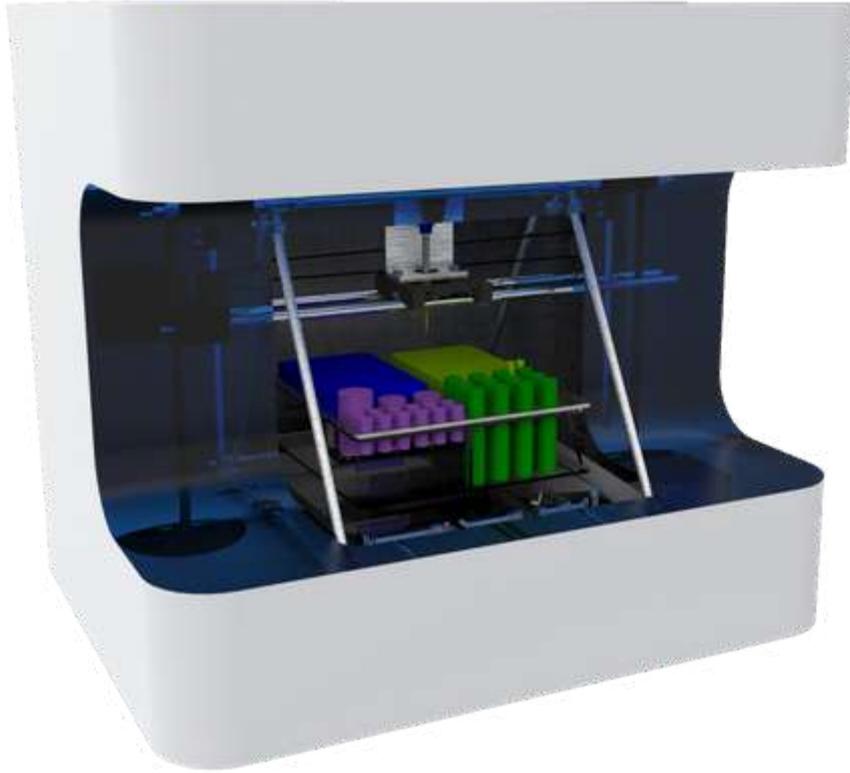


Trabajo Final Integrador de la carrera de Especialista en Gestión de la Tecnología y la Innovación



“Investigación y desarrollo de un procesador automático de muestras ELISA”

Aplicación de los conocimientos adquiridos en la Especialización de Gestión de la Tecnología y la Innovación, frente a un proyecto de investigación y desarrollo de un procesador automático de muestras ELISA para una empresa del ámbito local

Alumno
Ing. Juan Nicolás Behm

Tutor
Dr. Ing. Guillermo Lombera



RINFI es desarrollado por la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

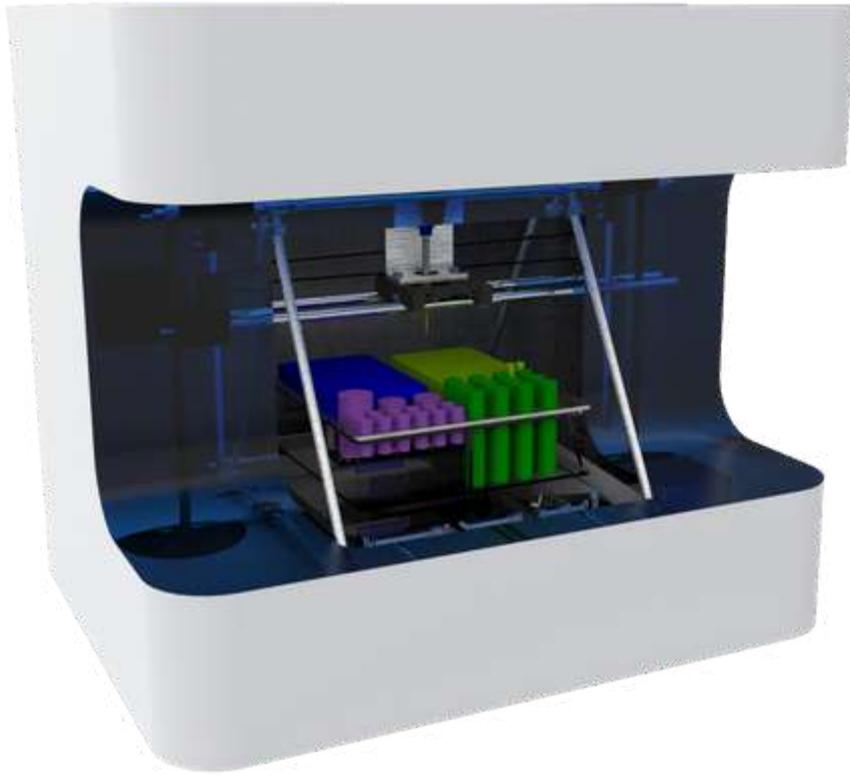
Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Trabajo Final Integrador de la carrera de Especialista en Gestión de la Tecnología y la Innovación



“Investigación y desarrollo de un procesador automático de muestras ELISA”

Aplicación de los conocimientos adquiridos en la Especialización de Gestión de la Tecnología y la Innovación, frente a un proyecto de investigación y desarrollo de un procesador automático de muestras ELISA para una empresa del ámbito local

Alumno
Ing. Juan Nicolás Behm

Tutor
Dr. Ing. Guillermo Lombera

Tabla de Contenidos

1. Resumen	02
2. Introducción	03
3. Descripción del Problema	07
3.1. Diagnóstico	07
3.2. Justificación del proyecto	09
4. Descripción del Proyecto	11
4.1. Solución planteada	14
4.2. Alcance	16
4.2.1. Especificaciones técnicas	17
4.3. Estructura de Descomposición de Trabajo	19
4.3.1. Descripción de las actividades	20
4.4. Proyección inicial de Línea base y desvío	33
5. Análisis y Diseño	37
5.1. Hardware	37
5.1.1. Prototipo inicial para el Procesador automático de muestras ELISA	37
5.1.2. Elementos constituyentes de la gradilla	40
5.1.3. Electrónica	46
5.1.4. Placa controladora	48
5.1.5. Control de motores	54
5.1.6. Motores	59
5.1.7. Sensores	60
5.2. Software	61
5.2.1. Marco de desarrollo	61
5.2.2. Funciones del sistema	66
5.2.3. Diagrama de Base de Datos	68
5.2.4. Casos de Uso	69
5.2.5. Diagrama de Clases: núcleo fundamental	75
6. Implementación y Pruebas	76
7. Conclusiones	80
8. Anexos	83
9. Bibliografía	84

1. Resumen

El presente trabajo se desarrolla en el marco del *Trabajo Final Integrador* de la Carrera de *Especialización en Gestión de la Tecnología y la Innovación*, de la *Universidad Nacional de Mar del Plata*. En el trabajo se describe la aplicación de los conocimientos adquiridos en la Carrera frente a un proyecto de innovación tecnológica real de una empresa local, la cual desea desarrollar un equipo de laboratorio automatizado para el procesamiento de muestras biológicas mediante la metodología conocida como ELISA. Esta metodología es intensivamente empleada tanto en laboratorios como centros transfusionales para diagnóstico de enfermedades infecciosas, así como para cuantificar niveles de hormonas y marcadores tumorales, entre otras utilidades. El desarrollo del proyecto requiere diversos aspectos innovadores, contemplando las características del mercado local y de los países emergentes. El *Trabajo Final Integrador* detalla el desarrollo de dicho proyecto, desde el diagnóstico del problema y justificación, pasando por la elaboración de un plan, conformación de un equipo de trabajo multidisciplinario, análisis y diseño de una solución, y la búsqueda de un ente financiador, hasta la construcción de un dispositivo prototipo que cumpla con las necesidades planteadas por la empresa.

2. Introducción

La empresa *IAC Internacional S.R.L.*, desarrolla y comercializa productos e insumos médicos y biotecnológicos desde 1993, contando con la inscripción ante el ANMAT. La comercialización a nivel nacional se realiza mediante una red de distribuidores que cubre todo el país, siendo líder en su rubro. Actualmente, también exporta sus productos e insumos al mercado latinoamericano y tiene proyectada la introducción en el mercado europeo y africano en los próximos años.

La empresa utiliza el paradigma de innovación abierta, en el cual las empresas pueden desarrollar y potenciar su actividad innovadora sin la necesidad de disponer de megaestructuras gigantescas de I+D, haciendo uso de las tecnologías y conocimientos externos existentes⁽¹⁾. El eje central de la innovación abierta se asienta en la participación o colaboración en los procesos tanto de desarrollo de innovaciones como de explotación de las innovaciones de agentes externos (universidades, consumidores, centros tecnológicos, competidores, etc.). El paradigma o modelo de innovación abierta representa una nueva filosofía por lo que respecta a la gestión de los procesos de innovación, que se basa en la combinación de ideas y tecnologías externas junto con las ideas y tecnologías internas, tanto en las fases de desarrollo de las innovaciones como en las de explotación o comercialización⁽¹⁾.

En el fondo del paradigma de la innovación abierta está el supuesto de que las empresas no pueden llevar a cabo por sí solas todas las actividades de I+D, sino que necesitan apoyarse y capitalizar el conocimiento externo existente, bien mediante contratos de licencia,

acuerdos de algún tipo, o simplemente comprándolo. Esta nueva forma de gestionar la innovación supone un cambio en el paradigma empresarial a la hora de afrontar el proceso de innovación, debido a que se pasa de una mentalidad individualista y basada en el aislamiento a una mentalidad participativa y abierta al exterior, lo que implica también importantes retos y desafíos a nivel organizacional para las empresas⁽²⁾.

Desde la empresa surgió una propuesta para desarrollar un procesador automático de muestras para realizar análisis en laboratorios y otras instituciones relacionadas con la salud que realicen procesamiento de muestras biológicas. En particular, para ser utilizado en el procesamiento de muestras mediante la técnica conocida como ELISA (*Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay*, Ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas). Esta metodología es intensivamente empleada tanto en laboratorios como centros transfusionales para diagnóstico de enfermedades infecciosas como Hepatitis, HIV, Chagas, Sífilis, etc⁽³⁾. Asimismo, se utiliza para cuantificar niveles de hormonas, marcadores tumorales, entre otras actividades⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

La iniciativa de la empresa apunta a desarrollar un equipo automático de tamaño reducido, bajo costo de materiales y fácil mantenimiento, con una mínima asistencia del usuario para su funcionamiento, satisfaciendo un nicho en el mercado que hoy no se encuentra cubierto. Se busca además mejorar la capacidad de procesamiento de muestras de los laboratorios bioquímicos, mejorar la seguridad, reducir la cantidad de errores que ocurren durante la manipulación de las muestras, y mejorar la logística en la clasificación y distribución de muestras en las áreas internas del laboratorio. El desarrollo de un instrumento de este tipo, permite complementar la línea de insumos elaborados por la empresa e ingresar en el mercado de comodatos.

Siguiendo con el modelo de innovación abierta, la empresa se esmera en encontrar a las personas que tengan el conocimiento necesario para terminar de desarrollar la idea y elaborar un proyecto acorde a las necesidades planteadas. La solución propuesta para el desarrollo del proyecto incluye elaborar un plan para facilitar la gestión de tiempos y recursos, conformar un equipo de trabajo multidisciplinario con capacidades y conocimientos suficientes para desarrollar el proyecto de manera exitosa, y encontrar una fuente de financiamiento para afrontar los costos del desarrollo de un prototipo que cumpla con las características deseadas.

El desarrollo del proyecto para la empresa debe contar con diversos aspectos innovadores, contemplando las características del mercado local y de los países emergentes. El diseño debe ser compacto y modular para permitir la adición de módulos de acuerdo a las necesidades. El Software del dispositivo debe ser fácil de utilizar y adecuarse a los requerimientos de profesionales de la salud con experiencia diaria en el tema. Se deberán evaluar las fuentes de financiamiento vigentes, seleccionar las que son factibles y adecuarse a la más conveniente.

Los proyectos innovadores enfrentan mayores desafíos que los tradicionales, principalmente debido a los altos riesgos e incertidumbre, en especial en las fases más tempranas de su desarrollo. Las políticas públicas pueden apoyarlos por medio de un abanico de instrumentos que ofrezcan financiamiento, asesoría y/o capacitación. El sistema institucional de apoyo al emprendimiento innovador varía entre países en función de su estructura institucional, organización territorial y el nivel de desarrollo de la base científica y

productiva. La gobernanza institucional incluye, en general, los organismos responsables de la política de innovación y de desarrollo productivo y competitividad, así como las instituciones focalizadas en el apoyo a los proyectos innovadores⁽⁶⁾.

La creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCyT) en 2007 denota la creciente importancia que la innovación ha cobrado en la agenda de desarrollo en la Argentina. El ministerio es responsable de la formulación de políticas y programas de innovación, así como de la supervisión de los organismos destinados a la promoción, regulación y ejecución de las políticas (la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, ANPCyT, y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, CONICET). El objetivo del MINCyT es apoyar y orientar el desarrollo científico y tecnológico y la innovación productiva, contribuyendo a generar un nuevo modelo productivo que incremente la competitividad de la economía nacional y la inclusión social⁽⁶⁾. La Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica maneja los fondos científicos y tecnológicos, entre los cuales se encuentran: el Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR) y el Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FonCyT) que operan desde 1996, el Fondo Fiduciario de Promoción de la Industria del Software (FONSOFT) introducido en 2004, y el Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC) puesto en marcha en 2009. Por su parte, el Ministerio de Industria, a través de la Secretaría PyME (SePyME), opera programas a través de herramientas que permiten a las empresas acceder a créditos para inversión productiva, capacitación de calidad para recursos humanos, aportes no reembolsables para mejorar la gestión empresarial, asistencia técnica y económica para la asociatividad de pymes, y también, apoyo a la actividad emprendedora y al desarrollo regional para fortalecer las cadenas de valor⁽⁶⁾⁽⁷⁾.

3. Descripción del Problema

3.1. Diagnóstico

La manipulación y procesamiento de muestras biológicas, por ejemplo para la detección por el laboratorio de agentes infecciosos, puede efectuarse por procedimientos manuales, semiautomáticos o totalmente automatizados. Todos los procesos tienen sus ventajas y limitaciones⁽⁸⁾⁽⁹⁾.

Los procedimientos manuales, por ejemplo la transferencia de un volumen exacto de una muestra biológica de un recipiente a otro a través de una pipeta graduada, dependen de la habilidad y experiencia del operador. Los mismos poseen mayor error en la determinación y resultan potencialmente riesgosos, ya que el operador se encuentra expuesto al contacto con las muestras biológicas. Asimismo, el tiempo no se puede estimar de manera exacta y generalmente se consume mayor tiempo que en los métodos automatizados⁽⁹⁾.

Los dispositivos semiautomáticos se utilizan como complemento de los procedimientos manuales, por ejemplo las micropipetas automáticas aportan más practicidad y mayor velocidad para dispensar muestras y reactivos de laboratorio, sin embargo requieren la asistencia y atención permanente del operador. Estos dispositivos no se producen en el mercado nacional.

Los procedimientos automatizados mejoran notablemente el tiempo de procesamiento, precisión y reducción de riesgo biológico⁽⁵⁾⁽⁸⁾. Sin embargo, requieren el uso de insumos e

instrumental importado de alto costo, y crea una dependencia del usuario hacia el proveedor en el consumo de reactivos⁽⁹⁾.

En la actualidad, los sistemas que aportan soluciones integrales al procesamiento de muestras biológicas en los laboratorios clínicos y bancos de sangre, son considerablemente costosos⁽⁸⁾ y producidos por grandes corporaciones internacionales. La mayoría de los equipamientos que se comercializan en nuestro país utilizan lo que se denomina *sistema cerrado*. Los sistemas cerrados requieren el uso de insumos específicos, lo que crea una dependencia hacia el proveedor, tanto del instrumental como del consumo de reactivos (insumos)⁽⁸⁾. La dependencia se debe a que los sistemas solamente funcionan con los insumos que provee el fabricante o poseen restricciones que hacen difícil de adaptarlos al empleo de otros insumos que no sean los originales. Dichos sistemas tienen un valor de mercado del orden de 150.000 USD. Además, el soporte técnico y los repuestos son sumamente elevados.

Las instituciones normalmente utilizan para sus laboratorios el sistema de comodato, en el cual el proveedor instala el equipamiento por un tiempo determinado, utilizando un sistema cerrado, con un consumo de reactivos específicos obligatorio⁽⁸⁾, muchas veces incluido en el mismo comodato para ser distribuido por el mismo proveedor.

El segmento tecnológico es dominado por empresas extranjeras (figura 1). Dicha situación provoca un mercado cautivo al cual solo pueden acceder los grandes laboratorios clínicos, Instituciones de Salud u Hospitales públicos y, además, el precio de los consumibles, repuestos y soporte técnico es fijado en forma unilateral por el proveedor.



El mercado esta controlado por multinacionales que ofrecen productos complejos y costosos, a los que solo acceden grandes Laboratorios y Hospitales

Figura 1: Empresas que dominan el mercado de procesamiento de muestras biológicas.

A nivel nacional no se detectaron antecedentes de instrumentos similares, tampoco se han encontrado patentes ni restricciones de ningún tipo.

3.2. Justificación del proyecto

El proyecto tiene como objetivo la automatización a pequeña y mediana escala de procesos y procedimientos de laboratorio, acercando la tecnología a lugares e instituciones que, por cuestiones de costos, hoy no pueden acceder. El proyecto tiene características innovadoras que buscan satisfacer las necesidades de las instituciones medianas y pequeñas, que actualmente no se encuentran satisfechas (nicho de mercado).

En particular, se busca automatizar el procesamiento de muestras biológicas que utilicen el método conocido como ELISA (*Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay*, Ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas). Esta metodología es intensivamente empleada para el diagnóstico de enfermedades infecciosas como Hepatitis, HIV, Chagas, Sífilis, etc ⁽³⁾. Además se utiliza para cuantificar niveles de hormonas, marcadores tumorales, entre otras actividades⁽⁴⁾⁽⁵⁾. Dicha técnica es factible de automatización a través de desarrollos biotecnológicos, logrando ventajas significativas sobre los procesos manuales. Se busca mejorar la capacidad de procesamiento de muestras, así como también reducir la cantidad de errores y riesgos biológicos que ocurren durante la manipulación de las muestras, escasez de logística en la clasificación y distribución de muestras en las áreas internas de los laboratorios, instituciones de Salud e Investigación.

El producto desarrollado podría ser utilizado en Laboratorios de Análisis Clínicos, Laboratorios de campaña, Hemocentros, Hospitales, Clínicas u otras instituciones de Salud y/o Investigación. Se vincula a las actividades donde se realice manipulación, procesamiento y análisis de muestras biológicas, químicas, radioactivas, o cualquier otro tipo de muestras en estado líquido. Se puede vincular a áreas relacionadas a la Bioquímica, Biología Molecular, Biotecnología, Inmunología, Investigación, Medicina, Química, entre otras.

El producto permitiría a la empresa involucrada, y a otros proveedores de reactivos nacionales, incorporar sus propios insumos y consumibles (kits diagnósticos), que podrían ser utilizados por el dispositivo que se pretende desarrollar, al mercado nacional en competencia con los importados.

Potencialmente, el producto podría sustituir la importación de auto analizadores y procesadores de muestras automatizados para laboratorios de análisis clínicos, clínicas, hospitales y bancos de sangre. Asimismo, existe un amplio potencial en el mercado internacional.

4. Descripción del Proyecto

El proyecto apunta a desarrollar un equipo automático de bajo costo de materiales y fácil mantenimiento, con una mínima asistencia del usuario para su funcionamiento, satisfaciendo una vacante en el mercado que hoy no se encuentra cubierta. Se busca además mejorar la capacidad de procesamiento de muestras de los laboratorios clínicos, así como también reducir la cantidad de errores que ocurren durante la manipulación de las muestras y escasez de logística en la clasificación y distribución de muestras en las áreas internas del laboratorio.

La idea es combinar tecnologías existentes en el mercado para desarrollar una solución integral, simple y económica a la problemática del procesamiento robotizado de muestras. Además, se busca proveer soluciones innovadoras no solamente en la producción del equipamiento, sino también la metodología de mantenimiento, soporte y facilidad de adaptación a la necesidad de procesamiento de cada laboratorio.

Se requiere desarrollar un dispositivo modular con piezas fácilmente intercambiables, en donde no haga falta la intervención de un técnico especialista para realizar el intercambio de los componentes que conforman al equipo. De esta manera se podrían cambiar componentes que sufran fallos, o agregar componentes adicionales, sin la necesidad de enviar

personal calificado para realizar dicha tarea (un serio problema en países extensos como el nuestro). La facilidad de comunicación a Internet, permitiría el diagnóstico a distancia de posibles desperfectos.

Básicamente, se trata de desarrollar un dispositivo automático para clasificar, diluir y dispensar muestras de laboratorio. El dispositivo debe ser capaz de identificar una rutina específica de laboratorio, tomar muestras biológicas desde tubos de ensayo (identificadas manualmente o leídas por código de barra), diluir/mezclar las muestras con los reactivos apropiados para cada práctica de laboratorio, y dispensar dicha dilución en una microplaca para *ELISA*. Además, se debe controlar tiempos de espera, repetición de pasos y temperaturas de la microplaca según las preferencias configuradas para cada rutina. Se incorporó un sistema estadístico de autocontrol para facilitar el mantenimiento y correcto funcionamiento. El diseño modular hace posible la ampliación del dispositivo para trabajar con más microplacas según las necesidades propias de procesamiento de cada laboratorio, se podrán intercambiar fácilmente los componentes y repuestos para un rápido y fácil mantenimiento y reparación.

Los componentes electrónicos y control lógico del prototipo se desarrollarán con una base de plataforma *Arduino*⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾, una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de utilizar. También se utilizará un ordenador de placa reducida (*Single Board Computer*) para administrar el almacenamiento y las interfaces de comunicación con el usuario. La simplicidad de uso y experiencia del equipo de trabajo sobre dicha plataforma agilizará el desarrollo del sistema electrónico del dispositivo. Se contará con un servicio de asistencia online y con la posibilidad de actualizar

el software y de monitorear las actividades del dispositivo a través de Internet. Se deben utilizar distintos mecanismos electromecánicos de control para prevenir errores, verificar el correcto funcionamiento y advertir mantenimientos necesarios.

Objetivo General:

Investigar y desarrollar un dispositivo automático procesador de muestras para realizar análisis en laboratorios, que cumpla con los siguientes requerimientos:

- El dispositivo se debe poder adaptar a las necesidades de procesamiento de un laboratorio pequeño, mediano o grande.
- El diseño debe ser modular, pudiendo adaptarse a las distintas necesidades de trabajo de los usuarios.
- El tamaño debe ser compacto, liviano y de mesa.
- La mecánica y electrónica deben ser sencillas, basadas en materiales y componentes estándar, disponibles en el mercado nacional.
- El Software del dispositivo debe ser portable y sencillo, de fácil utilización, configuración y adaptación a las necesidades del usuario y características del dispositivo.
- Deberá incorporarse un sistema de mantenimiento y diagnóstico.
- El precio del dispositivo básico no debería superar el 15% del precio de mercado de los productos existentes.

4.1. Solución planteada

Actividades principales:

- Elaborar un plan de proyecto para facilitar la gestión de actividades a realizar, tiempos y recursos necesarios.
- Conformar un equipo de trabajo multidisciplinario con capacidades y conocimientos para desarrollar el proyecto de manera exitosa. El equipo de trabajo debería incluir:
 - Profesionales de la salud expertos en el tema que puedan definir exhaustivamente los requerimientos y validar los resultados a medida que se implementen.
 - Profesionales de Informática, Diseño Industrial y Electrónica que puedan diseñar e implementar una solución integral que satisfaga las necesidades planteadas.
 - Un líder de proyecto que dirija y gestione el proyecto y la tecnología asociada.
- Encontrar una fuente de financiamiento y adecuar el proyecto para que cumpla con las características requeridas por el ente financiador.

Supuestos:

- Se contará con un espacio físico adecuado para desarrollar el proyecto.
- Se contará con equipamiento, componentes e insumos necesarios.
- Se contará con al menos un profesional informático que desarrolle el software.
- Se contará con al menos un profesional electrónico que desarrolle la electrónica.
- Se contará con al menos un Diseñador Industrial que desarrolle la mecánica.

- Se contará con al menos un profesional de la salud experto en el tema que valide los requerimientos y resultados durante el desarrollo del proyecto.
- Se contará con un ente financiador que financie el proyecto.

Restricciones:

- El costo del proyecto no debería exceder el presupuesto aprobado por el ente financiador.
- El dispositivo a desarrollar será un dispositivo piloto, un prototipo de carácter experimental.

Financiamiento:

Se evaluaron las características del proyecto y de la empresa, junto a la disponibilidad de entidades que potencialmente podrían financiar el proyecto. La financiación a través de organismos del estado generalmente resulta más favorable que las entidades privadas, ya que las tasas de interés son menores (o nulas) y se incluyen instrumentos como los *Aportes No Reembolsables (ANR)* destinados a cofinanciar proyectos a través de subvenciones que cubren un porcentaje del costo del proyecto⁽⁷⁾. Dentro de las entidades y programas de financiamiento, el más favorable resultó ser el *Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR)*. La *Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT)* apoya, a través del *FONTAR*, proyectos dirigidos al mejoramiento de la productividad del sector privado a través de la innovación tecnológica⁽⁶⁾⁽⁷⁾.

El *FONTAR* tiene diferentes instrumentos de promoción y financiamiento, los cuales dependen de las características propias de cada empresa y proyecto que desee financiarse. La

convocatoria más adecuada al momento de elegir la financiación resultó ser el llamado a la presentación de Proyectos de Innovación Tecnológica para la adjudicación de *Aportes No Reembolsables (ANR 800)* destinados al financiamiento de proyectos de desarrollo tecnológico presentados por empresas PyMEs en el marco del *Programa de Innovación Tecnológica* cofinanciado por el *BID (Banco Interamericano de Desarrollo)*.

Se relevó toda la información necesaria sobre la empresa y el proyecto. Se elaboraron los informes y formularios requeridos para presentar ante el ente financiador. Se realizaron las presentaciones correspondientes y, finalmente, el proyecto quedó elegido y pudo comenzar con el desarrollo.

Referencia del Proyecto en FONTAR:

- Convocatoria ANR 800 2012 C2
- Proyecto N° 087/12 - IAC Internacional S.R.L. - “Investigación y desarrollo de un procesador automático de muestras ELISA” - (Anexo 1)
- <http://www.agencia.mincyt.gob.ar/upload/REs.192-13-Evaluaci%C3%B3n-ANR-800-2012-CONV.2-Aprobados-con-modificaciones.pdf> - (Anexo 2)

4.2. Alcance

El producto a desarrollar deberá cumplir los siguientes requerimientos:

- El sistema debe poder identificar de muestras y reactivos de laboratorio a través de la lectura de etiquetas impresas en código de barras y/o código QR (*Quick Response code*, «código de respuesta rápida»).

- El sistema debe poder identificar, almacenar y ejecutar rutinas asociadas a través de la lectura de etiquetas impresas en código de barras y/o código QR.
- El dispositivo deberá poseer una capacidad de procesamiento para volúmenes de muestra de sangre y reactivos entre 5 y 200 μL .
- El dispositivo podrá configurarse para el mantenimiento de determinaciones a temperatura controlada entre 20°C y 40°C.
- El sistema debe poder personalizar, almacenar y ejecutar instrucciones de procesamiento según determinaciones o tipo de reactivo.
- El sistema debe poder generar reportes estadísticos sobre su utilización y mantenimiento.
- El dispositivo deberá poseer mecanismos múltiples para detección y prevención de errores.
- El software deberá ser portable y multiplataforma, con la posibilidad de monitorización remota y control de velocidad de operación.
- Se debe desarrollar un sistema de ayuda y soporte online capaz de resolver los problemas y consultas más frecuentes.
- La dimensión completa del dispositivo no deberá superar medio metro cúbico (0,5 m^3).
- El dispositivo deberá tener un área de desplazamiento interna mínima de 0,2 x 0,2 m.

4.2.1. Especificaciones técnicas

Software

- El software se desarrollará con una metodología de desarrollo ágil. El sistema se construirá sobre una Plataforma Web con conexión a una base de datos local.

- Se utilizarán lenguajes de programación y plataformas de desarrollo sin licenciamiento privativo.
- El sistema de soporte se desarrollará sobre una plataforma web. El servicio se alojará en un servidor externo y podrá ser accedido a través de Internet.

Hardware

- El diseño del hardware será modular, con el objetivo de poder reemplazar fácilmente los componentes del dispositivo.
- Se utilizará un ordenador de placa reducida (*Single Board Computer*) para almacenar y procesar el software que administra las funciones del dispositivo y brinda interfaz con el usuario.
- La electrónica y autocontrol del prototipo se desarrollarán con Arduino, una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de utilizar ⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾.
- Se utilizará un dispositivo dispensador semi-automático de fluidos Marca *Biohit* modelo *rLINE 200/1 LS* para la manipulación de muestras y reactivos.

4.3. Estructura de Descomposición de Trabajo (EDT)

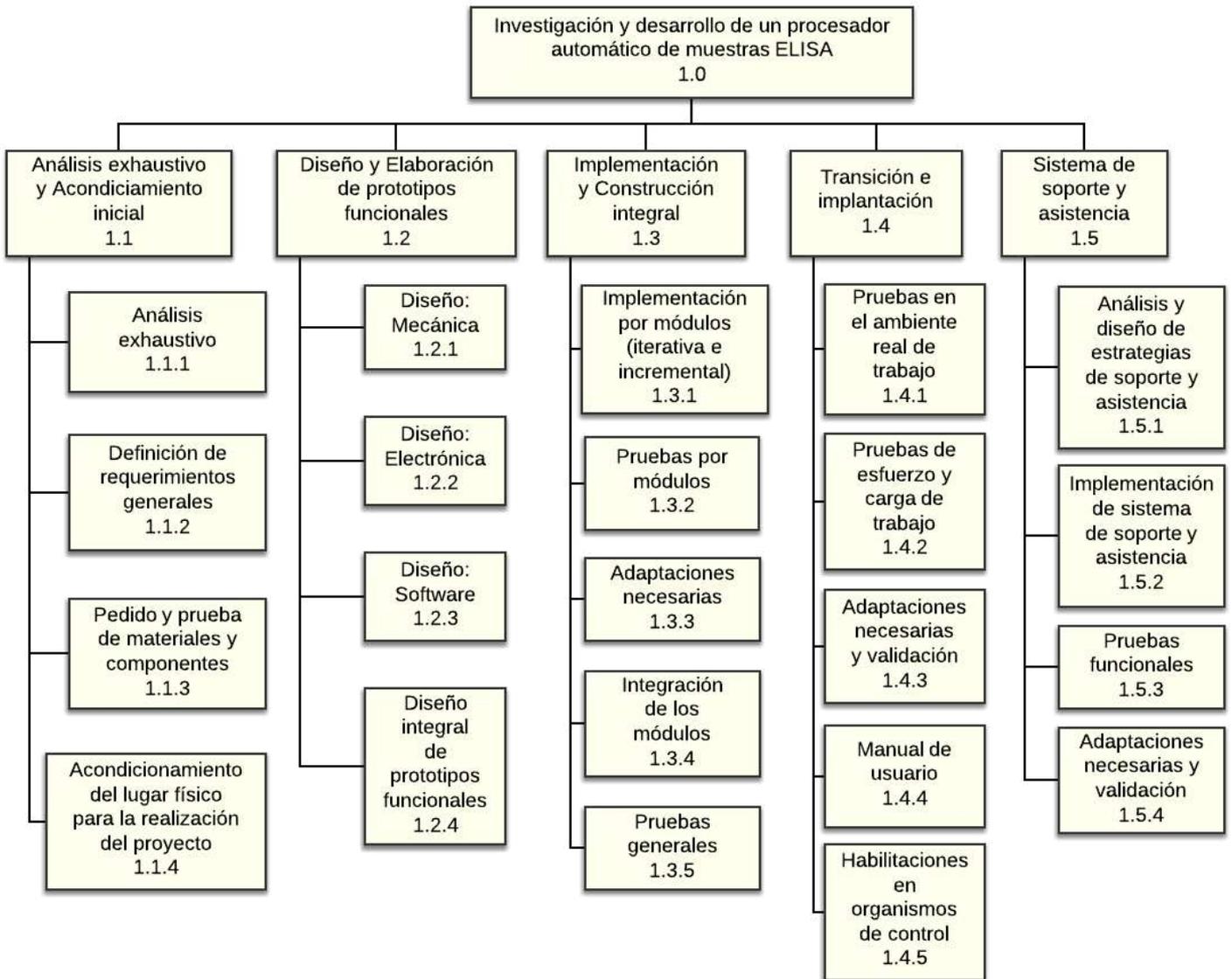


Figura 2: Estructura de Descomposición de Trabajo (EDT)

4.3.1. Descripción de las actividades

1.1	Análisis exhaustivo y Acondicionamiento inicial
Objetivo:	Contar con el lugar, materiales y componentes adecuados para desarrollar el proyecto. Definir conceptualmente el prototipo, la interacción del sistema, límites y alcance
Descripción:	Etapa inicial donde se analizan y definen los requerimientos del sistema, límites y alcance. Además, se acondiciona un lugar de trabajo donde se pueda trabajar adecuadamente
Duración:	40 días
Fecha inicio:	03/06/2013
Fecha Fin:	23/07/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de análisis y prototipo conceptual

1.1.1	Análisis exhaustivo
Objetivo:	Contar con un análisis completo del sistema a desarrollar
Descripción:	Etapa inicial donde se analizan y definen los requerimientos del sistema, límites y alcance
Duración:	30 días
Fecha inicio:	03/06/2013
Fecha Fin:	12/07/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de análisis

1.1.2	Definición de requerimientos generales
Objetivo:	Contar con la definición formal de los requerimientos del sistema
Descripción:	Etapa inicial donde se analizan y definen los requerimientos del sistema, límites y alcance
Duración:	30 días
Fecha inicio:	17/06/2013
Fecha Fin:	26/07/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de análisis: requerimientos del sistema

1.1.3	Pedido y prueba de materiales y componentes
Objetivo:	Contar con materiales y componentes fundamentales para desarrollar el sistema
Descripción:	Se deben adquirir los materiales, componentes e insumos fundamentales para el desarrollo del sistema
Duración:	40 días
Fecha inicio:	03/06/2013
Fecha Fin:	26/07/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Materiales, componentes e insumos

1.1.4	Acondicionamiento del lugar físico para la realización del proyecto
Objetivo:	Contar con un lugar adecuado para el desarrollo del proyecto
Descripción:	Se acondiciona un lugar de trabajo donde se pueda trabajar adecuadamente
Duración:	40 días
Fecha inicio:	03/06/2013
Fecha Fin:	26/07/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Lugar de trabajo acondicionado

1.2	Diseño y Elaboración de prototipos funcionales
Objetivo:	Diseñar el dispositivo a partir del análisis realizado
Descripción:	Definición del diseño de un prototipo funcional que satisfaga las necesidades de los profesionales del laboratorio y requerimientos del proyecto
Duración:	60 días
Fecha inicio:	15/07/2013
Fecha Fin:	04/10/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de diseño

1.2.1	Diseño: Mecánica
Objetivo:	Diseñar la mecánica del dispositivo a partir del análisis realizado
Descripción:	Definición del diseño de la mecánica de un prototipo funcional que satisfaga las necesidades de los profesionales del laboratorio y requerimientos del proyecto
Duración:	40 días
Fecha inicio:	15/07/2013
Fecha Fin:	06/09/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de diseño: mecánica

1.2.2	Diseño: Electrónica
Objetivo:	Diseñar la electrónica del dispositivo a partir del análisis realizado
Descripción:	Definición del diseño electrónico de un prototipo funcional que satisfaga las necesidades de los profesionales del laboratorio y requerimientos del proyecto
Duración:	40 días
Fecha inicio:	15/07/2013
Fecha Fin:	06/09/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de diseño: electrónica

1.2.3	Diseño: Software
Objetivo:	Diseñar el modelo de software del dispositivo a partir del análisis realizado
Descripción:	Definición del diseño del software de un prototipo funcional que satisfaga las necesidades de los profesionales del laboratorio y requerimientos del proyecto
Duración:	40 días
Fecha inicio:	15/07/2013
Fecha Fin:	06/09/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de diseño: software

1.2.4	Diseño integral de prototipos funcionales
Objetivo:	Diseñar al menos un modelo prototipo del dispositivo a partir del análisis realizado
Descripción:	Definición del diseño de al menos un prototipo funcional del sistema en su totalidad, que satisfaga las necesidades de los profesionales del laboratorio y requerimientos del proyecto
Duración:	40 días
Fecha inicio:	12/08/2013
Fecha Fin:	04/10/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de diseño

1.3	Implementación y Construcción integral
Objetivo:	Desarrollar un prototipo funcional capaz de procesar al menos un caso de uso de manera exitosa
Descripción:	Implementación y construcción integral del dispositivo para lograr un prototipo funcional
Duración:	90 días
Fecha inicio:	12/08/2013
Fecha Fin:	13/12/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Prototipo + módulos desarrollados

1.3.1	Implementación por módulos (iterativa e incremental)
Objetivo:	Desarrollar un prototipo funcional capaz de procesar al menos un caso de uso de manera exitosa
Descripción:	Desarrollo e implementación, de manera iterativa e incremental, del dispositivo para lograr un prototipo funcional
Duración:	40 días
Fecha inicio:	12/08/2013
Fecha Fin:	04/10/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Prototipo + módulos desarrollados

1.3.2	Pruebas por módulos
Objetivo:	Probar y ajustar módulos desarrollados para el sistema
Descripción:	Realización de pruebas y ajustes sobre módulos desarrollados
Duración:	30 días
Fecha inicio:	09/09/2013
Fecha Fin:	18/10/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Prototipo + módulos desarrollados

1.3.3	Adaptaciones necesarias
Objetivo:	Desarrollar adaptaciones necesarias para cada módulo desarrollado
Descripción:	Desarrollar adaptaciones necesarias para que los módulos de manera individual sean capaces de procesar al menos un caso de uso de manera exitosa
Duración:	30 días
Fecha inicio:	07/10/2013
Fecha Fin:	15/11/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Prototipo + módulos desarrollados

1.3.4	Integración de los módulos
Objetivo:	Integrar y coordinar los módulos desarrollados
Descripción:	Integrar y coordinar los módulos desarrollados para que el prototipo funcional sea capaz de procesar al menos un caso de uso de manera exitosa
Duración:	30 días
Fecha inicio:	07/10/2013
Fecha Fin:	15/11/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Prototipo + módulos desarrollados

1.3.5	Pruebas generales
Objetivo:	Realizar pruebas generales sobre el sistema desarrollado
Descripción:	Realizar rutinas de procesamiento completas y otras pruebas generales sobre el sistema desarrollado
Duración:	40 días
Fecha inicio:	21/10/2013
Fecha Fin:	13/12/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Prototipo + módulos desarrollados

1.4	Transición e implantación
Objetivo:	Contar con un prototipo configurado, optimizado y validado bajo carga de trabajo real
Descripción:	Etapa de transición donde se probará el dispositivo en distintos escenarios y bajos diferentes cargas de trabajo. En esta etapa se optimizará la configuración del sistema y se realizarán los ajustes finales. El funcionamiento del dispositivo será revisado, verificado y validado por usuarios finales
Duración:	160 días
Fecha inicio:	21/10/2013
Fecha Fin:	30/05/2013
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Prototipo funcionando. Documentación de las especificaciones de desempeño y manual de usuario

1.4.1	Pruebas en el ambiente real de trabajo
Objetivo:	Realizar pruebas con carga de trabajo real
Descripción:	Se probará el dispositivo en distintos escenarios y bajos diferentes cargas de trabajo reales. Se optimizará la configuración del sistema
Duración:	60 días
Fecha inicio:	21/10/2013
Fecha Fin:	10/01/2014
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de las especificaciones de desempeño

1.4.2	Pruebas de esfuerzo y carga de trabajo
Objetivo:	Realizar pruebas con grandes cargas de trabajo y distintos niveles de exigencia
Descripción:	Se probará el dispositivo en distintos escenarios y bajo cargas de trabajo exigentes. Se optimizará la configuración del sistema
Duración:	60 días
Fecha inicio:	21/10/2013
Fecha Fin:	10/01/2014
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de las especificaciones de desempeño

1.4.3	Adaptaciones necesarias y validación
Objetivo:	Contar con un prototipo configurado, optimizado y validado bajo carga de trabajo real.
Descripción:	Se realizarán ajustes y optimizaciones sobre el dispositivo en distintos escenarios y bajos diferentes cargas de trabajo
Duración:	80 días
Fecha inicio:	18/11/2013
Fecha Fin:	07/03/2014
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de las especificaciones de desempeño

1.4.4	Manual de usuario
Objetivo:	Contar con un manual de usuario
Descripción:	Desarrollar documentación para el usuario final del sistema
Duración:	30 días
Fecha inicio:	10/02/2014
Fecha Fin:	21/03/2014
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Manual de usuario.

1.4.5	Habilitaciones en organismos de control
Objetivo:	Contar con las condiciones
Descripción:	Se debe acondicionar el prototipo para poder cumplir con las habilitaciones en organismos de control. Debido a que el proceso de habilitación puede llevar un tiempo indeterminado, esta etapa será exitosa cuando el dispositivo cumpla las normas, aunque sin la necesidad de tener la constancia de habilitación final otorgada por el organismo correspondiente.
Duración:	60 días
Fecha inicio:	10/03/2014
Fecha Fin:	30/05/2014
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	El dispositivo cumple las normativas especificadas por los organismos de control.

1.5	Sistema de soporte y asistencia
Objetivo:	Desarrollar un sistema de soporte y ayuda online
Descripción:	Desarrollar un sistema de soporte y ayuda online que funcione como servicio complementario al usuario del prototipo
Duración:	120 días
Fecha inicio:	16/12/2013
Fecha Fin:	30/05/2014
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Sistema de soporte y asistencia online. Se puede acceder a través de Internet.

1.5.1	Análisis y diseño de estrategias de soporte y asistencia
Objetivo:	Analizar y diseñar un sistema de soporte y asistencia
Descripción:	Se realizará el análisis y diseño de un sistema de soporte y asistencia online
Duración:	60 días
Fecha inicio:	16/12/2013
Fecha Fin:	07/03/2014
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Documentación de análisis y diseño.

1.5.2	Implementación de sistema de soporte y asistencia
Objetivo:	Implementar el sistema de soporte y asistencia online
Descripción:	Implementación del sistema de soporte y asistencia online a partir del análisis y diseño previamente realizado
Duración:	80 días
Fecha inicio:	13/01/2014
Fecha Fin:	02/05/2014
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Primer versión del sistema de soporte y asistencia online.

1.5.3	Pruebas funcionales
Objetivo:	Probar y el sistema de soporte y asistencia online
Descripción:	Se evaluarán las funcionalidades del sistema de soporte y asistencia online bajo diferentes escenarios
Duración:	40 días
Fecha inicio:	10/03/2014
Fecha Fin:	02/05/2014
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Versión estable del sistema de soporte y asistencia online.

1.5.4	Adaptaciones necesarias y validación
Objetivo:	Realizar correcciones y adaptaciones necesarias para el sistema de soporte y asistencia
Descripción:	Se realizarán correcciones y adaptaciones necesarias para el sistema de soporte y asistencia online a partir de las pruebas realizadas y validaciones de los usuarios finales
Duración:	20 días
Fecha inicio:	05/05/2014
Fecha Fin:	30/05/2014
Indicador/es verificable/s de cumplimiento:	Versión estable del sistema de soporte y asistencia online. Se puede acceder a través de Internet.

4.4. Proyección inicial de Línea base y desvío

El proyecto tenía una planificación inicial que proyectaba un final de actividades para el 30 de mayo de 2014. Aunque el proyecto sufrió un desvío considerable debido a retrasos en la presentación de informes, receso de actividades, presentación de informes no contemplados, y retrasos en en las auditorías y pagos de parte del ente financiador.

A partir de los desvíos e imponderables, se realiza una nueva planificación en la cual se corrigen los tiempos y se agregan las actividades no previstas inicialmente. A continuación se presentará la línea base inicial (figuras 3 y 4) y la replanificación de actividades (figuras 5

Especialización en Gestión de la Tecnología y la Innovación
Universidad Nacional de Mar del Plata

y 6), la cual incluye la estimación para la propia elaboración del presente *Trabajo Final Integrador* de la carrera de *Especialización en Gestión de la Tecnología e Innovación*.

	EDT	Nombre	Duración	Inicio	Fin	Predecesoras
1	1	☐ Proyecto	260d?	03/06/2013	30/05/2014	
2	1.1	☐ ETAPA A: Análisis exhaustivo y Acondicionamiento inicial	40d?	03/06/2013	26/07/2013	
3	1.1.1	Análisis exhaustivo	30d?	03/06/2013	12/07/2013	
4	1.1.2	Definición de requerimientos generales	30d?	17/06/2013	26/07/2013	3II 10d
5	1.1.3	Pedido y prueba de materiales y componentes	40d?	03/06/2013	26/07/2013	
6	1.1.4	Acondicionamiento del lugar físico para la realización del proyecto	40d?	03/06/2013	26/07/2013	
7	1.2	☐ ETAPA B: Diseño y Elaboración de prototipos funcionales	60d?	15/07/2013	04/10/2013	
8	1.2.1	Diseño: Mecánica	40d?	15/07/2013	06/09/2013	3
9	1.2.2	Diseño: Electrónica	40d?	15/07/2013	06/09/2013	3
10	1.2.3	Diseño: Software	40d?	15/07/2013	06/09/2013	3
11	1.2.4	Diseño integral de prototipos funcionales	40d?	12/08/2013	04/10/2013	4FI 10d
12	1.3	☐ ETAPA C: Implementación y Construcción integral	90d?	12/08/2013	13/12/2013	
13	1.3.1	Implementación por módulos (iterativa e incremental)	40d?	12/08/2013	04/10/2013	11II
14	1.3.2	Pruebas por módulos	30d?	09/09/2013	18/10/2013	13II 20d
15	1.3.3	Adaptaciones necesarias	30d?	07/10/2013	15/11/2013	13
16	1.3.4	Integración de los módulos	30d?	07/10/2013	15/11/2013	13
17	1.3.5	Pruebas generales	40d?	21/10/2013	13/12/2013	14
18	1.4	☐ ETAPA D: Transición e implantación	160d?	21/10/2013	30/05/2014	
19	1.4.1	Pruebas en el ambiente real de trabajo	60d?	21/10/2013	10/01/2014	14
20	1.4.2	Pruebas de esfuerzo y carga de trabajo	60d?	21/10/2013	10/01/2014	14
21	1.4.3	Adaptaciones necesarias y validación	80d?	18/11/2013	07/03/2014	16
22	1.4.4	Manual de usuario	30d?	10/02/2014	21/03/2014	21II 60d
23	1.4.5	Habilitaciones en organismos de control	60d?	10/03/2014	30/05/2014	21
24	1.5	☐ ETAPA E: Sistema de soporte y asistencia	120d?	16/12/2013	30/05/2014	
25	1.5.1	Análisis y diseño de estrategias de soporte y asistencia	60d?	16/12/2013	07/03/2014	17
26	1.5.2	Implementación de sistema de soporte y asistencia	80d?	13/01/2014	02/05/2014	25II 20d
27	1.5.3	Pruebas funcionales	40d?	10/03/2014	02/05/2014	25
28	1.5.4	Adaptaciones necesarias y validación	20d?	05/05/2014	30/05/2014	26

Figura 3: Planificación inicial de actividades del proyecto.

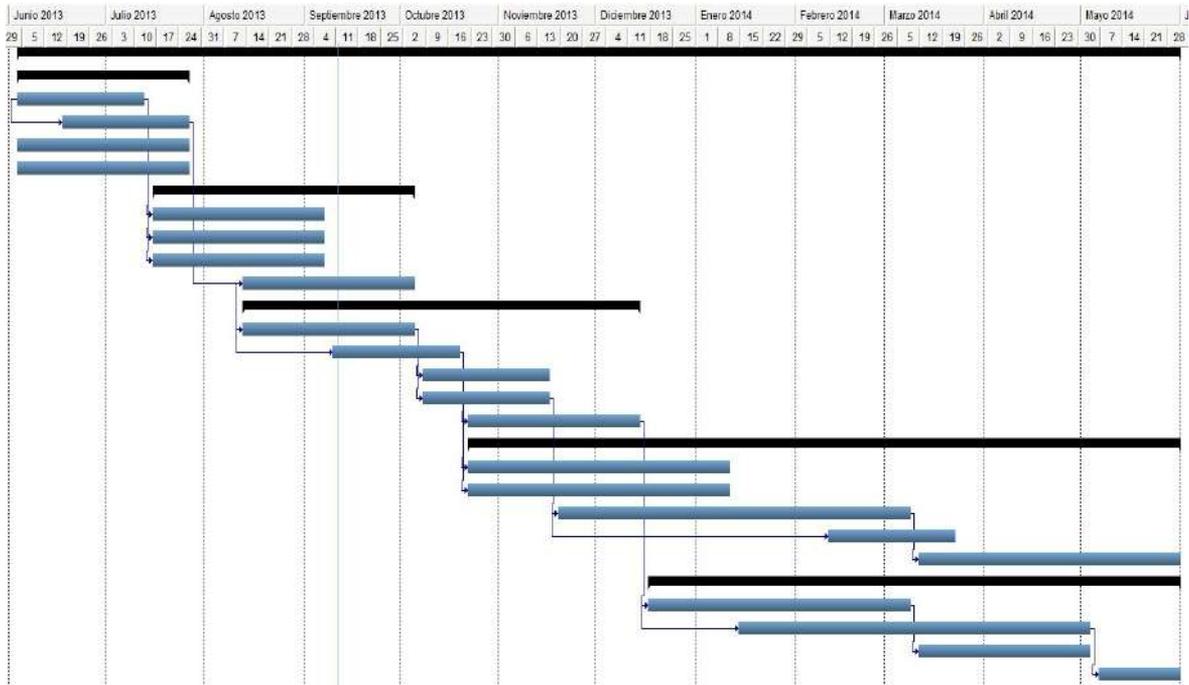


Figura 4: Diagrama de Gantt inicial para las actividades del proyecto.

	①	Nombre	Duración	Inicio	Fin	Predecesoras
1		Investigación y desarrollo de un procesador automático de muestras ELISA	679.13d?	15/07/2013	19/02/2016	
2	✓	ETAPA A: Análisis exhaustivo y Acondicionamiento inicial	40d?	15/07/2013	09/09/2013	
3	✓	Análisis exhaustivo	30d?	15/07/2013	26/08/2013	
4	✓	Definición de requerimientos generales	30d?	29/07/2013	09/09/2013	3II+10d
5	✓	Pedido y prueba de materiales y componentes	40d?	15/07/2013	09/09/2013	
6	✓	Acondicionamiento del lugar físico para la realización del proyecto	40d?	15/07/2013	09/09/2013	
7	✓	ETAPA B: Diseño y Elaboración de prototipos funcionales	30d?	26/08/2013	07/10/2013	
8	✓	Diseño: Mecánica	20d?	26/08/2013	23/09/2013	3
9	✓	Diseño: Electrónica	20d?	26/08/2013	23/09/2013	3
10	✓	Diseño: Software	20d?	26/08/2013	23/09/2013	3
11	✓	Diseño integral de prototipos funcionales	20d?	09/09/2013	07/10/2013	4
12	✓	ETAPA C: Implementación y Construcción integral	305d?	09/09/2013	10/11/2014	
13	✓	Implementación por módulos (iterativa e incremental)	60d?	09/09/2013	02/12/2013	11II
14	✓	Pruebas por módulos	45d?	07/10/2013	09/12/2013	13II+20d
15	✓	Integración de los módulos	30d?	21/10/2013	02/12/2013	13FF
16	✓	Adaptaciones necesarias	90d?	23/06/2014	27/10/2014	13,25II
17	✓	Integración y pruebas sobre adaptaciones	90d?	07/07/2014	10/11/2014	16II+10d
18	✓	Presentación parcial "etapa 1" en FONTAR	540d?	15/07/2013	10/08/2015	14FF
19		ETAPA D: Transición e implantación	75d?	10/08/2015	23/11/2015	18
20		Pruebas en el ambiente real de trabajo	60d?	10/08/2015	02/11/2015	14
21		Pruebas de esfuerzo y carga de trabajo	60d?	10/08/2015	02/11/2015	14
22		Adaptaciones necesarias y validación	75d?	10/08/2015	23/11/2015	15
23		Manual de usuario	20d?	10/08/2015	07/09/2015	12
24		ETAPA F: presentación del proyecto	434.13d?	23/06/2014	19/02/2016	
25	✓	elaboración de documentación y preparación de equipo para INNOVAR 2014	100d?	23/06/2014	10/11/2014	
26	✓	presentación en INNOVAR 2014	3d?	11/11/2014	14/11/2014	25FI+1d
27	✓	Presentación de trabajos de las materias pendientes de la carrera GTec	42.13d?	02/07/2015	31/08/2015	
28	✓	elaboración de documentación para la carrera de Especialización GTec	120d?	01/09/2015	16/02/2016	
29	✓	presentación del Trabajo Final Integrador	1d?	19/02/2016	19/02/2016	27,28
30	✓	Presentación Final en FONTAR	1d?	30/11/2015	01/12/2015	19

Figura 5: Planificación final de actividades del proyecto.

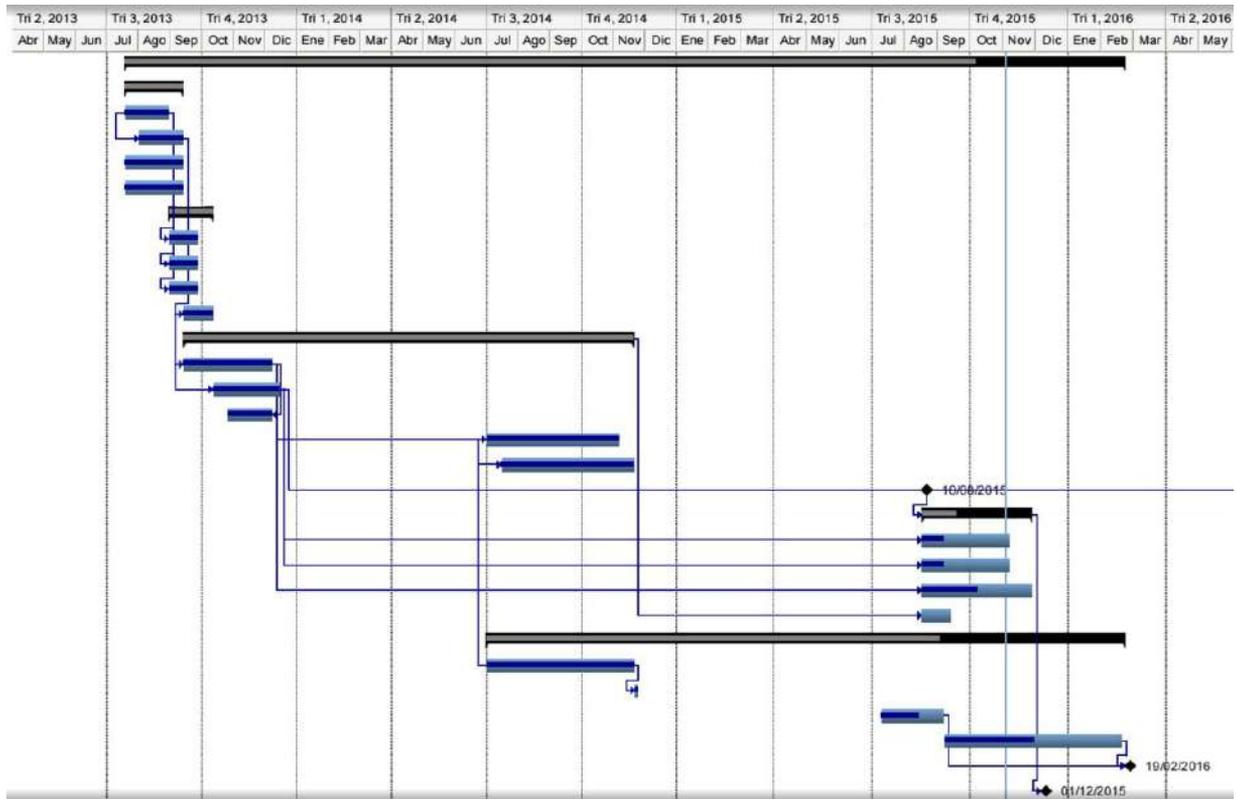


Figura 6: Diagrama de Gantt inicial para las actividades del proyecto.

5. Análisis y Diseño

5.1. Hardware

5.1.1. Prototipo inicial para el Procesador automático de muestras ELISA

Siendo necesaria una plataforma física de trabajo que permita el desarrollo de los diversos requerimientos iniciales, el diseño mecánico base se fundamenta en un dispositivo del tipo *Control Numérico Computarizado* (de ahora en más “CNC”), el cual por sus prestaciones reúne las características necesarias para cumplir la función de prototipo⁽¹¹⁾⁽¹²⁾.

Si bien la tipología de un sistema mecánico CNC puede variar ampliamente, en nuestra etapa inicial partimos de un diseño sencillo para la construcción. De esta manera se busca conocer exhaustivamente las limitantes que han de presentarse para desarrollar un modelo de producción.

Los sistemas CNC, permiten la movilidad de un dispositivo determinado, en este caso un dispensador automático de fluidos, dentro de un espacio de trabajo delimitado por el recorrido o “carrera” de cada parte del conjunto. A dicho espacio se lo delimitará mediante ejes de desplazamiento, los cuales serán denominados como en representaciones cartesianas “X”, “Y”, “Z”⁽¹²⁾.

Se muestra a continuación el diseño fundamental del dispositivo (figuras 7 y 8):

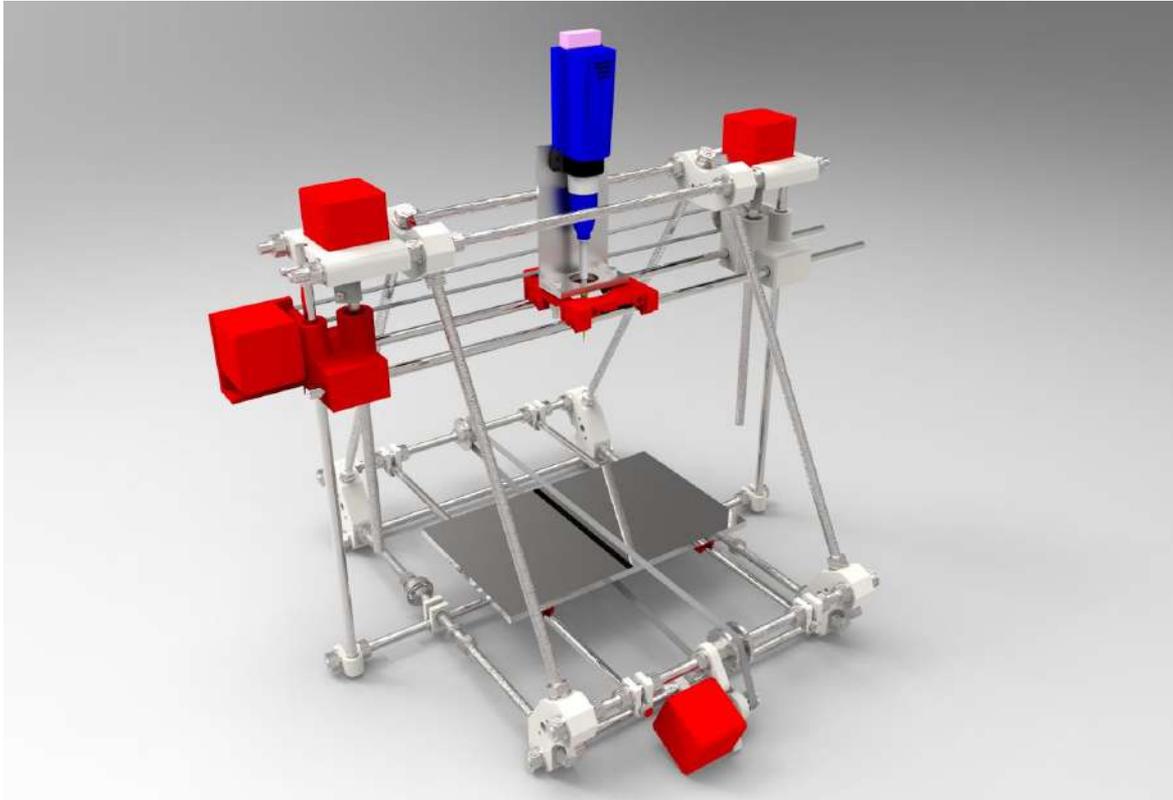


Figura 7: diseño fundamental del dispositivo

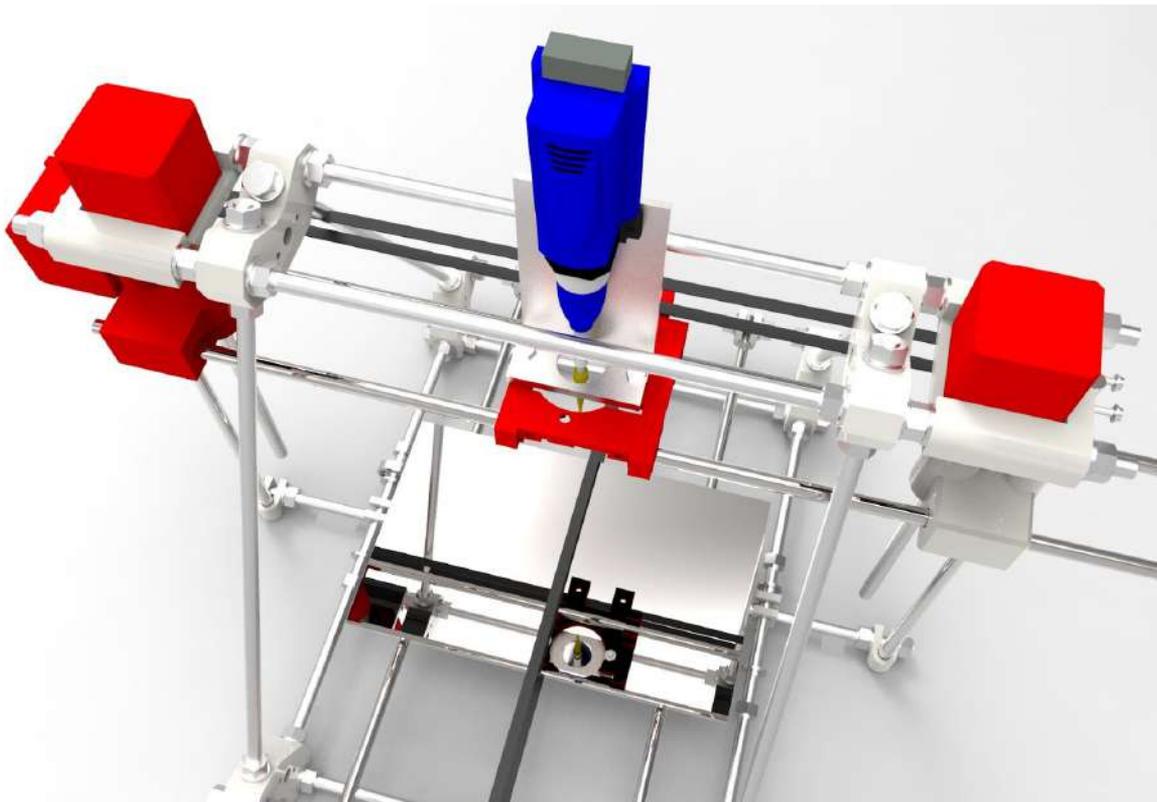


Figura 8: diseño fundamental del dispositivo

Sin entrar en mayores consideraciones al respecto, podemos demostrar que este CNC está comprendido por 5 partes fundamentales:

- **Chasis**: reticulado de varillas roscadas milimétricas y rectificadas, vinculadas por “nudos” plásticos, proporciona soporte a motores, poleas, guías y demás elementos.
- **Grupos motrices**: consisten en motores “paso a paso”, los cuales otorgan el movimiento a cada sección.
- **Carro**: comprende el área de trabajo principal sobre la parte inferior del conjunto. Su movimiento comprende al eje “Y”. Está impulsado por un motor solidario al chasis.
- **Cabezal**: sobre el mismo se aloja el dispensador automático de fluidos, el cual se desplaza sobre varillas de acero inoxidable rectificadas. Es propulsado a través de una correa sincrónica comprendiendo el movimiento sobre el eje “X”.
- **Grupo motriz del eje “Z”**: es solidario al chasis y está montado sobre la parte superior del mismo. Proporciona movimiento por medio de un sistema de tornillo.

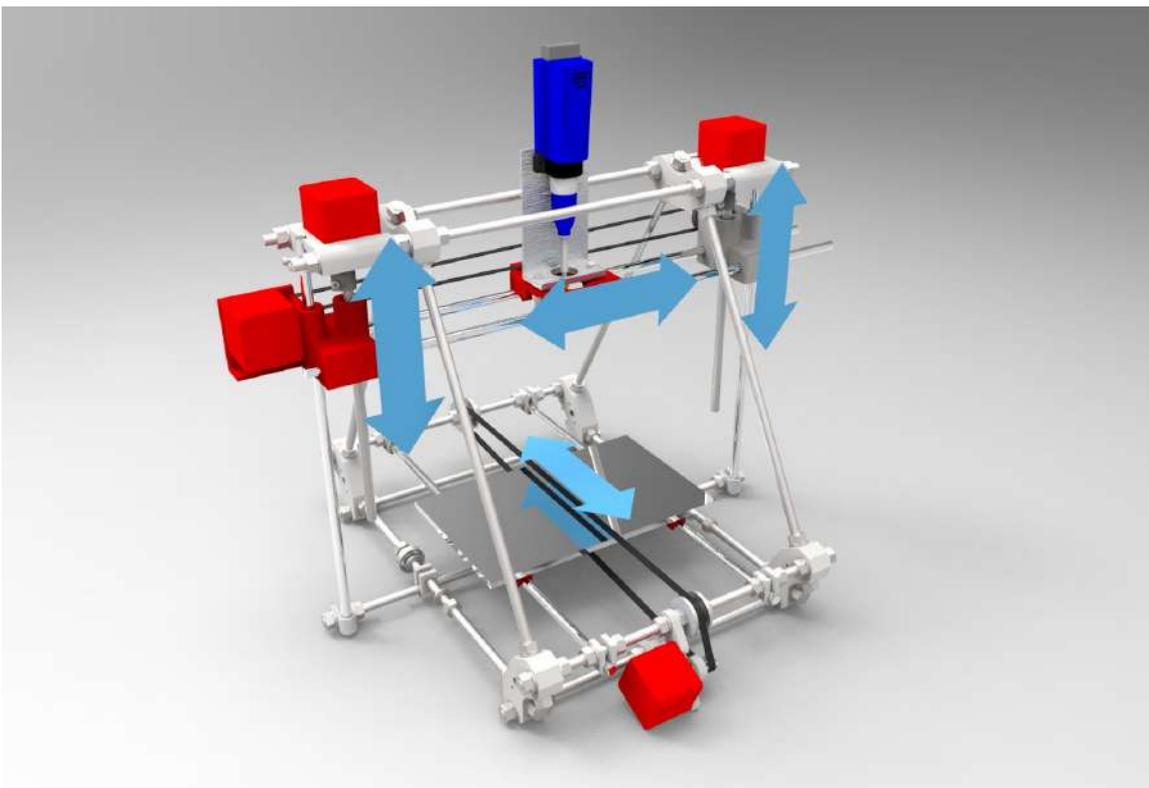


Figura 9: movimientos fundamentales del dispositivo

La mecánica para la manipulación del fluido de muestras y reactivos ha sido resuelta gracias a la utilización de un dispositivo dispensador automático de fluidos Marca *Biohit* modelo *rLINE 200/1 LS*. *Biohit rLINE* es un módulo dispensador diseñado para diversas aplicaciones de automatización de manejo de líquidos. El control de las operaciones se realiza mediante comandos *ASCII* que contienen tanto la función de pipeteado y los comandos de dispensación, así como el control de movimiento del pistón abierto para aplicaciones especiales.

El diseño contempla el movimiento del dispositivo en los planos (X, Y, Z), simulando una manipulación manual efectuada por personal técnico de laboratorio. Se supone que el dispositivo dispensador automático de fluidos es lo suficientemente preciso y se encuentra calibrado para absorber o depositar fluidos con una precisión de entre 5 y 200 μL .

Siendo el equipo completo una herramienta no ligada a grandes esfuerzos o solicitaciones mecánicas de importancia, la configuración del sistema es de tipo “puente con pórtico y mesa móvil”.

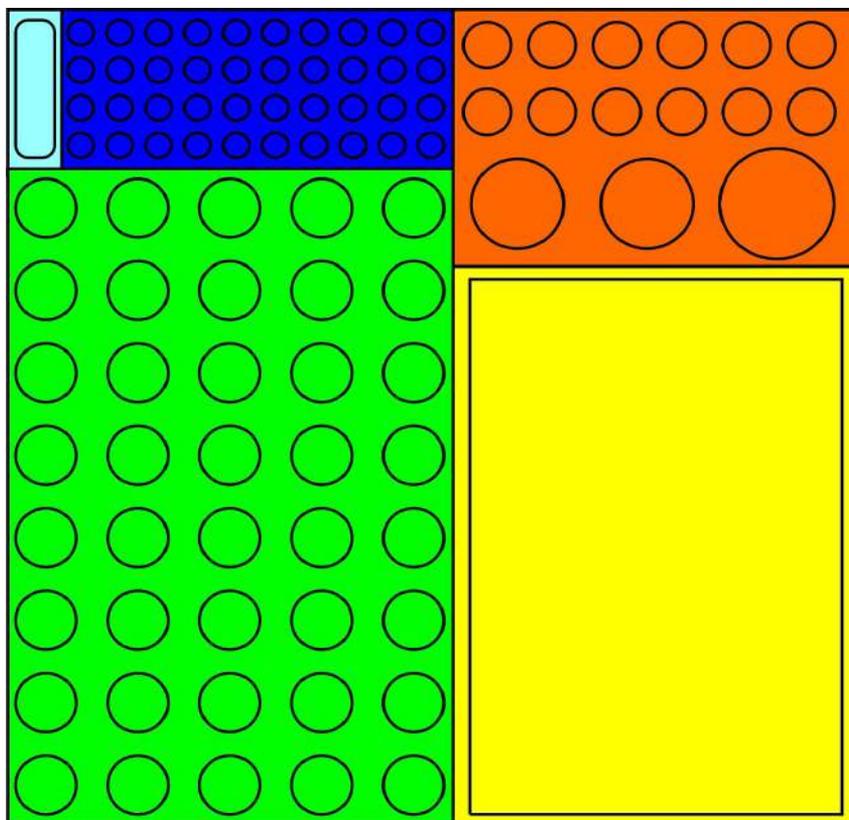
La arquitectura aporta velocidad para recorrer distancias largas, sin perder demasiada precisión. Asimismo, permite una construcción ligera con elementos estructurales estándar.

5.1.2. Elementos constituyentes de la gradilla

Una vez definida la interfaz de trabajo mecánico y sus componentes fundamentales, resta ahora delimitar los elementos sobre los cuales se deberá operar:

- **Gradilla tipo ELISA:** debe existir un espacio destinado al posicionamiento de dicho elemento.
- **Área de reactivos:** en ella se disponen los contenedores indicados.
- **Área de muestras:** colocadas en tubos determinados por el método a utilizar.
- **Área de tips:** los tips son puntas desechables, el área contiene los tips disponibles para emplear por el dispensador automático de fluidos.
- **Área de descarte para tips:** comprende un espacio para alojar/desechar las puntas empleadas durante los procedimientos de trabajo

A continuación se puede visualizar las distintas áreas descritas de una gradilla (figura 10).



- área descarte tips
- área muestras
- área ELISA
- área reactivos
- área tips

Figura 10: distribución de áreas en gradilla

Durante el transcurso del proyecto se desarrollaron dos diseños de gradilla.

El primer diseño se puede observar en las figuras 10, 11, 12 y 13. Los componentes mencionados agrupados de la manera propuesta en la figura 10, definen en tales proporciones la escala física del aparato delimitando la mesa móvil a una superficie cuadrada de 200 mm de lado con una altura levemente mayor a la del componente más grande en tal longitud (siendo dichos componentes los tubos para muestras de laboratorio).

De esta manera, se define esquemáticamente la primera configuración de diseño de la gradilla (figura 11) y el dispositivo en conjunto (figura 12 y 13).

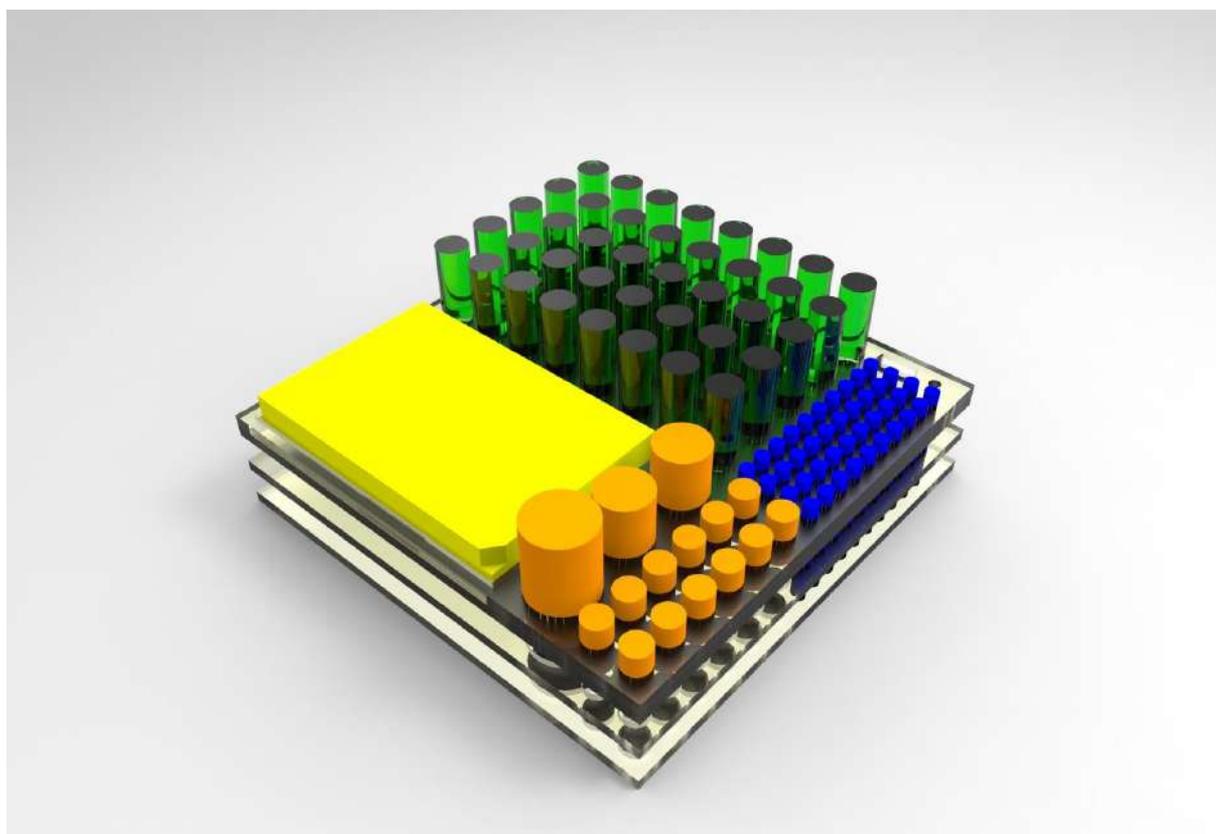


Figura 11: primer diseño esquemático de la gradilla completa.

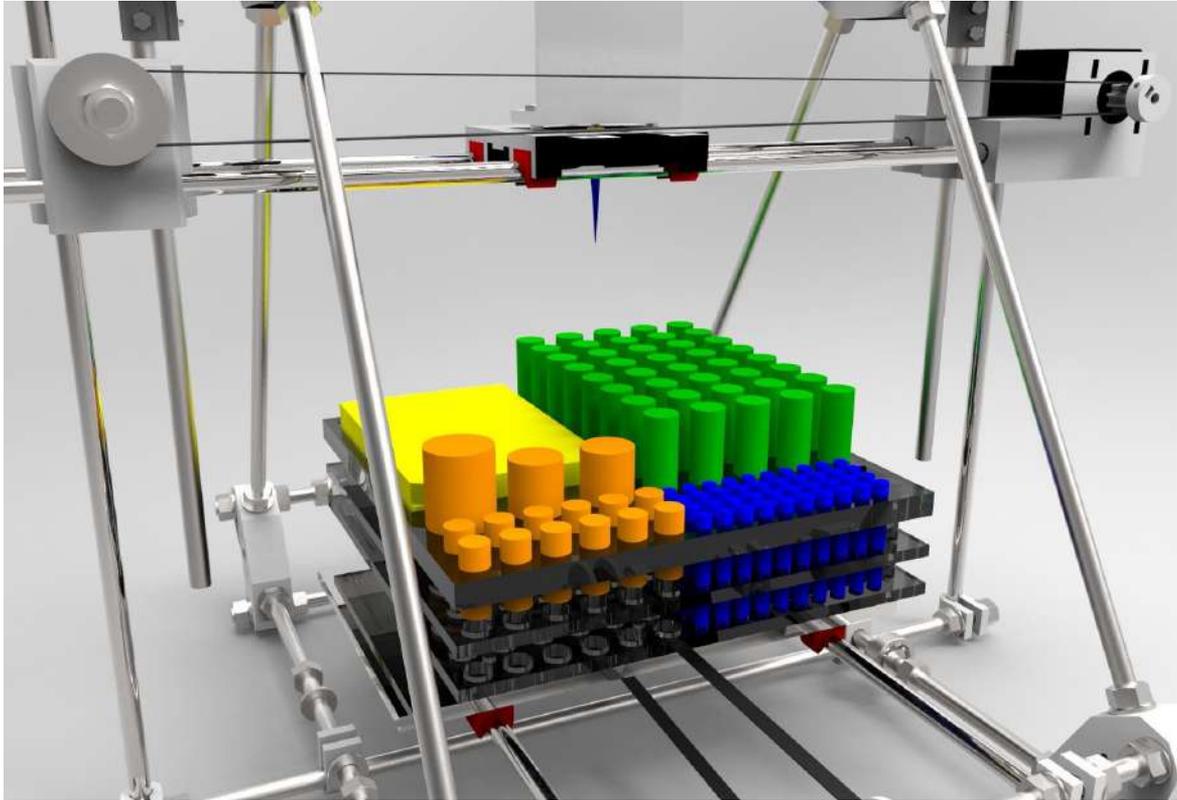


Figura 12: diseño esquemático del dispositivo y gradilla (primer diseño).

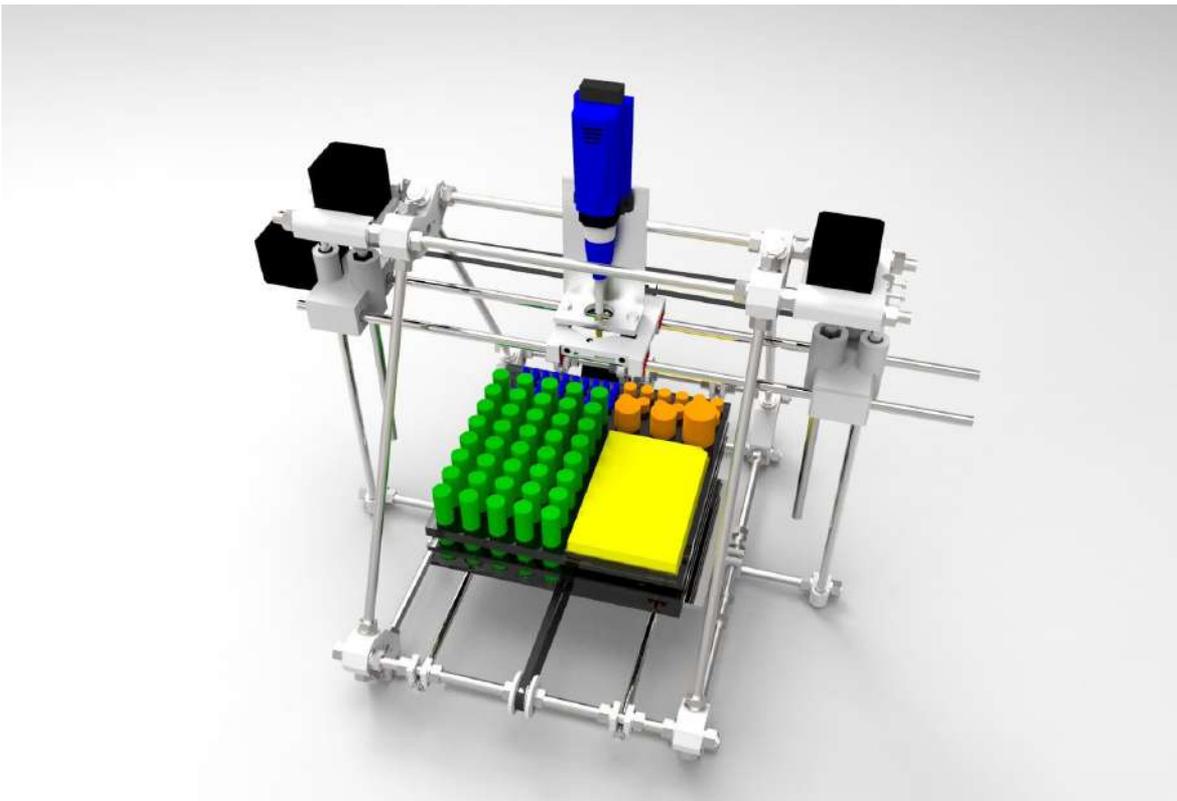


Figura 13: diseño esquemático del dispositivo y gradilla (primer diseño).

En el segundo diseño de gradilla se tuvo en cuenta la refrigeración para el sector de reactivos y muestras, como así la temperatura controlada para la placa ELISA. Además, el segundo diseño propone un sector extraíble para facilitar la manipulación de tips dentro del equipo. En las figuras 14, 15 y 16 se puede apreciar esquemáticamente la segunda configuración de diseño de la gradilla, mientras que en la figura 17 se presenta el dispositivo en conjunto.

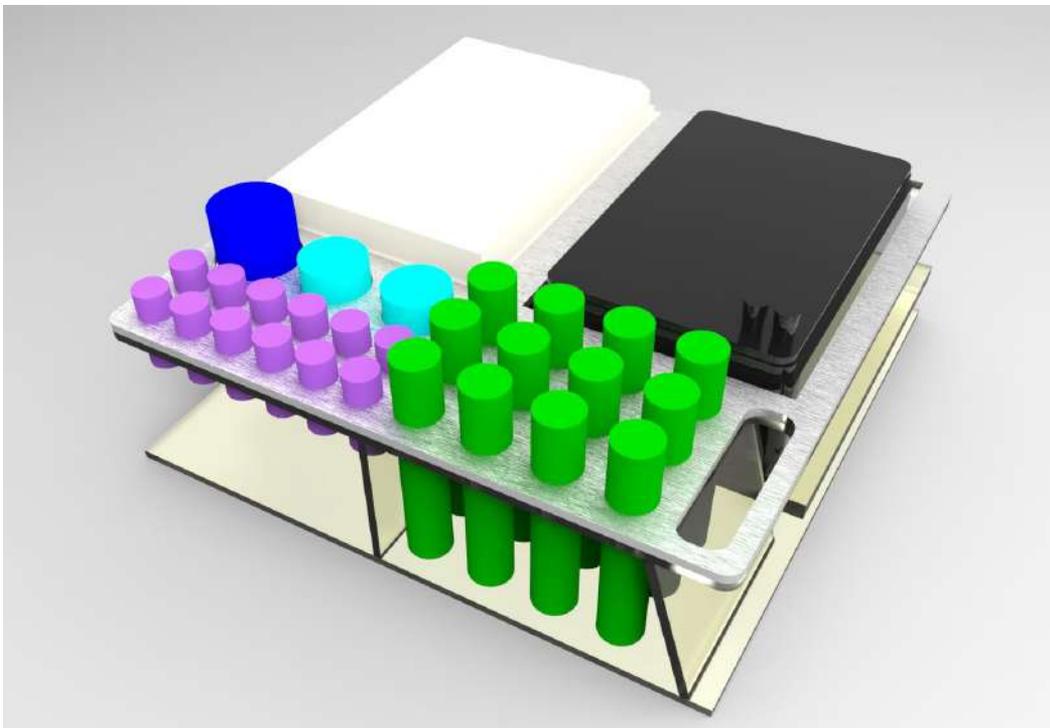


Figura 14: segundo diseño esquemático de la gradilla (vista superior).

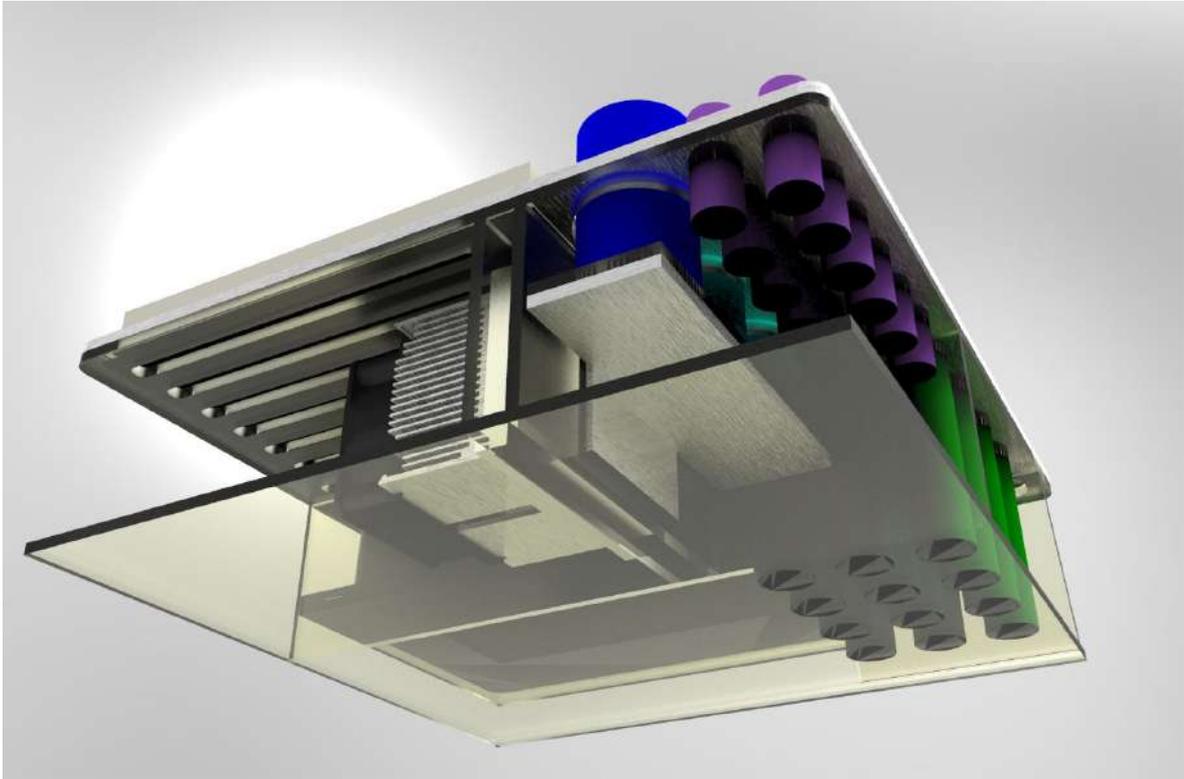


Figura 15: segundo diseño esquemático de la gradilla (vista inferior).

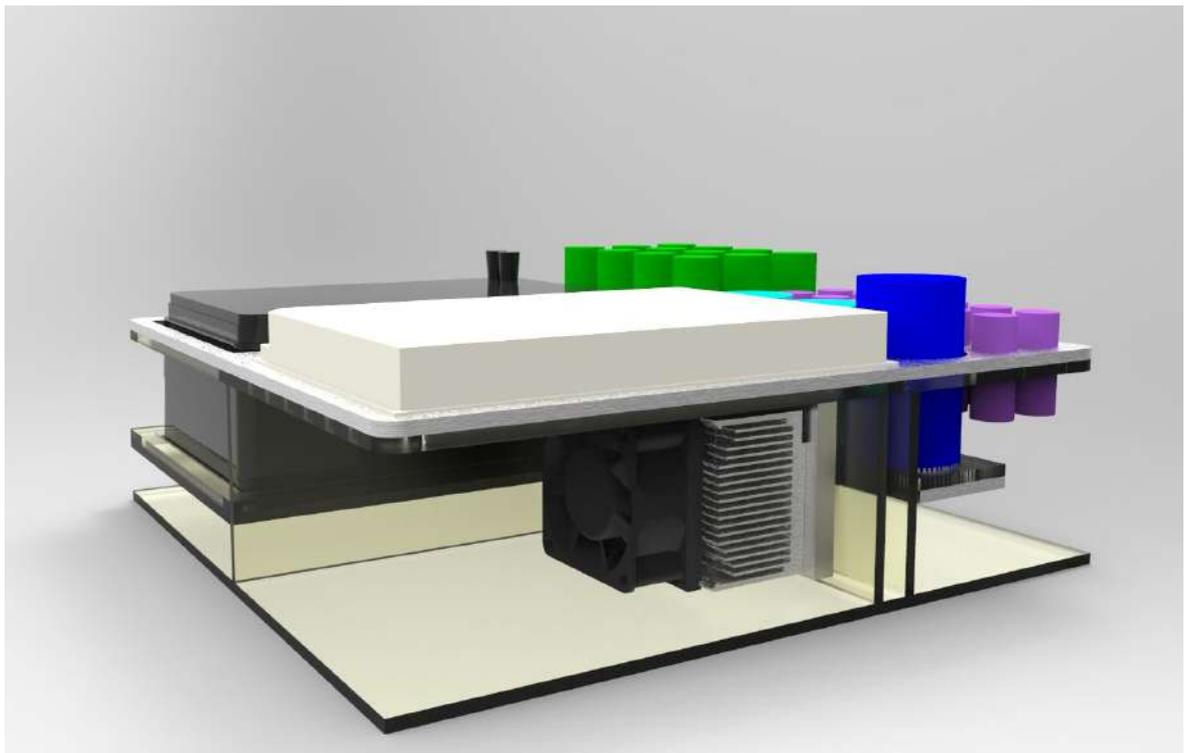


Figura 16: segundo diseño esquemático de la gradilla (vista lateral).

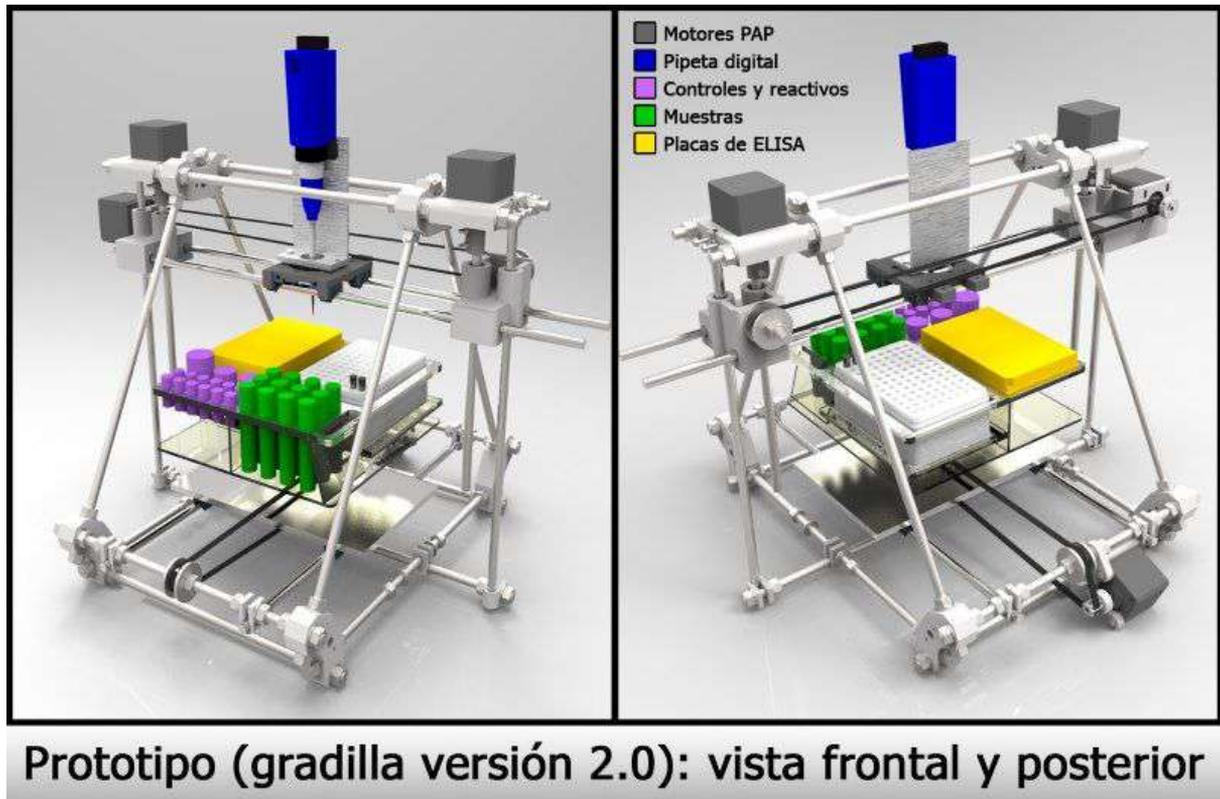


Figura 17: diseño esquemático del dispositivo y gradilla (segundo diseño).

5.1.3. Electrónica

Los componentes electrónicos elegidos inicialmente para el proyecto son de tipo Hardware libre (*Open Source Hardware*)⁽¹³⁾ y de diseño modular. Para el control básico del movimiento del dispositivo, señales de sensores y control de temperatura, se utilizó una placa electrónica principal basada en *Arduino MEGA*. Dicha placa es capaz de recibir e interpretar órdenes desde cualquier dispositivo electrónico con comunicación serial⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾, por ejemplo una PC o placa reducida, y traducir dichas órdenes a una etapa de potencia (*driver*) que es la encargada de activar los motores que realizan los movimientos de la dispositivo.

Adicionalmente, se cuenta con una placa calefactora para mantener las muestras procesadas en un ambiente controlado, en este caso es una placa termoeléctrica tipo Peltier de 12V .

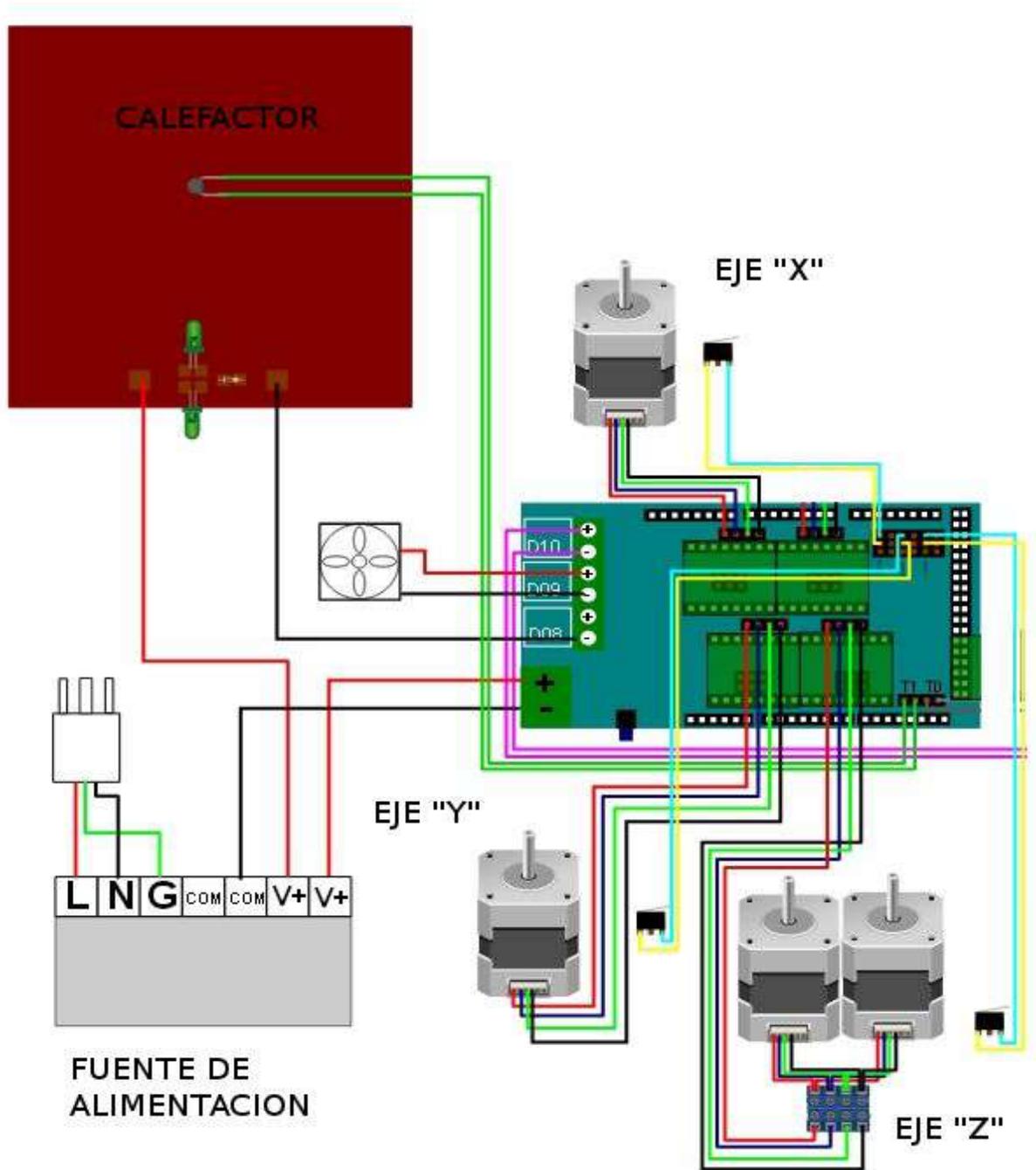


Figura 18: esquema de conexión y control electrónico

5.1.4. Placa controladora

La placa controladora es un *Arduino Mega* (Figura 19), una placa microcontroladora basada en el circuito integrado *ATmega1280*⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾. Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 14 proporcionan salida del tipo PWM), 16 entradas digitales, 4 UARTS (puertos serie por hardware), un cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, entrada de corriente, conector ICSP para la programación en circuito y un botón de reinicio.

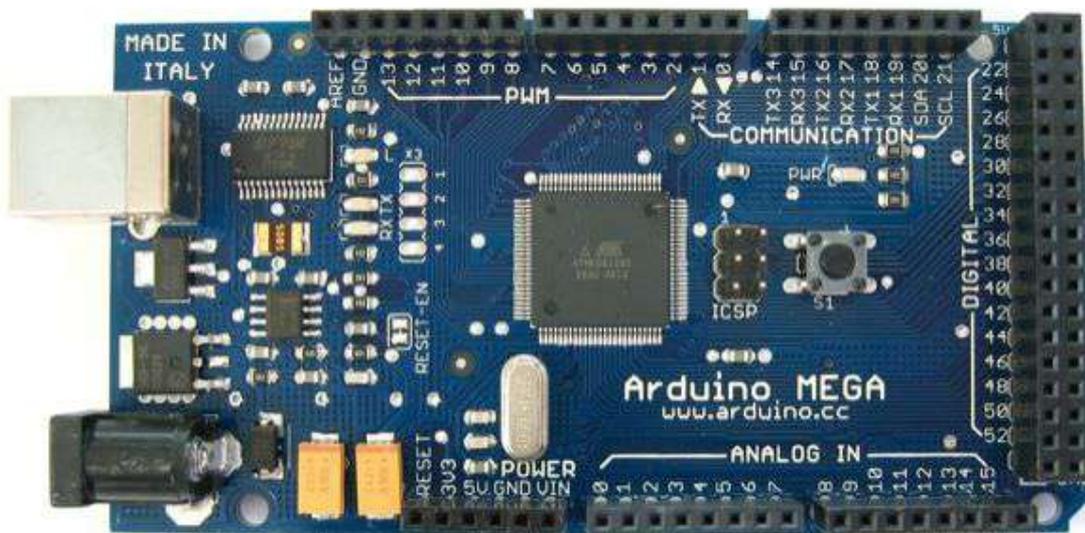


Figura 19: *Arduino MEGA*

Características

Microcontrolador:	ATmega1280 (ATMEL)
Tensión de funcionamiento:	5 DC
Tensión de entrada (recomendada):	7 a 12 DC
Tensión de entrada (máxima):	6 a 20 DC
Pines de entrada/salida digitales:	54 (14 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica:	16

Corriente por pin:	40 mA
Corriente por pin a 3.3V:	50 mA
Memoria Flash:	128 kB de las cuales 4 kB las usa el bootloader
Memoria SRAM:	8 kB
Memoria EEPROM:	4 kB
Velocidad de reloj:	16 MHz

Fuente de alimentación

El Arduino Mega puede ser alimentado vía una conexión USB o con una fuente de alimentación externa. El origen de la alimentación se selecciona automáticamente. En este caso la energía la provee una fuente de alimentación estándar de PC usando un conector macho de 2.1mm con centro positivo en el conector hembra de la placa.

La placa puede trabajar con una alimentación externa de entre 6 a 20 DC⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾. Si la tensión eléctrica suministrada es inferior a 7V el pin de 5V puede proporcionar menos de 5V y la placa puede volverse inestable, si se usan más de 12V los reguladores de tensión se pueden sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 DC.

Memoria

El ATmega1280 tiene 128kB de memoria flash para almacenar código (4kB son usados para el arranque del sistema (*bootloader*)). Además posee 8 kB de memoria SRAM y 4kB de memoria EEPROM, a la cual se puede acceder para leer o escribir datos no volátiles⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾.

Entradas y salidas

Cada uno de los 54 pines digitales pueden utilizarse como entradas o como salidas usando las funciones `pinMode()`, `digitalWrite()`, y `digitalRead()`. Las E/S operan a 5 DC. Cada pin puede proporcionar o recibir una intensidad máxima de 40mA y tiene una resistencia interna (desconectada por defecto) de 20 a 50kΩ. Además, algunos pines tienen funciones especiales⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾:

- **Puertos de comunicación serie:** usados para recibir (RX) y transmitir (TX) datos a través de puerto serie TTL. Los pines “0” (RX) y “1” (TX) están conectados a los pines correspondientes del chip FTDI (*Future Technology Devices International*) que se utiliza para realizar la comunicación USB con al PC.
 - Serie 0: 0 (RX) y 1 (TX)
 - Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX)
 - Serie 2: 17 (RX) y 16 (TX)
 - Serie 3: 15 (RX) y 14 (TX)

- **Interrupciones Externas:** algunos pines se pueden configurar para lanzar una interrupción en un valor lógico BAJO, en flancos de subida o bajada (cambio de BAJO a ALTO o viceversa), o en cambios de valor.
 - Pin #2 (interrupción 0)
 - Pin #3 (interrupción 1)
 - Pin #18 (interrupción 5)
 - Pin #19 (interrupción 4)
 - Pin #20 (interrupción 3)
 - Pin #21 (interrupción 2).

- **Salidas PWM:** los pines de 0 al 13 proporcionan una salida de modulación por ancho de pulso de 8 bits de resolución (valores de 0 a 255) a través de la función `analogWrite()`.

- **Puerto de comunicación SPI:** estos pines proporcionan un puerto de comunicación serie SPI (*Serial Peripheral Interface*).
 - Pin #50 (SS)
 - Pin #51 (MOSI)
 - Pin #52 (MISO)
 - Pin #53 (SCK)

- **LED:** hay un LED de uso general integrado en la placa conectado al pin digital 13, cuando este pin tiene un valor ALTO el LED se enciende y cuando este tiene un valor BAJO este se apaga.

- **Entradas analógicas:** El Mega tiene 16 entradas analógicas que disponen de 10 bits de resolución, lo que proporciona 1024 niveles digitales. Por defecto se mide de tierra a 5V, aunque es posible cambiar la cota superior de este rango usando el pin AREF y la función `analogReference()`.

- **Bus I2C:** Soporte del protocolo de comunicaciones I2C (*Inter-Integrated Circuit*) / TWI (*Two-Wired-Interface*).
 - Pin #20 (SDA)
 - Pin #21 (SCL)

- **AREF**: Tensión de referencia para la entradas analógicas.

- **Reset**: Suministra un valor BAJO para reiniciar el microcontrolador.

Comunicaciones

Arduino Mega facilita en varios aspectos la comunicación con la PC, otro Arduino u otros microcontroladores. El ATmega1280 proporciona cuatro puertos de comunicación vía serie del tipo UART TTL (5V). Un chip FTDI FT232RL integrado en la placa canaliza dicha comunicación serie a través del puerto USB y mediante software se proporciona un puerto serie virtual en la PC. El entorno de desarrollo incluye un monitor de puerto serie que permite enviar y recibir información textual de la placa Arduino. Los LEDs RX y TX de la placa destellarán cuando se detecte comunicación transmitida través del chip FTDI y la conexión USB. Además el chip ATmega1280 también soporta la comunicación I2C (TWI) y SPI.

Programación

El microcontrolador viene precargado con un gestor de arranque que permite cargar nuevo código sin necesidad de un programador por hardware externo⁽¹⁰⁾. Se comunica utilizando el protocolo *STK500* original. También es posible saltar el gestor de arranque y programar directamente el microcontrolador a través del puerto *ISCP (In Circuit Serial Programming)*.

Reinicio automático por software

En vez de necesitar reiniciar presionando físicamente el botón de reinicio antes de cargar, el Arduino Mega se encuentra diseñado de manera que es posible reiniciar por

software desde el dispositivo donde se encuentre conectado. Una de las líneas de control de flujo (DTR) del FT232RL está conectada a la línea de reinicio del ATmega1280 a través de un condensador de 100nF. Cuando la línea se pone en BAJO, la línea de reinicio también se pone en BAJO el tiempo suficiente para reiniciar el chip. El software de Arduino utiliza esta característica para permitir cargar los programas con solo apretar un botón del entorno. Dado que el gestor de arranque tiene un lapso de tiempo para ello, la activación del DTR y la carga del programa se coordinan perfectamente.

Protección contra sobretensiones en USB

Arduino Mega tiene un multifusible reinicializable que protege la conexión USB de la PC de cortocircuitos y sobretensiones. Si bien la mayoría de las PC proporcionan su propia protección interna, el fusible brinda un capa extra de protección. Si más de 500mA son detectados en el puerto USB, el fusible automáticamente corta la conexión hasta que el cortocircuito o la sobretensión desaparece.

Características físicas y compatibilidad de Shields

La longitud y amplitud máxima de la placa es de 4 y 2.1 pulgadas respectivamente, con el conector USB y la conexión de alimentación sobresaliendo de dichas dimensiones. Tres agujeros para fijación con tornillos permiten colocar la placa en gran variedad de superficies y gabinetes. La distancia entre los pines digitales 7 y 8 es de 160 mil (0,16"), no es múltiplo de la separación de 100 mil entre los otros pines.

Arduino Mega está diseñado para ser compatible con la mayoría de shields diseñados para otros Arduinos. Los pines digitales de 0 a 23 (y los pines AREF y GND adyacentes), las

entradas analógicas de 0 a 5, los conectores de alimentación y los conectores ICPS están todos ubicados en posiciones equivalentes. Además el puerto serie principal está ubicado en los mismos pines (0 y 1), así como las interrupciones 0 y 1 (pines 2 y 3 respectivamente).

5.1.5. Control de motores

Arduino no tiene capacidad suficiente de corriente para alimentar los motores, es por ello que es necesario utilizar una placa controladora que interactúe con los motores. La placa que utilizamos es la "*RepRap Arduino Mega Pololu Shield*" (RAMPS) en su versión 1.4 (Figura 20), liberada bajo la licencia GPL. Fue diseñada para incluir en un pequeño espacio de bajo costo toda la electrónica necesaria para hacer funcionar la mecánica y recibir información de diversos sensores. Y por supuesto es totalmente compatible con la placa Arduino MEGA.



Figura 20: *RepRap Arduino Mega Pololu Shield* (RAMPS 1.4)

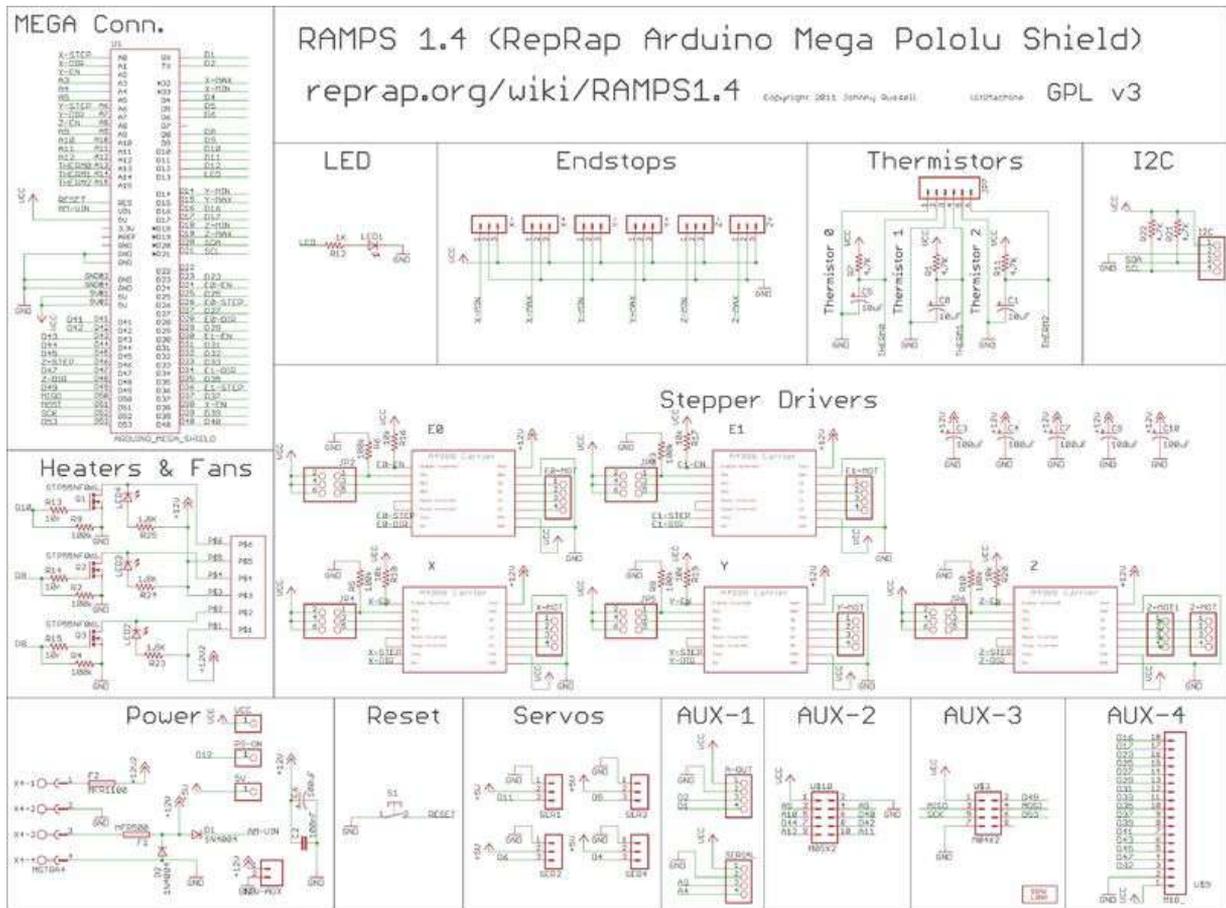


Figura 21: Diagrama Esquemático de *RepRap Arduino Mega Pololu Shield*

Características

- Proporciona alimentación para todos los ejes cartesianos.
- Expansible para controlar otros accesorios.
- Posee 3 MOSFETs para el control de potencia y 3 circuitos para el control de temperatura.
- Fusible de 5A para protección de seguridad.
- Control para la placa calefactora con fusible adicional de 11A.
- Posee 5 conectores para el montaje de placas “Pololu Stepper Driver”.
- Pines I2C y SPI para realizar futuras expansiones.

- Todos los MOSFETs están conectados a pines PWM.
- Conectores compactos, con contactos dorados y con soporte para corrientes de 3A.
- Conector USB tipo B.
- Conector para tarjetas SD.
- LED indicadores de actividad.

Controlador de Motores: Pololu Stepper Driver

El “*Pololu Stepper Driver*” es una diminuta placa que posee un circuito integrado A4988 de la firma Allegro junto con los componentes adicionales que necesita para trabajar. Este dispositivo permite controlar bobinas de motores paso a paso de hasta 2A de corriente (cada una) y cuenta con protecciones por exceso de corriente, cortocircuitos y temperatura⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾.

Este módulo combinado con el shield RAMPS 1.4 es el encargado de convertir las señales de control (lógica) en potencia.

Características:

- Interfaz de paso simple y control de dirección
- Cinco resoluciones diferentes: paso completo, medio paso, cuarto paso, 1/8 de paso y 1/16 de paso
- Control ajustable de corriente que permite fijar la máxima salida de corriente con un potenciómetro, lo cual permite a su vez usar tensiones por encima de la especificación de tensión del motor de paso para lograr tasas de paso más altas

- Control de truncado inteligente que selecciona automáticamente el modo de decaimiento de corriente correcto (decaimiento rápido o lento)
- Control de apagado térmico por temperatura alta
- Placa de 4 capas, cobre de 2 oz para una mejor disipación de calor
- Pad de tierra expuesto y soldable debajo del chip driver, en la parte inferior de la placa

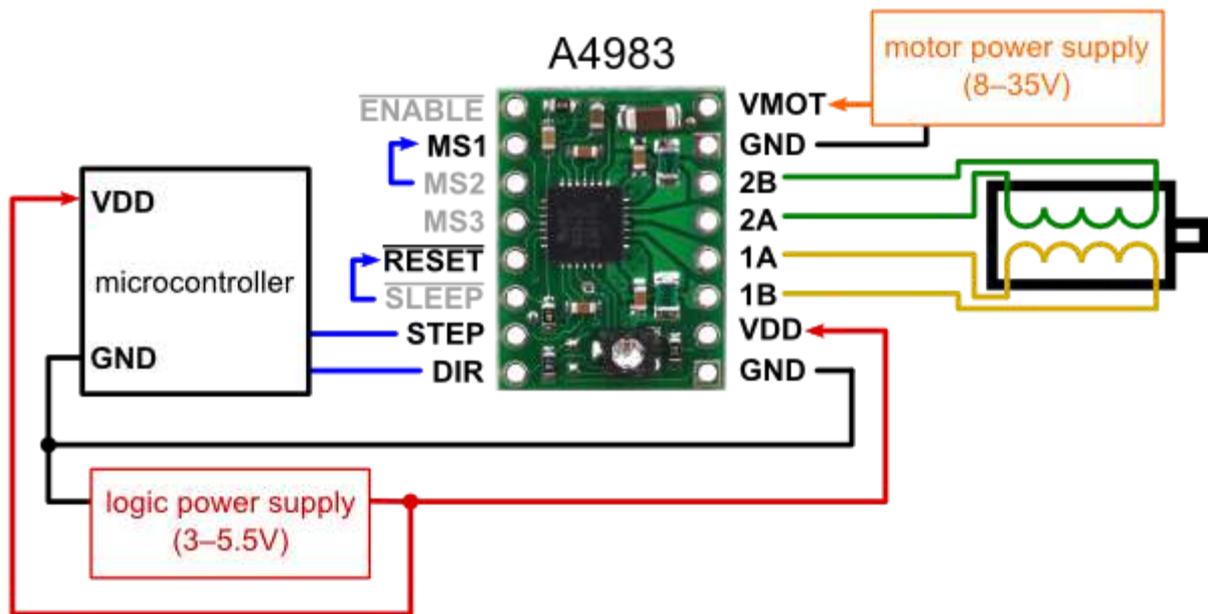


Figura 22: Pololu Stepper Driver

Especificaciones Generales:

Tensión de operación mínima:	8 DC
Tensión de operación máxima:	35 DC
Corriente continua por fase:	1A
Corriente máxima por fase:	2A
Tensión lógica mínima:	3 DC

Tensión lógica máxima:	5.5 DC
Resolución de pasos:	Full, 1/2, 1/4, 1/8, y 1/16

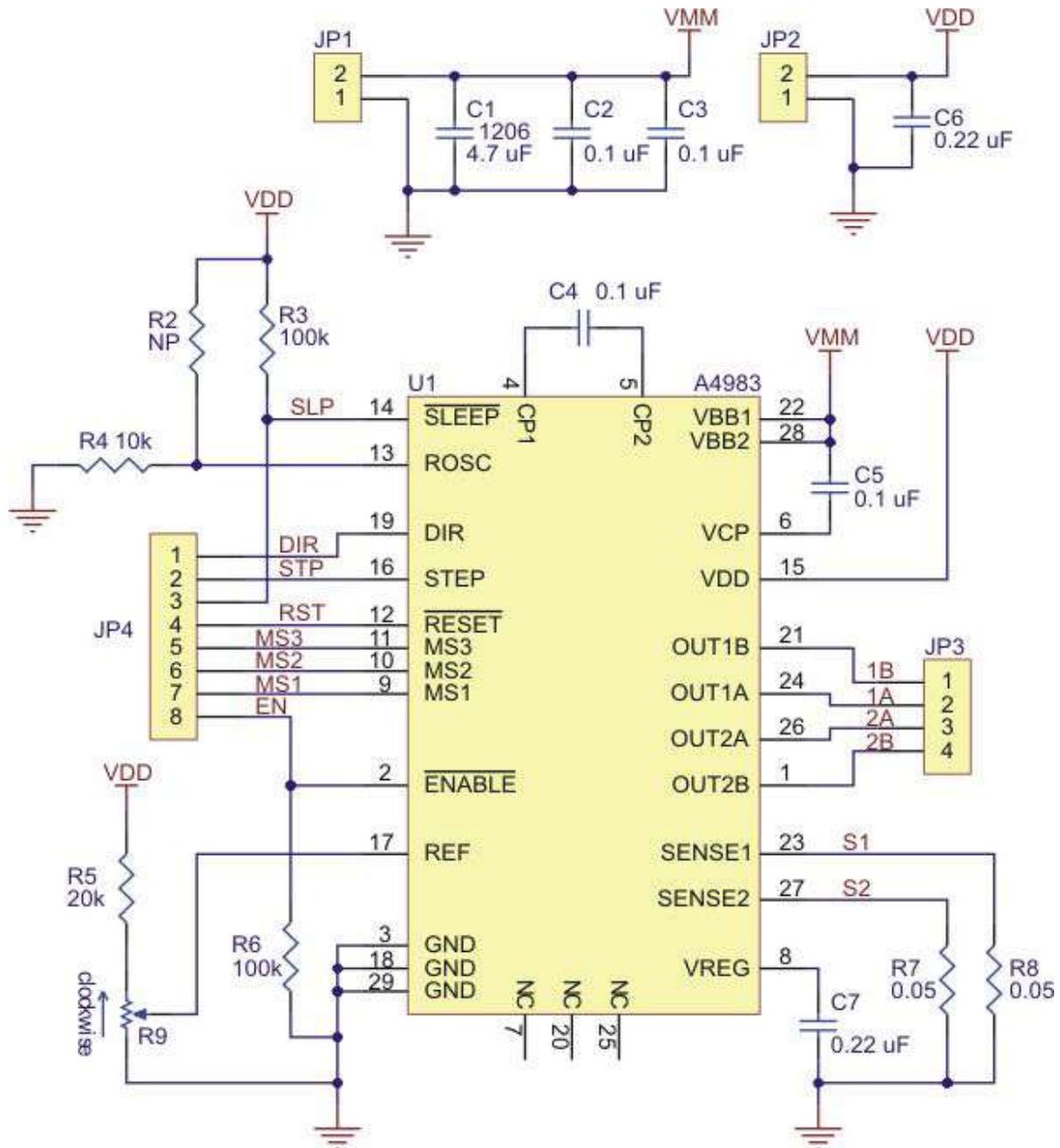


Figura 23: diagrama esquemático de *Pololu Stepper Driver*

5.1.6. Motores

El equipo cuenta con cinco motores paso a paso Nema 17 marca *Kysan Electronics* modelo “1124090”. Dichos motores se encargan de realizar todos los movimientos requeridos por el dispositivo.

Especificaciones:

Modelo:	1124090
Torque:	5.5 kg/cm
Tensión de alimentación:	4.2 DC
Número de fases:	2
Ángulo de pasos:	$1.8^{\circ} \pm 5\%$
Resistencia por fase:	$2.8\Omega \pm 10\%$
Inductancia por fase:	$4.8\text{mH} \pm 20\%$
Corriente por fase:	1.5A
Eje:	5mm de diámetro con un corte plano
Aislación:	Clase B
Rango de temperatura de operación:	-20 ~ +40° C
Calibre del alambre de los bobinados:	22AWG / 750mm
Conector:	4 pines con paso de 2.54mm



Figura 24: motor paso a paso Nema 17

5.1.7. Sensores

Sensores varios utilizados para diversos propósitos: finales de carrera por contacto, termistores para control de temperatura, y dispositivos para control de posición/distancia.

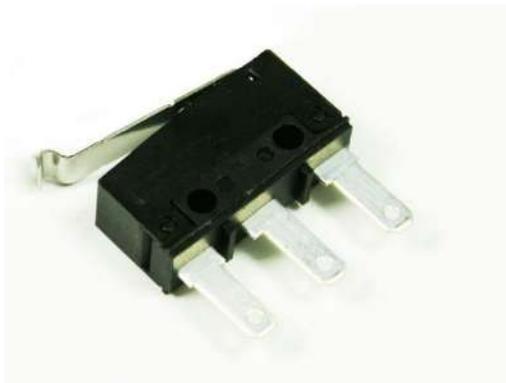


Figura 25: Sensor de fin de carrera

5.2. Software

5.2.1. Marco de desarrollo

Código Fuente

Se desarrollará la aplicación utilizando como lenguaje de programación *PHP Versión 5* (<http://php.net/>), *HTML 5 / CSS 3* (<http://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss>), *JavaScript 1.8* (<http://www.w3.org/standards/webdesign/script>), *AJAX*, *JQUERY 1.10.2* (<https://jquery.com/>). La aplicación web se implementa dentro del ordenador de placa reducida, el cual ejecuta un Sistema Operativo Linux con un servidor web en el cual se aloja la aplicación.

PHP es un lenguaje de programación de uso general de código del lado del servidor originalmente diseñado para el desarrollo web de contenido dinámico. Fue uno de los primeros lenguajes de programación del lado del servidor que se podían incorporar directamente en el documento HTML en lugar de llamar a un archivo externo que procese los datos. El código es interpretado por un servidor web con un módulo de procesador de PHP que genera la página Web resultante⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾.

JavaScript es un lenguaje de programación interpretado, dialecto del estándar *ECMAScript*. Se define como orientado a objetos, basado en prototipos, imperativo, débilmente tipado y dinámico. Se utiliza principalmente en su forma del lado del cliente (*client-side*), implementado como parte de un navegador web permitiendo mejoras en la interfaz de usuario y páginas web dinámicas. Todos los navegadores modernos interpretan el código JavaScript integrado en las páginas web. Para interactuar con una página web se

provee al lenguaje JavaScript de una implementación del *Document Object Model (DOM)*. *JavaScript* se interpreta en el agente de usuario junto con el código HTML⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾.

AJAX, acrónimo de *Asynchronous JavaScript And XML* (JavaScript asíncrono y XML), es una técnica de desarrollo web para crear aplicaciones interactivas o *RIA (Rich Internet Applications)*. Estas aplicaciones se ejecutan en el cliente, es decir, en el navegador de los usuarios mientras se mantiene la comunicación asíncrona con el servidor en segundo plano. De esta forma es posible realizar cambios sobre las páginas sin necesidad de recargarlas, mejorando la interactividad, velocidad y usabilidad en las aplicaciones. *Ajax* es una tecnología asíncrona, en el sentido de que los datos adicionales se solicitan al servidor y se cargan en segundo plano sin interferir con la visualización ni el comportamiento de la página. JavaScript es el lenguaje interpretado (*scripting language*) en el que normalmente se efectúan las funciones de llamada de Ajax mientras que el acceso a los datos se realiza mediante XMLHttpRequest, objeto disponible en los navegadores actuales. En cualquier caso, no es necesario que el contenido asíncrono esté formateado en XML. *Ajax* es una técnica válida para múltiples plataformas y utilizable en muchos sistemas operativos y navegadores dado que está basado en estándares abiertos como JavaScript y *Document Object Model (DOM)*⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾.

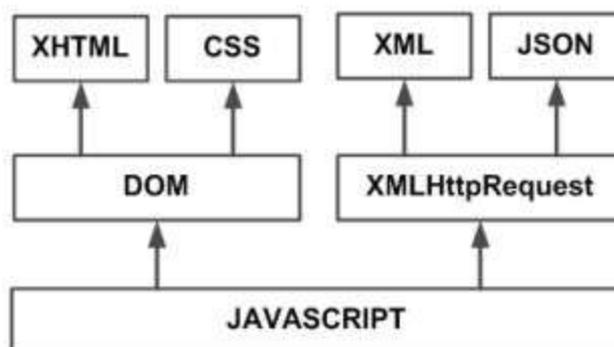


Figura 26: Tecnologías agrupadas bajo el concepto de AJAX

jQuery es una biblioteca de JavaScript, creada inicialmente por John Resig, que permite simplificar la manera de interactuar con los documentos HTML, manipular el árbol DOM, manejar eventos, desarrollar animaciones y agregar interacción con la técnica AJAX a páginas web. Es software libre y de código abierto, posee un doble licenciamiento bajo la *Licencia MIT* y la *Licencia Pública General de GNU v2*, permitiendo su uso en proyectos libres y privados. jQuery, al igual que otras bibliotecas, ofrece una serie de funcionalidades basadas en JavaScript que de otra manera requerirían de mucho más código, es decir, con las funciones propias de esta biblioteca se logran grandes resultados en menos tiempo y espacio⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾.

HTML, siglas de *HyperText Markup Language (lenguaje de marcas de hipertexto)*, hace referencia al lenguaje de marcado para la elaboración de páginas web. Es un estándar que, en sus diferentes versiones, define una estructura básica y un código (denominado código HTML) para la definición de contenido de una página web, como texto, imágenes, etc. Es un estándar a cargo de la *W3C (World Wide Web Consortium - <http://www.w3.org/>)*. El lenguaje HTML basa su filosofía de desarrollo en la referenciación. Para añadir un elemento externo a la página (imagen, vídeo, script, etc.), este no se incrusta directamente en el código de la página, sino que se hace una referencia a la ubicación de dicho elemento mediante texto. De este modo, la página web contiene sólo texto mientras que recae en el navegador web (intérprete del código) la tarea de unir todos los elementos y visualizar la página final. Al ser un estándar, HTML busca ser un lenguaje que permita que cualquier página web escrita en una determinada versión, pueda ser interpretada de la misma forma (estándar) por cualquier navegador web actualizado.⁽¹⁵⁾

CSS (*Cascading Style Sheets*) es un lenguaje de estilo que define la presentación semántica (el aspecto y formato) de un documento escrito en lenguaje de marcas. Su aplicación más común es dar estilo a páginas webs escritas en lenguaje HTML y XHTML, pero también puede ser aplicado a cualquier tipo de documentos XML, incluyendo SVG y XUL. La información de estilo puede ser adjuntada como un documento separado o en el mismo documento. CSS tiene una sintaxis muy sencilla, que usa unas cuantas palabras clave tomadas del inglés para especificar los nombres de varias propiedades de estilo. Una hoja de estilo se compone de una lista de reglas. Cada regla o conjunto de reglas consiste en uno o más selectores y un bloque de declaración (o "bloque de estilo") con los estilos a aplicar para los elementos del documento que cumplan con el selector que les precede. Cada bloque de estilos se define entre llaves, y está formado por una o varias declaraciones de estilo con el formato *propiedad:valor*,⁽¹⁵⁾.

Gestión de Código Fuente

La gestión del código fuente y sus respectivos cambios se realizará mediante el software de control de versiones *Git* (<http://git-scm.com/>).

Git es un software de control de versiones con funcionalidad plena diseñado por Linus Torvalds, pensando en la eficiencia y la confiabilidad del mantenimiento de versiones de aplicaciones cuando tienen un gran número de archivos de código fuente.⁽¹⁷⁾

URL del código del proyecto:

- <https://bitbucket.org/nbehm/robot-pipeteador>

Sistema Operativo

Se utilizará como sistema nativo Linux Debian 7.0 “Wheezy” (<http://www.debian.org/>), optimizado para el funcionamiento del equipo. Sin embargo, al tratarse de una aplicación web, el sistema tendrá acceso desde cualquier sistema operativo con un navegador web estándar moderno y compatible.

El procesador automático de muestras ELISA incluirá embebido el Sistema Operativo y navegador Web. El usuario podrá optar utilizar el dispositivo de manera local mediante el navegador Web embebido, o de manera remota mediante un navegador Web moderno compatible.

Base de datos

Se utilizará una base de datos embebida para gestionar los datos que requieran persistencia. El sistema de gestión de base de datos elegido es *SQLite Versión 3* (<http://www.sqlite.org/>). La elección se debe a que *SQLite* es rápido, ágil, liviano y robusto⁽¹⁸⁾.

SQLite es un proyecto de dominio público creado por D. Richard Hipp que implementa una pequeña librería de aproximadamente 500Kb programada en lenguaje C, que funciona como un sistema de gestión de base de datos relacionales. *SQLite* permite bases de datos de hasta 2 Terabytes de tamaño, implementa la mayor parte del estándar *SQL-92*, incluyendo transacciones de base de datos atómicas, consistencia de base de datos, aislamiento, y durabilidad (ACID), triggers y la mayor parte de las consultas complejas.⁽¹⁸⁾

A diferencia de los sistemas de gestión de bases de datos cliente-servidor, el motor de SQLite no es un proceso independiente con el que el programa principal se comunica. En lugar de eso, la biblioteca SQLite se enlaza con el programa pasando a ser parte integral del mismo. El programa utiliza la funcionalidad de SQLite a través de llamadas simples a subrutinas y funciones. Esto reduce la latencia en el acceso a la base de datos, debido a que las llamadas a funciones son más eficientes que la comunicación entre procesos. El conjunto de la base de datos (definiciones, tablas, índices, y los propios datos), son guardados como un sólo fichero estándar en la máquina host. Este diseño simple se logra bloqueando todo el fichero de base de datos al principio de cada transacción⁽¹⁸⁾.

5.2.2. Funciones del sistema

Las funciones del sistema son las acciones que se realizan a través del sistema. Durante las primeras etapas del desarrollo de software, se identifican estas funciones y se listan en grupos lógicos. Las mismas pueden clasificarse en tres categorías: evidentes, ocultas y superfluas. Las evidentes deben realizarse, y el usuario debe saber que se han realizado. Las ocultas también deben realizarse, y puede que no sean visibles para el usuario. Las superfluas son opcionales, y su inclusión no repercute significativamente en el costo ni en otras funciones⁽¹⁹⁾.

Se puede visualizar en la figura 27 un listado de las principales funciones del sistema.

Ref. #	Función	Categoría
01	Registra muestras de laboratorio	Evidente
02	Registra reactivos de laboratorio	Evidente
03	Registra controles para rutinas de procesamiento	Evidente
04	Registra configuraciones de gradilla	Evidente
05	Registra rutinas de procesamiento	Evidente
06	Registra usuarios y permisos	Evidente
07	Relaciona muestras de laboratorio con rutinas de procesamiento	Evidente
08	Relaciona reactivos de laboratorio con rutinas de procesamiento	Evidente
09	Relaciona controles con rutinas de procesamiento	Evidente
10	Relaciona usuarios con permisos	Evidente
11	Calcula estado de procesamiento	Evidente
12	Calcula tiempo para procesamiento de rutinas	Evidente
13	Genera mensajes de estado	Evidente
14	Genera alertas para el usuario	Evidente
15	Ofrece un mecanismo de almacenamiento persistente	Oculto
16	Registra un estado para cada acción de una rutina	Oculto

Figura 27: Funciones del sistema

5.2.3. Diagrama de Base de Datos

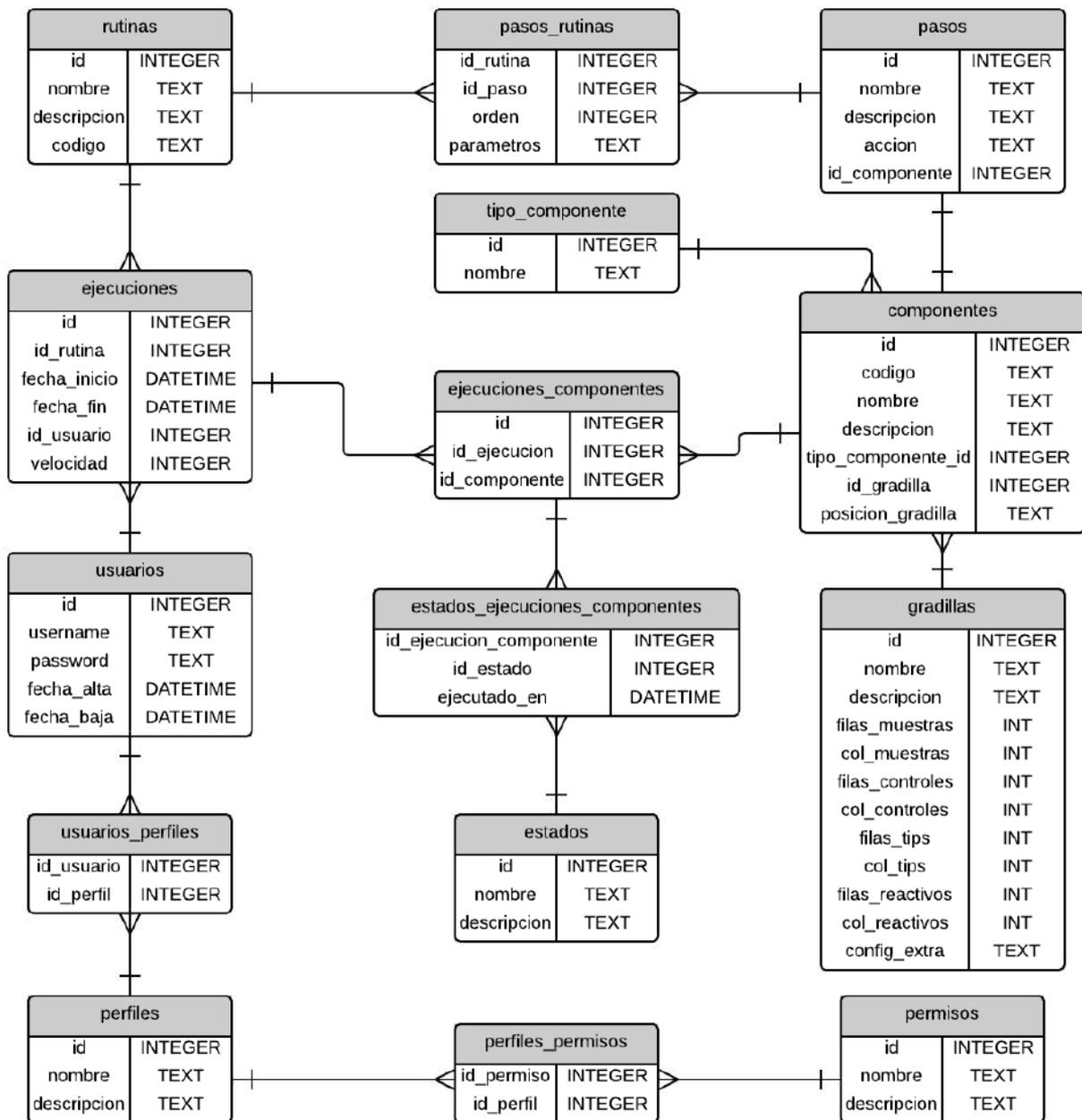


Figura 28: Diagrama de base de datos

5.2.4. Casos de Uso

En el contexto de ingeniería del software, un *caso de uso* es una secuencia de interacciones que se desarrollarán entre un sistema y alguien o algo que usa alguno de sus servicios. Los diagramas de casos de uso sirven para especificar la comunicación y el comportamiento de un sistema mediante su interacción con los usuarios y/u otros sistemas⁽²⁰⁾. Los diagramas de casos de uso se utilizan para ilustrar los requerimientos del sistema al mostrar cómo reacciona a eventos que se producen en su ámbito o en él mismo⁽²⁰⁾. Se describirán a continuación los casos de uso de mayor complejidad.

El caso de uso más importante del sistema es el caso “Ejecutar rutina de procesamiento”, cuyo éxito es fundamental para concluir la etapa de “Implementación y Construcción integral”.

Ejecutar rutina de procesamiento

Prioridad	Alta: X	Mediana:	Baja:
Categoría	Esencial: X	Soporte:	
Significativo para la arquitectura	Si: X	No:	
Complejidad	Simple:	Mediano:	Complejo: X Muy Complejo:
Actor	Principal: Técnico de Laboratorio (TL)		Secundario: n/a
Tipo de use case	Concreto: X	Abstracto:	

Objetivo	Ejecutar una rutina de procesamiento de muestras de laboratorio.
Precondiciones	<ul style="list-style-type: none"> ● que la rutina se encuentre registrada. ● que se encuentren presentes y bien distribuidas las muestras, reactivos, controles y tips correspondientes para ejecutar la rutina. ● que el usuario tenga los permisos necesarios.
Postcondiciones	<p>Éxito: Se ejecuta la rutina de procesamiento.</p> <p>Fracaso:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● El TL no confirma la ejecución de la rutina. ● No se encuentran los componentes mínimos para ejecutar la rutina (muestras, reactivos, controles y tips). ● Se detecta un error y el usuario decide no continuar.

Curso Normal	Alternativas
1. El Caso de Uso comienza cuando el TL selecciona la opción <i>Ejecutar Rutina</i>	
2. El Sistema solicita que seleccione la rutina de procesamiento a ejecutar	
3. El TL selecciona la rutina que desea ejecutar	
4. El Sistema solicita que seleccione y ubique los reactivos y controles necesarios para la	

ejecución de la rutina	
5. El TL selecciona distribuye los controles y reactivos correspondientes a la rutina.	5.A. El TL no ubica la totalidad de muestras y reactivos necesarios. 5.A.1. El sistema no deja iniciar la ejecución de la rutina de procesamiento.
6. El Sistema solicita que ubique e ingrese las muestras que se procesarán en la rutina y que de inicio a la rutina.	
7. El TL ingresa al menos una muestra y confirma el inicio de la rutina.	7.A. El TL no ingresa ninguna muestra. 7.A.1. El sistema no deja iniciar la ejecución de la rutina de procesamiento.
8. El sistema calcula y muestra el tiempo de procesamiento de la rutina y solicita que el usuario confirme el inicio de la rutina.	
9. El TL confirma el inicio de la rutina	
10. El Sistema verifica el estado de los sensores y realiza las validaciones necesarias para el procesamiento de la rutina.	10.A. El sistema detecta que no se encuentran todas las validaciones aprobadas. 10.A.1. El sistema informa al usuario el estado de las validaciones y pregunta al usuario si desea corregir las validaciones

	<p>no aprobadas y continuar, o cancelar la ejecución de la rutina.</p> <p>10.A.2.A.1 El usuario decide cancelar.</p> <p>10.A.2.A.2 El sistema cancela la rutina de procesamiento y despliega un informe acerca de la ejecución.</p> <p>10.A.2.B.1 El usuario decide corregir las validaciones no aprobadas y seguir con la rutina.</p> <p>10.A.2.B.2 Se retorna al punto “10”</p>
<p>11. El Sistema inicia el procesamiento de la rutina y muestra en tiempo real el estado de la rutina y los pasos que se van ejecutando.</p>	<p>11.A. El TL cancela el procesamiento de la rutina.</p> <p>11.A.1. El sistema cancela la ejecución de la rutina de procesamiento.</p> <p>11.B. El sistema encuentra un error durante el procesamiento de la rutina.</p> <p>11.B.1. El sistema informa al usuario el error y descripción del mismo.</p> <p>11.B.2. El sistema pregunta al usuario si desea continuar o cancelar la ejecución de la rutina de procesamiento.</p> <p>11.B.2.A.1 El usuario decide cancelar.</p> <p>11.B.2.A.2 El sistema cancela la rutina de</p>

	<p>procesamiento y despliega un informe acerca de la ejecución.</p> <p>11.B.2.B.1 El usuario decide seguir con la rutina.</p> <p>11.B.2.B.2 El sistema verifica si puede continuar y continúa con la rutina.</p> <p>11.B.2.B.2.A El sistema no puede continuar.</p> <p>11.B.2.B.2.A.1 Se retorna al punto “11.B.1”</p>
<p>12. El sistema indica el fin del procesamiento de la rutina y solicita la confirmación del éxito de la misma.</p>	<p>12.A. El sistema solicita intervención del TL (porque la rutina de procesamiento lo requiere) y solicita la confirmación de dicha intervención.</p> <p>12.A.1. El TL interviene en el procesamiento y confirma su intervención.</p> <p>12.A.2. El sistema continúa con el procesamiento de la rutina.</p> <p>12.A.3 El sistema indica el fin del procesamiento de la rutina (cuando ha llegado a su fin) y solicita la confirmación del éxito de la misma.</p>

13.El TL confirma el éxito de la rutina	13.A. El TL confirma el fracaso de la rutina
14.El Sistema registra el éxito de la rutina y los tiempos de procesamiento.	14.A.El Sistema registra el fracaso de la rutina y los tiempos de procesamiento.
15.El Sistema regresa al menú principal.	
16.Fin del Caso de Uso	

Observaciones: n/a
Funciones de Sistema Asociados: 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
Requerimientos no funcionales asociados: n/a

5.2.5. Diagrama de Clases: núcleo fundamental

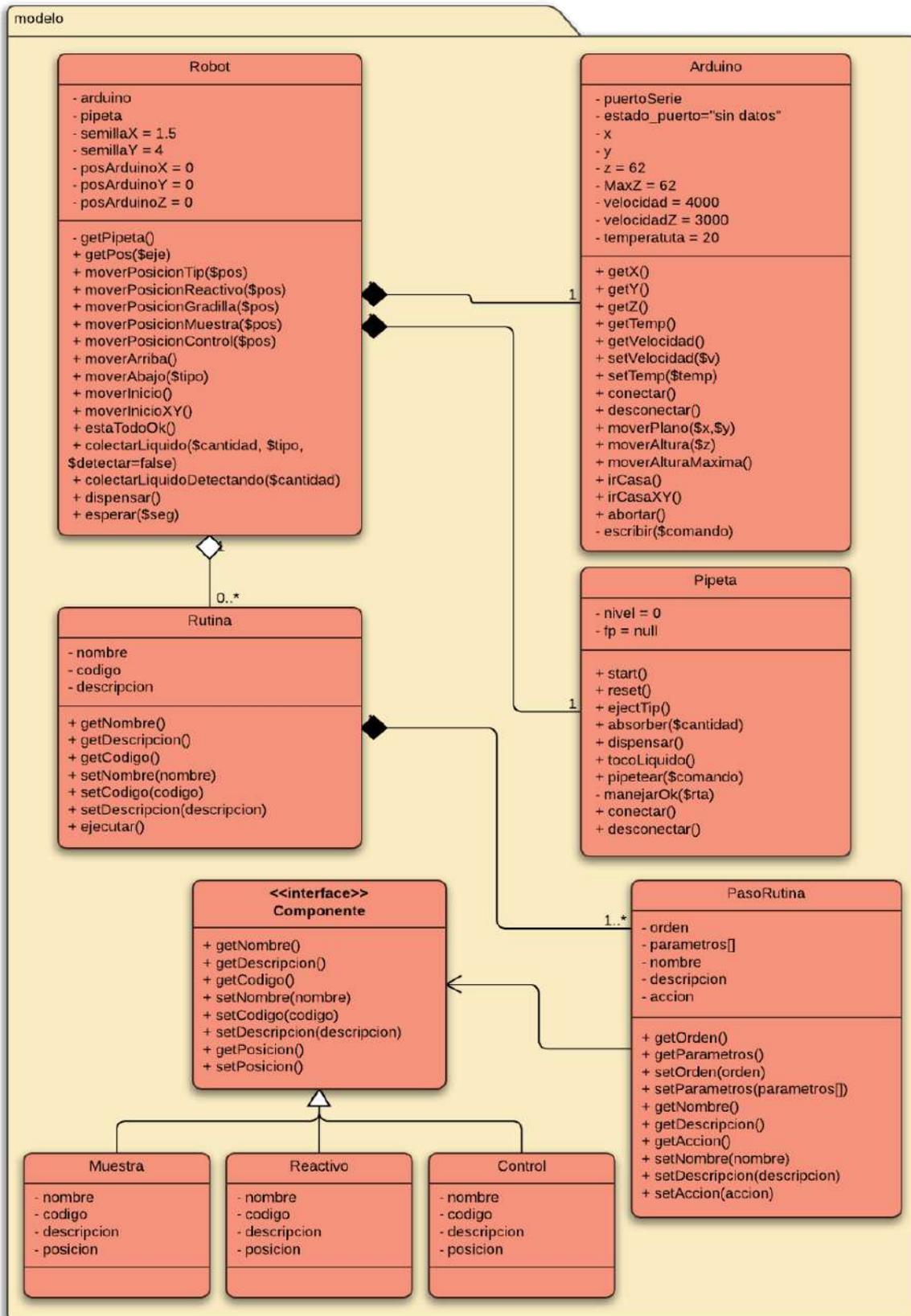


Figura 29: Diagrama de Clases, núcleo fundamental

6. Implementación y Pruebas

El proceso de desarrollo se realizó de manera iterativa e incremental, por lo cual se fueron realizando pruebas a medida que se integraron nuevos complementos y características de Hardware y Software.⁽²⁰⁾

En las primeras etapas del desarrollo, el dispositivo solamente era capaz de realizar algunas funciones de sistema y no podía ejecutar una rutina completa de laboratorio. En cada etapa de desarrollo era necesario integrar los nuevos cambios y calibrar los componentes para su correcto funcionamiento. En la figura 31 se puede visualizar la primera versión del prototipo con la mayoría de sus componentes integrados.

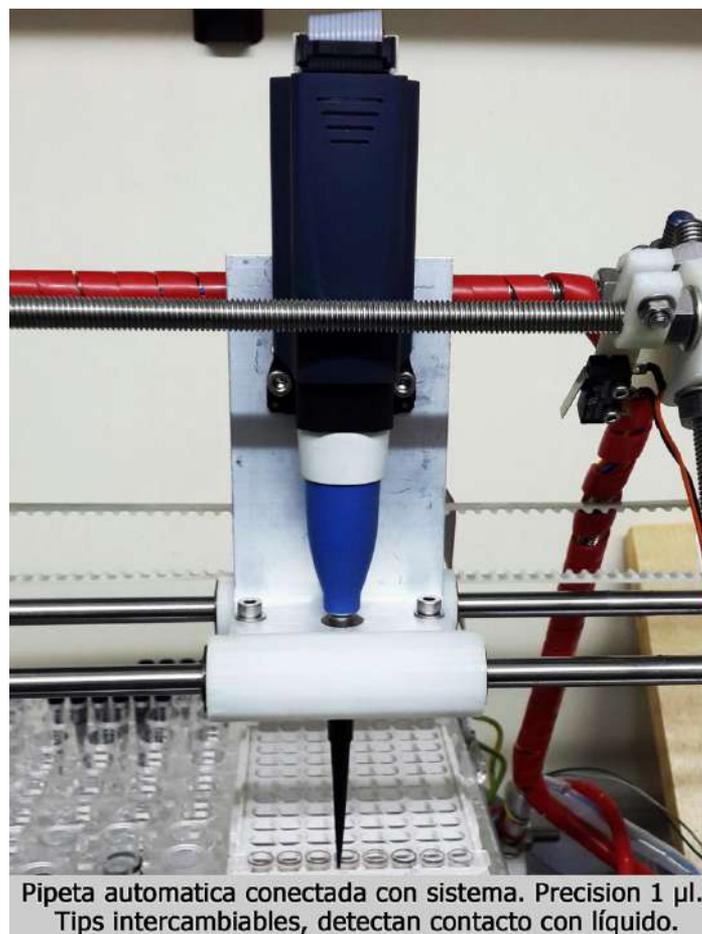


Figura 30: integración de la pipeta automática al equipo

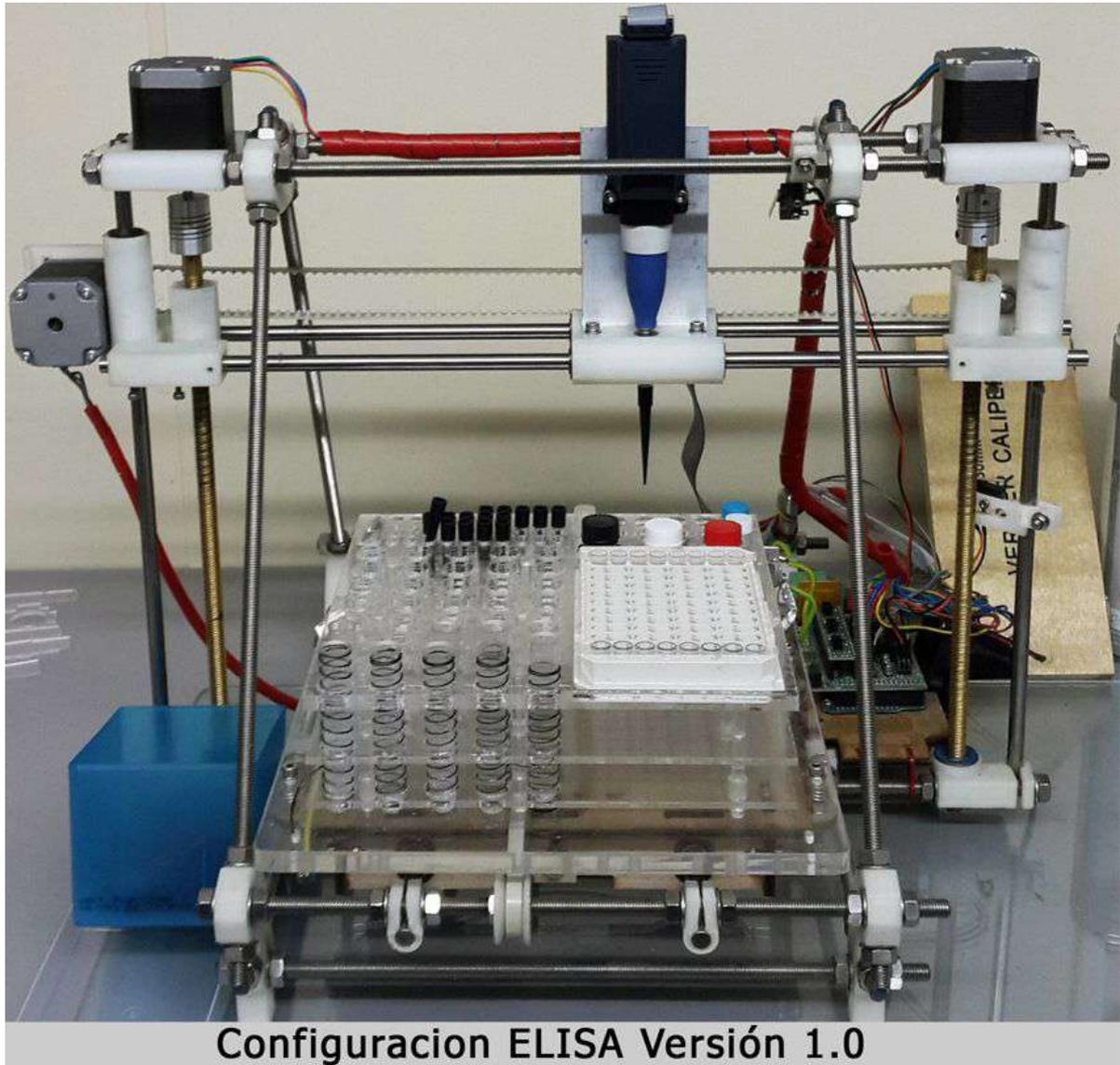


Figura 31: Primer versión del prototipo.

A medida que el prototipo se desarrollaba de manera incremental, se desarrollaron y probaron rutinas en el software, en especial para el procesamiento de muestras en Pruebas de Laboratorio para “HIV ANTICUERPOS” (por método ELISA)⁽⁶⁾. Se puede visualizar una prueba realizada con el primer diseño de gradilla, en un entorno de laboratorio, en el siguiente video (enlace web):

- https://www.youtube.com/watch?v=w_uL_Ulk9Mo

La segunda versión del prototipo ya podía realizar una rutina completa y visualizarse en tiempo real el estado de cada paso en ejecución. El proyecto fue presentado para concursar en la Décima Edición del *Concurso Nacional de Innovaciones "INNOVAR"*, organizado por el *Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva*. El mismo quedó seleccionado para su exposición en Tecnópolis en noviembre de 2014 (figura 32 y 33) (Anexo 4).



Figura 32: exposición del proyecto en el Concurso Nacional de Innovaciones *INNOVAR*



Figura 33: exposición del proyecto en el Concurso Nacional de Innovaciones *INNOVAR*

Se puede visualizar una prueba realizada con el segundo diseño de gradilla, durante el Concurso Nacional de Innovaciones *INNOVAR* 2014, en el siguiente video (enlace web):

- <https://www.youtube.com/watch?v=Va2ibPINQGU>

Referencia a proyecto en *INNOVAR*:

- Proyecto ID #16088: “*Sistema automatizado para análisis y procesamiento de muestras biológicas*”
- Catálogo 2014, página 114:
 - <http://www.innovar.mincyt.gob.ar/catalogo-de-proyectos/catalogo/>

7. Conclusiones

Los conocimientos adquiridos durante la Carrera de *Especialización en Gestión de la Tecnología y la Innovación* han sido de gran ayuda para la elaboración y desarrollo del proyecto. Se posibilitaron y crearon nexos reales entre el sector académico y el sector productivo, facilitando oportunidades tecnológicas, financieras y procesos de innovación empresarial.

El proyecto desarrollado en el presente trabajo, es un buen ejemplo de vinculación y articulación entre la Empresa, la Universidad y el Estado. Un triángulo de relaciones entre la estructura productiva, la ciencia–tecnología y el gobierno⁽²¹⁾. La empresa tuvo la idea del proyecto, aunque le faltaba el conocimiento y la financiación necesaria para desarrollarlo, pudo potenciar sus capacidades de innovación y de desarrollo tecnológico. Gracias a la gestión tecnológica aplicada al proyecto se pudo terminar de conformar la idea, componer un equipo multidisciplinario con formación universitaria y conocimiento necesario para desarrollar el proyecto, y encontrar el ente financiador adecuado para afrontar los gastos y facilitar la financiación de recursos destinados al proyecto.

A partir de la experiencia obtenida el proyecto y la creación del prototipo funcional, la empresa y el equipo de trabajo involucrado elaboraron una segunda etapa complementar el desarrollo del mismo. El objetivo de la segunda etapa es añadir características de gran utilidad para el nicho de mercado al que apunta el proyecto, desarrollando un equipo más completo y versátil. Además, con la segunda etapa se busca llegar a construir un prototipo que sirva como modelo de producción (Figura 34). En la segunda etapa el equipo a desarrollar contempla la

utilización de metodologías adicionales a ELISA (Figura 35), en particular podrá procesar muestras biológicas para pruebas de laboratorio que utilicen las técnicas “*Western Blot*”⁽³⁾⁽⁵⁾ e “*inmunofluorescencia*”⁽³⁾⁽⁵⁾, además de otras mejoras en Hardware y Software. Esta etapa del proyecto también será financiada a través del *Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR)*.

Referencia a la segunda etapa del proyecto:

- Convocatoria ANR 1600 2014 C1.
- Proyecto N° 075/14 - IAC Internacional S.R.L. - “Desarrollo de sistema automatizado para análisis y procesamiento de muestras biológicas”
- <http://www.agencia.mincyt.gob.ar/upload/res690-14-anr-1600-2014-evaluacion-aprobados.pdf> - (Anexo 3)

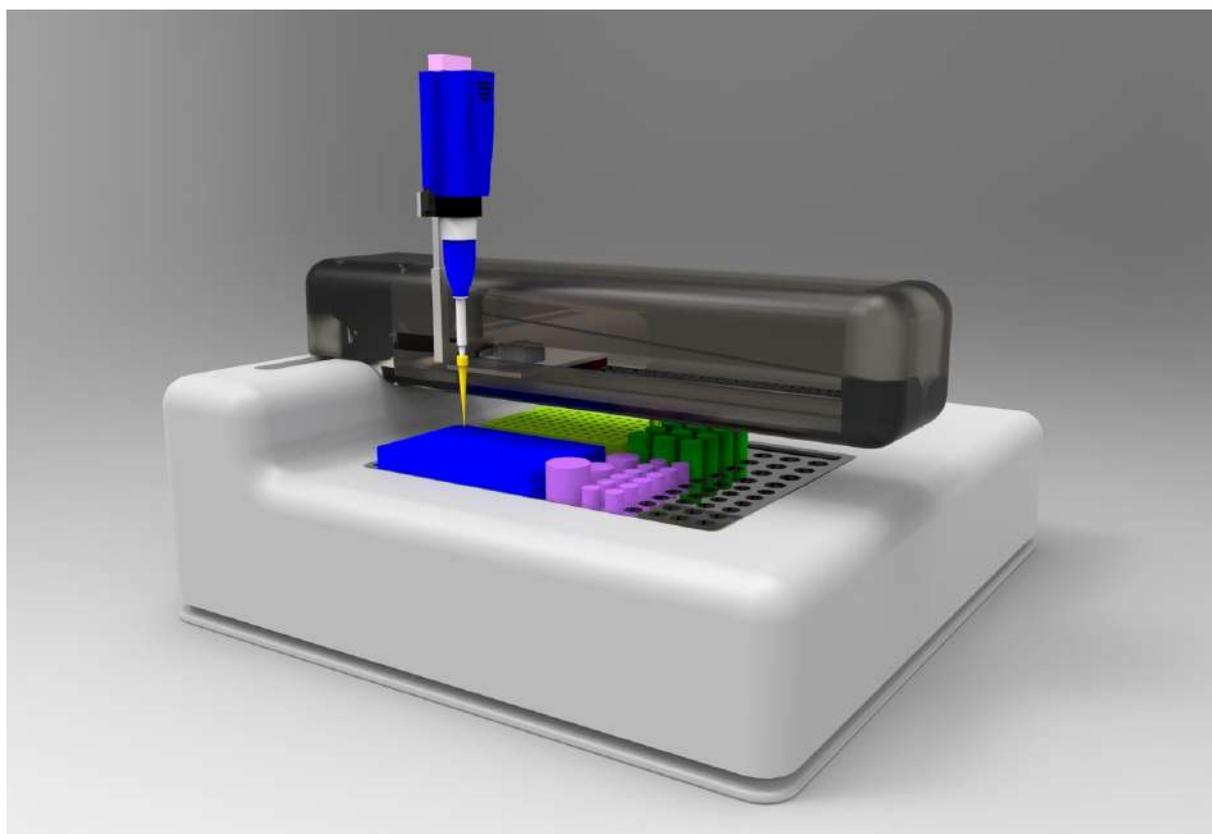


Figura 34: Diseño de modelo para producción contemplado para extensión del proyecto.



Figura 35: La extensión del proyecto adapta la gradilla para realizar 3 procedimientos.

8. Anexos

- **Anexo 1:** “*ANR 800 2012 C2 - Presentación de Proyecto.pdf*” (documento adjunto)

Presentación online del Proyecto “Investigación y desarrollo de un procesador automático de muestras ELISA” en la convocatoria *ANR 800 2012 C2*. Datos Principales del Proyecto.

- **Anexo 2:** “*ANR 800 2012 C2 - Resultados del Proceso de Evaluación.pdf*” (documento adjunto)

Convocatoria ANR 800 2012 - Convocatoria 2. Resultados Parciales del Proceso de Evaluación. Propuestas Aprobadas con Modificación a su formulación Original. Proyecto N° 087/12 - IAC Internacional S.R.L. - “Investigación y desarrollo de un procesador automático de muestras ELISA”

- **Anexo 3:** “*ANR 1600 2014 C1 - Resultados del Proceso de Evaluación.pdf*” (documento adjunto)

Convocatoria ANR 1600 2014. Resultados Parciales del Proceso de Evaluación. Propuestas Aprobadas de acuerdo a su formulación original. Proyecto N° 075/14 - IAC Internacional S.R.L. - “Desarrollo de sistema automatizado para análisis y procesamiento de muestras biológicas”

- **Anexo 4:** “*Certificado INNOVAR 2014.pdf*” (documento adjunto)

Certificado de asistencia a la exposición del proyecto "Sistema automatizado para análisis y procesamiento de muestras biológicas" en la Décima Edición del Concurso Nacional de Innovaciones, realizada entre el 10 y el 13 de noviembre de 2014 en Tecnópolis y organizada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.

9. Bibliografía

1. Henry William Chesbrough. Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology. Massachusetts: Ed. Harvard Business Press, 2006
2. José López Rodríguez y Antonio García Lorenzo. INNOVACIÓN ABIERTA: DESAFÍOS ORGANIZACIONALES DE ESTE MODELO DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN PARA LAS EMPRESAS. Santiago de Compostela: Revista Galega de Economía 19: 1-13, 2010
3. Gilberto Ángel Mejía y Mauricio Ángel Ramelli. *Interpretación clínica del laboratorio*. Bogotá: Ed. Médica Panamericana, 2006.
4. M^a José García Bermejo y M^a del Carmen Silvia García. *Técnicos Especialistas de Laboratorio Del Servicio Navarro de Salud. Osasunbidea. Temario.volumen II*. Sevilla: Ed. MAD, 2006.
5. Mandell, Douglas y Bennett. *Enfermedades infecciosas. Principios y práctica, Séptima Edición*. Barcelona: Ed. “Elsevier España, S.L”, 2012
6. OECD. Estudios del Centro de Desarrollo Startup América Latina Promoviendo la innovación en la región: Promoviendo la innovación en la región. OECD Publishing, 2013
7. Marcelo Delfini, Daniela Dubbini, Manuel Lugones e Ivana Rivero. Innovación y empleo en tramas productivas de Argentina. Ed. Prometeo Libros Editorial, 2007.
8. Camilo Fernández Espina y Daniel Mazziotta. *Gestión de la calidad en el laboratorio clínico*. Buenos Aires: Ed. Médica Panamericana, 2005
9. García C. Patricia. “Ventajas y problemas de los métodos automatizados de estudio de susceptibilidad in vitro”. *Revista chilena de infectología* 19 (2002): 96-100.

10. Michael Margolis. *Arduino Cookbook, Second Edition*. Sebastopol: Ed. "O'Reilly Media, Inc.", 2011.
11. John-David Warren, Josh Adams y Harald Molle. *Arduino Robotics*. New York: Ed. Apress, 2011.
12. Andrés García Higuera y Fernando J. Castillo García. *CIM, el computador en la automatización de la producción*. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2007.
13. Aitor Urzelai, Julen Iturbe Ormaetxe, David Sánchez Bote, Estíbaliz Hernández y Aitor Bediaga. *Sectores de la nueva economía 20+20. Economía digital*. Madrid: Ed. "EOI Esc.Organiz.Industrial", 2010.
14. Kevin Tatroe, Peter MacIntyre y Rasmus Lerdorf. *Programming PHP*. Sebastopol: Ed "O'Reilly Media, Inc.", 2013.
15. Juan Diego Gauchat. *El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript*. Barcelona: Marcombo, 2012.
16. David Sawyer McFarland. *JavaScript & JQuery: The Missing Manual*. Sebastopol: Ed "O'Reilly Media, Inc.", 2014.
17. Jon Loeliger y Matthew McCullough. *Version Control with Git: Powerful Tools and Techniques for Collaborative Software Development*. Sebastopol: Ed "O'Reilly Media, Inc.", 2012.
18. Grant Allen y Mike Owens. *The Definitive Guide to SQLite*. New York: Ed. Apress, 2011.
19. Susan K. Land y John W. Walz. *Practical Support for ISO 9001 Software Project Documentation: Using IEEE Software Engineering Standards*. Hoboken: Ed. Wiley, 2006.

20. Ian Sommerville y María Isabel Alfonso Galipienso. *Ingeniería del software*. Madrid: Ed. Pearson Educación, 2005.
21. Jorge A. Sábato y Natalio R. Botana. *La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina*. Instituto de Estudios Peruanos, 1970.