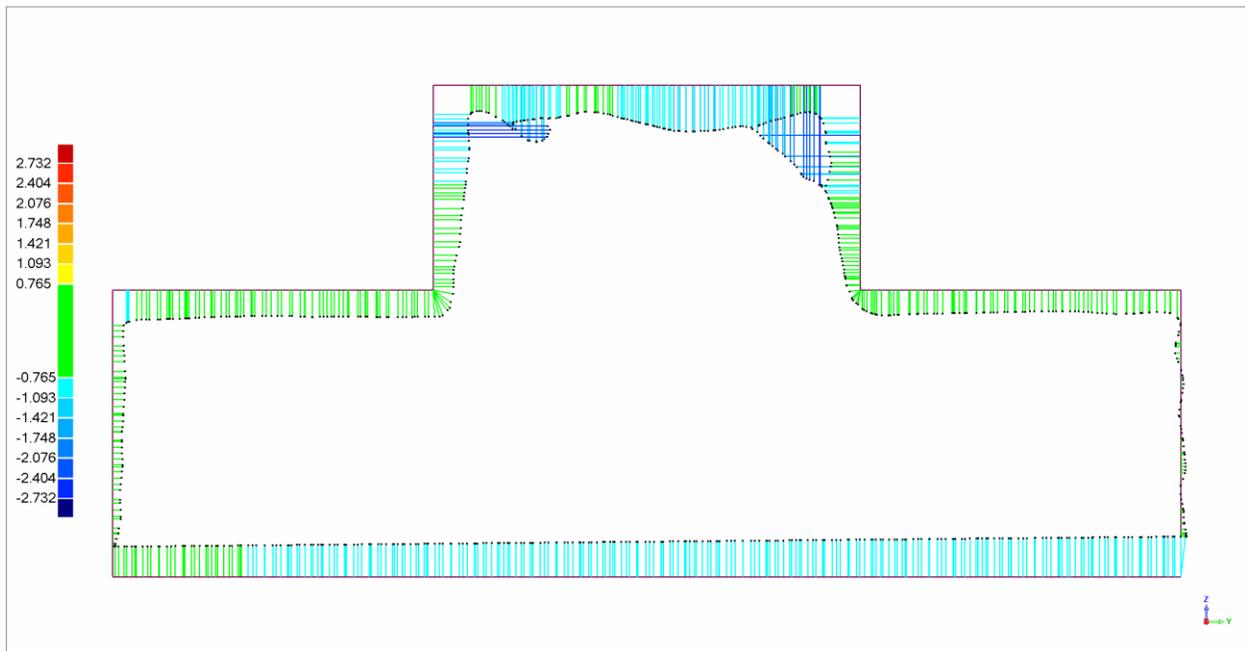
Distribución (+/-)	# Puntos	%
-6 * Desv. estándar.	1	0.132
-5 * Desv. estándar.	0	0.000
-4 * Desv. estándar.	0	0.000
-3 * Desv. estándar.	71	9.392
-2 * Desv. estándar.	372	49.206
-1 * Desv. estándar.	146	19.312
1 * Desv. estándar.	158	20.899
2 * Desv. estándar.	7	0.926
3 * Desv. estándar.	0	0.000
4 * Desv. estándar.	0	0.000
5 * Desv. estándar.	0	0.000
6 * Desv. estándar.	1	0.132



Comparar 2D: Comparativa en 2D 2



X = 30.000 mm

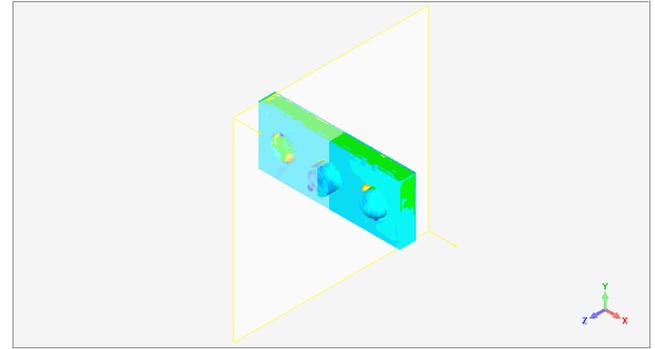


Método: Desviación planar

Comparación 2D Resultados

CSYS: World CSYS

Modelo referencia	PiezaPrueba
Modelo test	Wades



Nombre	Comparativa en 2D 2
Ubicación	X = 30.000 mm
Nº de puntos de datos	769

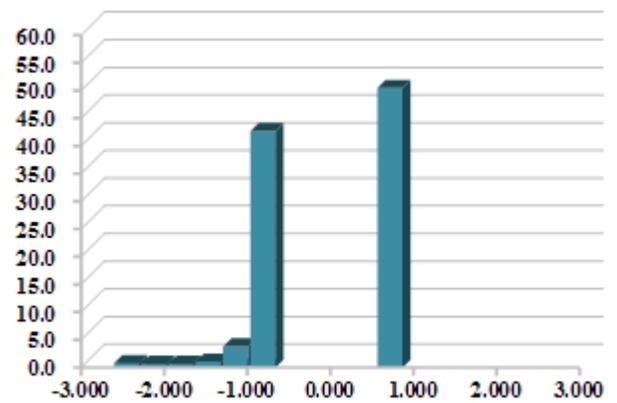
Unidades	mm
Máx. crítico	2.732
Máx. nominal	0.765
Mín. nominal	-0.765
Mín. crítico	-2.732

Desviación	
Máx dev +	0.133
Máx dev -	-2.732
Desviación estándar	0.384

Desviaciones de porcentaje

>=Min	<Max	# Puntos	%
-2.732	-2.404	6	0.780
-2.404	-2.076	5	0.650
-2.076	-1.748	5	0.650
-1.748	-1.421	8	1.040
-1.421	-1.093	29	3.771
-1.093	-0.765	328	42.653
-0.765	0.765	388	50.455
0.765	1.093	0	0.000
1.093	1.421	0	0.000
1.421	1.748	0	0.000
1.748	2.076	0	0.000
2.076	2.404	0	0.000
2.404	2.732	0	0.000

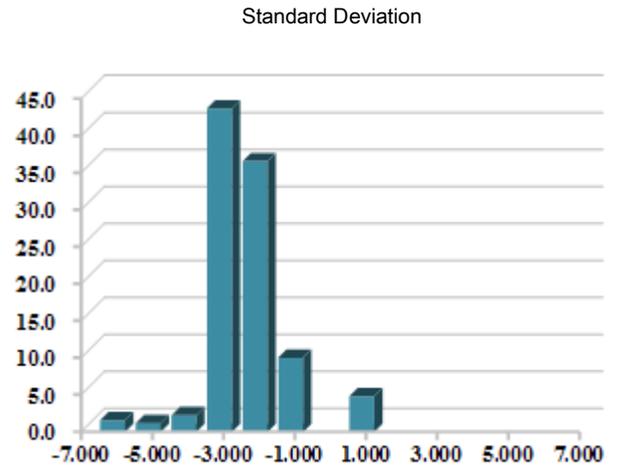
Deviation Distribution



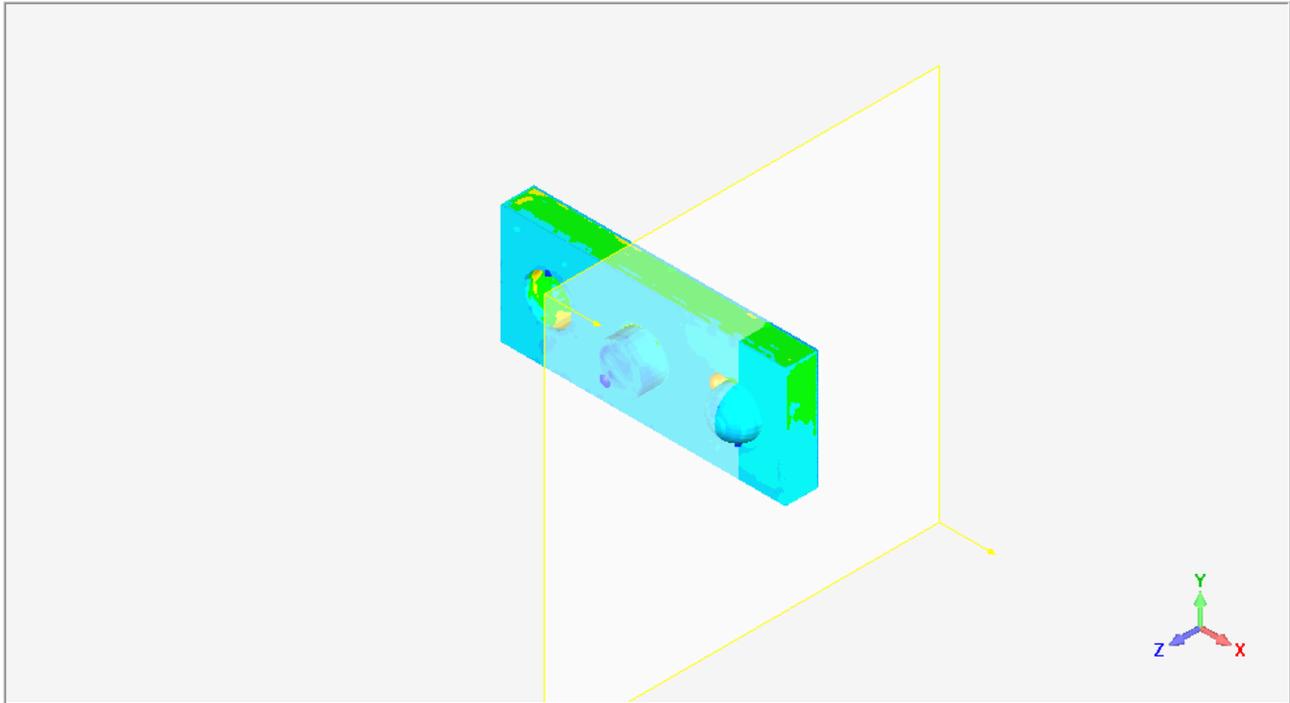
Fuera del crítico superior +	0	0.000
Fuera del crítico inferior -	0	0.000

Desviaciones estándar

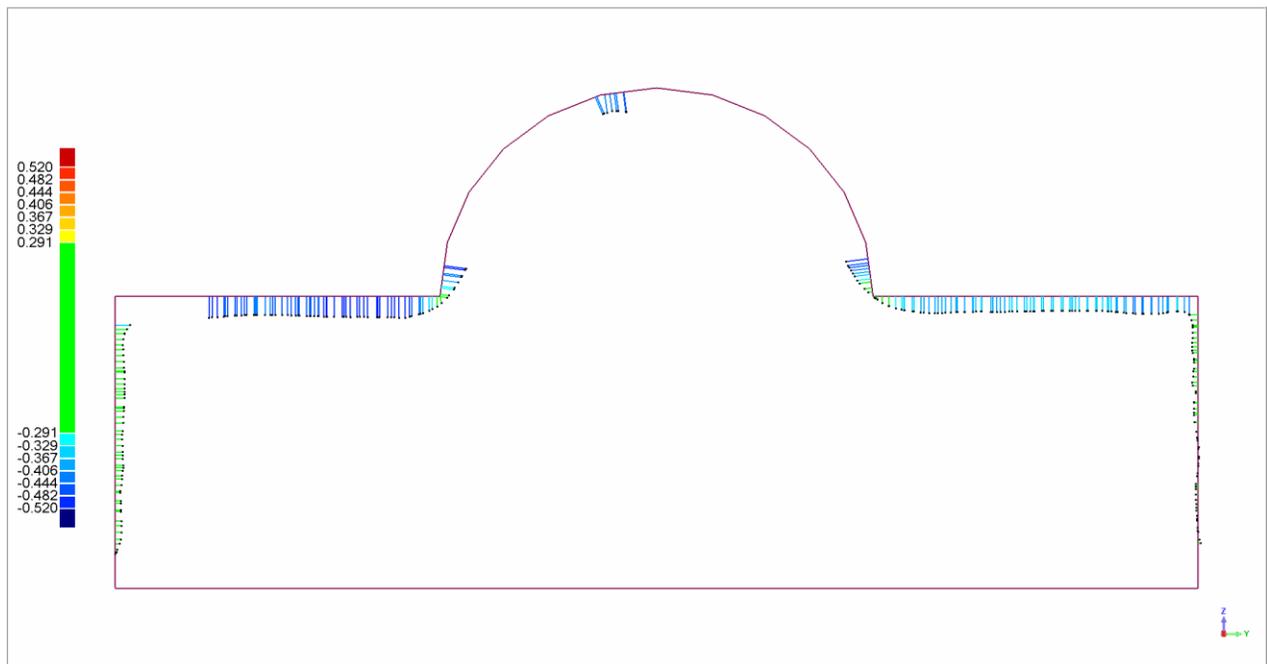
Distribución (+/-)	# Puntos	%
-6 * Desv. estándar.	12	1.560
-5 * Desv. estándar.	9	1.170
-4 * Desv. estándar.	17	2.211
-3 * Desv. estándar.	336	43.693
-2 * Desv. estándar.	281	36.541
-1 * Desv. estándar.	77	10.013
1 * Desv. estándar.	37	4.811
2 * Desv. estándar.	0	0.000
3 * Desv. estándar.	0	0.000
4 * Desv. estándar.	0	0.000
5 * Desv. estándar.	0	0.000
6 * Desv. estándar.	0	0.000



Comparar 2D: Comparativa en 2D 3



X = 50.000 mm

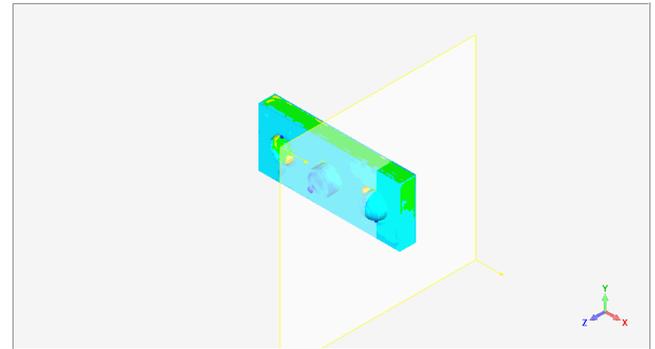


Método: Desviación planar

Comparación 2D Resultados

CSYS: World CSYS

Modelo referencia	PiezaPrueba
Modelo test	Wades



Nombre	Comparativa en 2D 3
Ubicación	X = 50.000 mm
Nº de puntos de datos	286

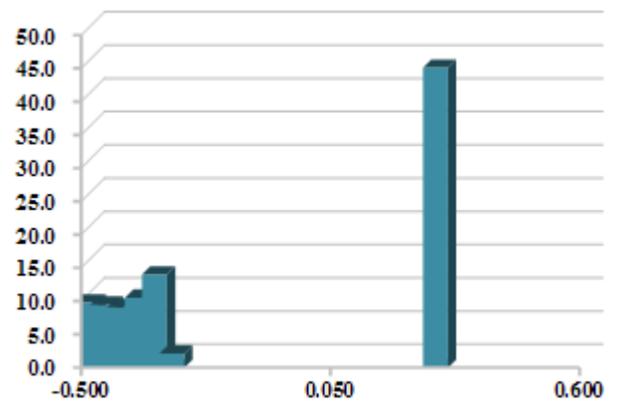
Unidades	mm
Máx. crítico	0.520
Máx. nominal	0.291
Mín. nominal	-0.291
Mín. crítico	-0.520

Desviación	
Máx dev +	0.062
Máx dev -	-0.520
Desviación estándar	0.163

Desviaciones de porcentaje

>=Min	<Max	# Puntos	%
-0.520	-0.482	28	9.790
-0.482	-0.444	27	9.441
-0.444	-0.406	26	9.091
-0.406	-0.367	30	10.490
-0.367	-0.329	40	13.986
-0.329	-0.291	6	2.098
-0.291	0.291	129	45.105
0.291	0.329	0	0.000
0.329	0.367	0	0.000
0.367	0.406	0	0.000
0.406	0.444	0	0.000
0.444	0.482	0	0.000
0.482	0.520	0	0.000

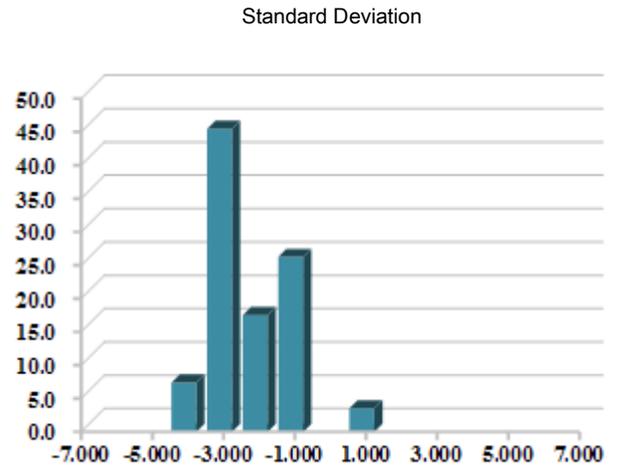
Deviation Distribution



Fuera del crítico superior +	0	0.000
Fuera del crítico inferior -	0	0.000

Desviaciones estándar

Distribución (+/-)	# Puntos	%
-6 * Desv. estándar.	0	0.000
-5 * Desv. estándar.	0	0.000
-4 * Desv. estándar.	21	7.343
-3 * Desv. estándar.	130	45.455
-2 * Desv. estándar.	50	17.483
-1 * Desv. estándar.	75	26.224
1 * Desv. estándar.	10	3.497
2 * Desv. estándar.	0	0.000
3 * Desv. estándar.	0	0.000
4 * Desv. estándar.	0	0.000
5 * Desv. estándar.	0	0.000
6 * Desv. estándar.	0	0.000



Ubicaciones: Desviaciones superior e inferior

Unidades: mm

Nombre	Desv	Estado	Superior Tol	Inferior Tol	Ref X	Ref Y	Ref Z	Radio	Desv X	Desv Y	Desv Z	Medido X	Medido Y	Medido Z	Normal X	Normal Y	Normal Z
Desv. inferior	-2.996				26.844	8.673	10.758	n/a	1.824	2.377	0.000	28.668	11.050	10.758	-0.609	-0.793	0.000
Desv. superior	1.393				46.172	15.654	7.000	n/a	0.355	-0.272	1.319	46.527	15.382	8.319	0.255	-0.196	0.947

Ubicaciones: Comparativa en 2D 1 Desv. superior e inferior

Unidades: mm

Nombre	Desv	Estado	Superior Tol	Inferior Tol	Ref X	Ref Y	Ref Z	Radio	Desv X	Desv Y	Desv Z	Medido X	Medido Y	Medido Z	Normal X	Normal Y	Normal Z
Comparativa en 2D 1 Desv. inferior	-2.492				10.000	17.500	7.000	n/a	0.000	-0.415	-2.457	10.000	17.085	4.543			
Comparativa en 2D 1 Desv. superior	2.502				10.000	17.055	2.000	n/a	0.000	0.000	2.502	10.000	17.055	4.502			

Ubicaciones: Comparativa en 2D 2 Desv. superior e inferior

Unidades: mm

Nombre	Desv	Estado	Superior Tol	Inferior Tol	Ref X	Ref Y	Ref Z	Radio	Desv X	Desv Y	Desv Z	Medido X	Medido Y	Medido Z	Normal X	Normal Y	Normal Z
Comparativa en 2D 2 Desv. inferior	-2.732				30.000	7.500	10.914	n/a	0.000	2.732	0.000	30.000	10.232	10.914			
Comparativa en 2D 2 Desv. superior	0.133				30.000	25.000	0.983	n/a	0.000	0.133	0.000	30.000	25.133	0.983			

Ubicaciones: Comparativa en 2D 3 Desv. superior e inferior

Unidades: mm

Nombre	Desv	Estado	Superior Tol	Inferior Tol	Ref X	Ref Y	Ref Z	Radio	Desv X	Desv Y	Desv Z	Medido X	Medido Y	Medido Z	Normal X	Normal Y	Normal Z
Comparativa en 2D 3 Desv. inferior	-0.520				50.000	6.552	7.000	n/a	0.000	0.000	-0.520	50.000	6.552	6.480			
Comparativa en 2D 3 Desv. superior	0.062				50.000	25.000	1.078	n/a	0.000	0.062	0.000	50.000	25.062	1.078			

ANEXO 3

Análisis económico

Anexo 3. Análisis económico.

3.1 Proveedores.

Se puede elegir entre diferentes proveedores, tanto de kits completos en los cuales se suministran todas las piezas necesarias para el montaje de la máquina. Como proveedores de partes sueltas.

A continuación se adjuntan las direcciones web de los diferentes proveedores consultados:

- **Kits completos:**

- <http://www.thereprapkitstore.co.uk/products-2/reprap-prusa/longboat-prusa-complete-kit/>
- http://www.redwizard3d.com/christmas_preorder_reprap_prusa_kit
- <http://3d-printing.com.au/buy-the-right-printer/buy-a-kit>
- <http://3d-printing.com.au/buy-the-right-printer/buy-3d-printer>
- http://www.ac123dc.com/negozio/index.php?main_page=product_info&cPath=7&products_id=15
- http://www.ac123dc.com/negozio/index.php?main_page=product_info&cPath=7&products_id=5
- http://www.ac123dc.com/negozio/index.php?main_page=product_info&cPath=7&products_id=16
- <http://www.mendel-parts.com/index.php/catalog/complete-kits/mendel-v2/complete-mendel-parts-kit-unassembled.html>
- http://www.reprapbcn.com/catalog/product_info.php?products_id=40&osCsid=3o9e spljkjqfgute93vtinnqg2
- http://www.reprapbcn.com/catalog/product_info.php?cPath=29&products_id=39
- <http://www.makergear.com/products/3d-printers>

- **Accesorios:**

- [2PrintBeta](#)
- [3dStuffmaker](#)
- [ac123dc](#)
- [BotMill](#)
- [Eckertech.com](#) (Solo piezas imprimibles)
- [eMAKERshop](#)
- [LulzBot](#)
- [MakerGear](#)
- [Mendel-Parts.com](#)
- [Mendbot Shop](#)
- [MixShop](#)
- [Printed-Parts.com](#) (Solo piezas imprimibles)
- [Red Wizard 3D](#)
- [RepRap Ltd](#)
- [RepRapBCN](#)
- [RepRap USA](#)
- [resco-research](#)
- [Thingfarm.org](#)
- [Thingfarm North America](#)
- [XYZ Printers](#)

- **Kits eléctricos y mecánicos:**

- [2PrintBeta](#)
- [Baltic Bolt](#)
- [BotMill](#)
- [eMAKERshop](#)
- [German RepRap Foundation \(GRRF\)](#)
- [Supplier of J-Head hot-ends and parts](#)
- [iPrint3D](#)
- [KD85.com](#)
- [LulzBot](#)
- [MakerBot Industries](#)
- [MakerGear](#)
- [Mendel-Parts.com](#)
- [MixShop](#)
- [Paoparts](#)
- [Pololu](#)
- [REPRAP CENTRAL](#)
- [RepRap Kit](#)
- [RepRap-Fab](#)
- [REPRAPBCN](#)

- [RepRap Source](#)
 - [RepRap Stores](#)
 - [Technobots](#)
 - [Thingfarm.org](#)
 - [Thingfarm North America](#)
 - [UltiMachine](#)
 - [XYZ Printers](#)
-
- **Motores:**
 - [2PrintBeta](#)
 - [BotMill](#)
 - [mouwy.com](#)
-
- **Electricidad y Electrónica:**
 - [digikey Canada](#)
 - [digikey US](#)
 - [element-14](#)
 - [HobbyTronics](#)
 - [Mouser](#)
-
- **Mecánica, tornillería, herramientas en general:** (no ligados a RepRap)
 - [BearingBoys](#)
 - [Belting Online](#)
 - [Bolt Depot](#)
 - [Fastenal](#)
 - [Marleva](#)
 - [McMaster-Carr](#)
 - [MSC Industrial](#)
 - [Online Metals](#)
 - [MixShop](#)
 - [Red Wizard 3D](#)
 - [SDP/SI](#)
 - [Small Parts](#)
 - [VXB Bearings](#)

- **Consumibles (ABS, PLA):**

- <http://www.2printbeta.de/index.php?cPath=1&XTCsid=687f6171a0be1b81a15a8ba82cb4524f>
- <http://botmill.com/index.php/materials.html>
- <http://www.mendel-parts.com/index.php/catalog/pla-filament.html>
- <http://www.resco-research.com/products-page/consumables>

NOTA: El **PLA** es tiene mas detalle, más duro y frágil, además de empezar a fluir a temperatura más baja y con menor dilatación que el **ABS**.

El **PLA** es ligeramente más económico y con muchos más proveedores.

Ambos se venden en 2 formatos, rollos de hilo de material de 2 diámetros, 1,75mm y 3mm, siendo éstos últimos algo más económicos.

3.2 Presupuesto de nueva compra.

Tras una inspección minuciosa y una comparación de precios, tiempos de entrega, prestaciones, cercanía, posibilidad de adquisición del kit completo así como de materiales consumibles; nos decantamos por RepRap-Bcn.

Al cuál adquiriremos el Kit completo de “Prusa-Mendel” con algunas piezas imprimibles en SLS; así como dos modelos de extrusor “Wade-Extruder” y “Mini-Extruder Universal”. Además de 4 rollos de 0.5Kg PLA de 1.75mm y 2 rollos de 0.5Kg metros de PLA de 3mm.

A continuación se adjunta el presupuesto final que nos enviaron, donde se detallan los gastos de envío y el IVA.

Pedido:	Importe:
Kit piezas completo SLS + miniextruder 1.75mm	632.00€
Wade's Extruder SLS completo	98.00€
Material PLA 3Kg	75.00€
Gastos de envío	25.00€
BASE IMPONIBLE:	830.00€

IVA (18%)	149.40€
TOTAL:	979.40€

3.3 Presupuesto de duplicación.

Una vez que se dispone de una máquina en funcionamiento, su capacidad de auto-replicancia nos permite imprimir sus propias piezas, de manera que no es necesario adquirirlas de nuevo. Además la sencillez de construcción de la impresora nos permite montarla con tornillería, electrónica y demás accesorios fácilmente adquiribles en cualquier ferretería o tienda de electrónica, bien vía catálogo y envío postal (lo cuál conllevaría unos gastos de envío asociados) o adquiriéndolos *'in situ'*. La idea no es hacer un presupuesto exacto ya que los precios pueden variar ligeramente de adquirir los materiales en un sitio u otro, además de que la tornillería es recomendable comprarla de manera que sobre alguna pieza, ya que pueden perderse o necesitarse alguna de más.

El objetivo es hacerse una idea del coste aproximado y por tanto del ahorro que supone montar una máquina nueva una vez que ya se dispone de otra.

- **Coste del material usado para la impresión:**

La cantidad aproximada de material (PLA) utilizada para un kit completo de 0.65Kg, considerando el coste de material de 25€/kg. Esto da un total de 91.25€.

Además suponemos que adquirimos 6 rollos de material, para que sea equivalente al presupuesto anterior.

- **Tornillería:** esto incluye todos los tornillos, arandelas, tuercas, varillas y rodamientos; es decir todo lo que puede encontrarse en una ferretería. (salvo los rodamientos de 16mm, que pueden adquirirse en tiendas de deporte como rodamientos de patines).

En la guía de montaje aparece con detalle la cantidad de cada elemento necesario, pero es recomendable comprar alguno de más por si acaso (salvo varillas), esto quiere decir si necesitamos 86 tornillos M3 es recomendable comprar un paquete de 100. (Precios aproximados de tienda de bricolaje común).

- **Motores:** Aquí se incluyen los motores necesarios para montar una máquina completa con un solo extrusor.
- **Electrónica:** Precios referidos a diversas tiendas de electrónica, debajo se incluyen las direcciones a los catálogos.
 - Placa RAMPS 1.4
 - Arduino (o Sanguinololu)
 - Drivers Pololu
 - Componentes electrónicos
 - Cableado y conexiones

Piezas imprimibles y material:

Nº:	Descripción:	Importe:
1	Piezas impresas 0.65Kg (coste del material)	16.25€
6	Rollos de 0.5kg PLA (3mm y 1.75mm)	75€
	SUB-TOTAL:	91.25€

Tornillería:

Nº:	Descripción:	Importe:
	Tornillos:	
16	M3x25mm Allen	3€
2	M4x20mm Allen	0.5€
14	M3x10mm Allen	3€
4	M3x40mm Allen	0.5€
8	M3x10mm Allen (avellanados)	0.5€
	Tuercas:	
100	M8	15€
2	M4	0.5€
40	M3 (8 pueden ser autoblocantes)	10€
	Arandelas:	
100	M8	15€
6	M8x30mm (arandela ancha)	0.5€
2	M4	0.5€
70	M3	15€
	Varillas:	
16	Varillas roscadas (medidas varillas en guía de montaje)	25€
6	Varillas lisas (medidas varillas en guía de montaje)	12€
	Muelles:	
2	Muelles grandes M8	2€
4	Muelles pequeños M4	1€
	Rodamientos:	
8	Rodamientos 608 (patines)	8€
	Base caliente:	
2	Planchas aluminio 225x225mm	35€
	Correas transmisión:	
2	Correas 900x5mm (T5 correas de transmisión)	8€
	SUB-TOTAL:	152€

Mecánica:

Nº	Descripción:	Importe:
5	Motor paso a paso NEMA 17	70€
1	Boquilla de cobre (taladro de 0,5mm)	20€
1	Cuadrado cobre (20x20x20mm)	5€
1	Cilindro de teflón (Ø7mm, 100mm)	4€
1	Bloque PEEK soporte	5€
1	Pegamento extrafuerte no fluido (usado en modelismo)	6.45€
	SUB-TOTAL:	104€

Electrónica:

Nº:	Descripción:	Importe:
3	Micro-interruptores (finales de carrera)	0.6€
1	Placa RAMPS 1.4 + Electrónica (* se adjunta la lista completa)	60€
1	Arduino	50€
4	Drivers Pololu	50€
1	Rollo cinta Kapton	8€
1	Silicona térmica	9.01€
1	Cableado de conexión	3€
1	Resistencias 2.5W (Boquilla)	3€
2	Termistor 100K	3€
4	Resistencias 10K (placa caliente)	1.2€
1	Cable resistencia térmica (placa caliente)	0.99€
1	Cable USB	4€
1	Fuente de alimentación PC	28.9€
	SUB-TOTAL:	181€

TOTAL:

Pedido:	Importe:
Piezas imprimibles	91.25€
Material	75€
Tornillería	152€
Mecánica	104€
Electrónica	181€
TOTAL:	603.25€

***Lista de componentes electrónicos:**

Nº:	Nombre:	Valor:	Descripción:
3	C1, C5, C8	10µF	153CLV-0405
1	C2	100nF	C0805
6	C3, C4, C6, C7, C9, C10	100 µF	153CLV-0605
2	D1, D2	1N1004	DO41-10
1	F1	MFR500	MFR500
1	F2	MFR1100	MFR1100
1	LED1	Green	CHIP-LED0805
3	LED2, LED3, LED4	Red	CHIP-LED0805
3	Q1, Q2, Q3	STP55NF06L	TO220BV
5	R1, R7, R11, R21, R22	4.7K (1%)	R0805
8	R2, R3, R4, R5, R6, R8, R9, R10	100k	R0805
1	R12	1K	R0805
3	R23, R24, R25	1.8K	R0806
3	R13, R14, R15	10r	R0805
5	R16, R17, R18, R19, R20	10k	R0805
1	S1	B3F-3100	B3F-31XX
1	U\$2	282837-6	282837-6
1	X4	MSTBA4	MSTBA4
1		0.1'' 18x2 pin	
8		0.1'' 2x3 pin	
5		0.1'' 8x1 pin	
2		0.1'' 6x1 pin	
6		0.1'' 4x1 pin	
2		0.1'' 24x1 female	
4		0.1'' 8x1 female	
15		0.1'' 2 pin jumper	

<http://bcndynamics.com/es/>

<http://www.zappautomation.co.uk/>

<http://www.bricodepot.es/>

<http://www.pobox.com>

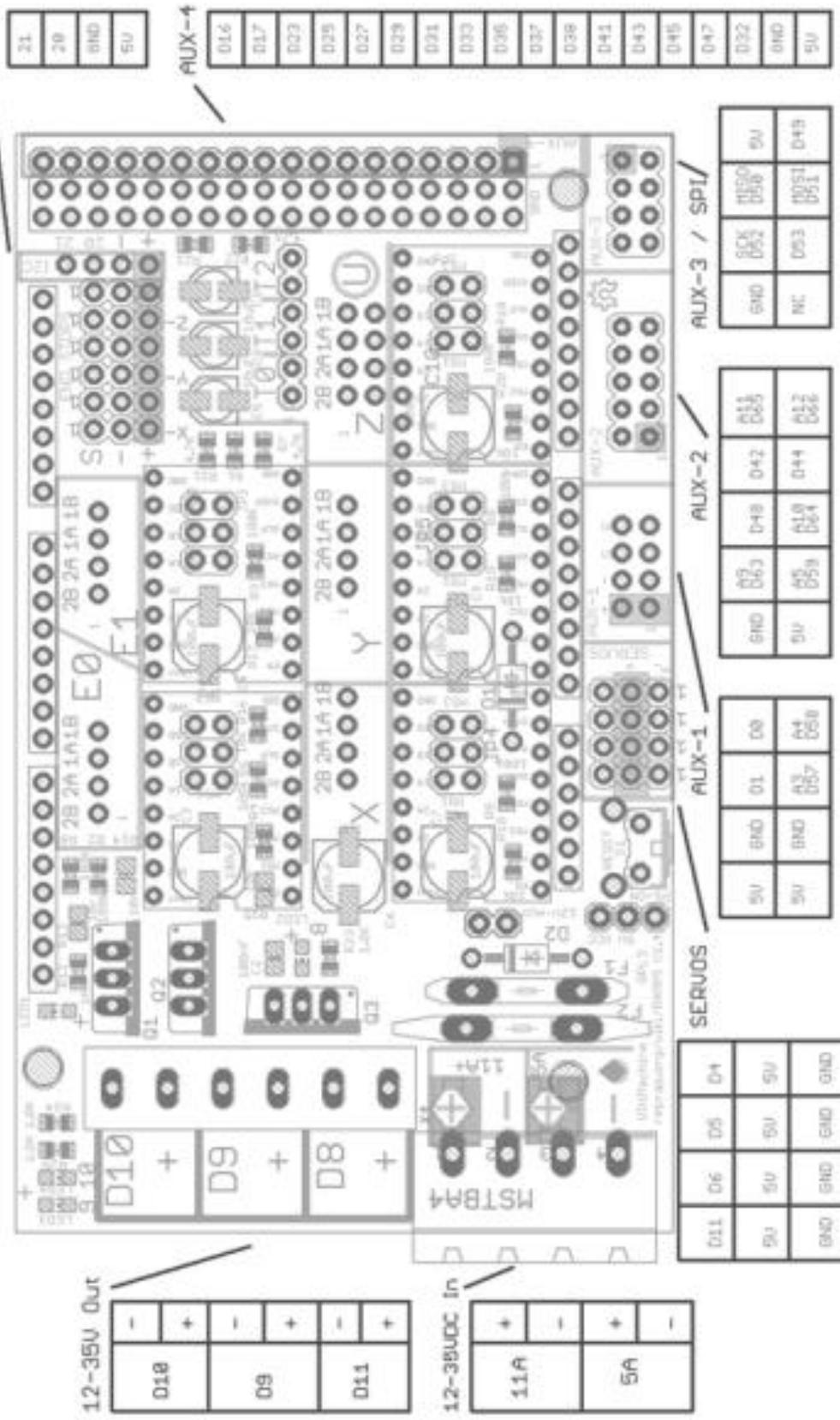
<http://www.diotronic.com/>

ANEXO 4

Datasheets

RAMPS 1.4 (Reprap Arduino MEGA Pololu Shield) GPL v3
reprap.org/wiki/RAMPS1.4

Reversing input power, and inserting stepper drivers incorrectly will destroy electronics. I2C



Document revision 2

