



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Planeación y diseño de un
muestreador secuencial de
agua pluvial**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Juan Antonio Hernández Magaña

DIRECTOR DE TESIS

M.I Cristian Emmanuel González
Reyes



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

A mis padres
Por todo el apoyo y el amor que me han brindado
Por ser un apoyo, inspiración y ejemplo.

A mis abuelitos
Por apoyarme en todo
Por ofrecerme cariño y comprensión incondicionales.

A mi hermano
Por tantos momentos que hemos compartido

A Isabel
Por el amor y la comprensión
Por todo el apoyo y aliento que me has dado.

Al Maestro Cristian González Reyes
Por apoyarme en el desarrollo de este trabajo
Por orientarme y compartirme su experiencia.

A los amigos y compañeros que he tenido a lo largo de mi vida

Contenido

1	Introducción	6
1.1	Resumen capitular.....	6
1.2	Objetivos	7
1.2.1	Objetivo general.....	7
1.2.2	Objetivos particulares	7
1.3	Alcances y limitaciones	7
1.3.1	Alcances.....	7
1.3.2	Limitaciones.....	7
1.4	Justificación	8
2	Antecedentes	10
2.1	Estado del arte	10
3	Análisis de la secuencia de muestreo.....	13
3.1	Muestreo por intervalos de tiempo	13
3.2	Muestreo por cantidad de lluvia (lámina de agua)	14
3.3	Análisis comparativo	15
4	Conceptualización de alternativas de dispositivos	18
4.1	Aspectos generales.....	18
4.1.1	Número de muestras.....	18
4.1.2	Volumen de las muestras	24
4.1.3	Resguardo de las muestras	27
4.2	Recursos mecánicos	29
4.2.1	Mecanismos de contacto directo.....	29
4.2.2	Mecanismos con eslabón intermedio o biela	31
4.2.3	Mecanismos con conectores flexibles.....	33
4.2.4	Frenos.....	34
4.2.5	Cojinetes.....	35
4.3	Recursos eléctricos.....	35
4.3.1	Dispositivos de conmutación	35
4.3.2	Solenoides	38
4.3.3	Motores.....	38
4.4	Recursos electrónicos.....	39
4.4.1	Sensores	39

4.4.2	Actuadores	48
4.4.3	Controladores.....	50
4.4.4	Sistemas de presentación de datos.....	51
4.5	Conceptualización de prototipos y evolución	52
4.5.1	Muestreador manual.....	52
4.5.2	Colector de lluvia en columna	52
4.5.3	Secuenciador múltiple de lluvia	53
4.5.4	Secuenciador rotatorio.....	54
5	Evaluación de alternativas de prototipos.....	55
5.1	Aspectos técnicos.....	55
5.1.1	Muestreador manual.....	55
5.1.2	Colector de lluvia en columna	55
5.1.3	Secuenciador múltiple.....	56
5.1.4	Secuenciador rotativo	56
5.2	Aspectos operativos	56
5.2.1	Muestreador manual.....	56
5.2.2	Colector de lluvia en columna	57
5.2.3	Secuenciador múltiple.....	57
5.2.4	Secuenciador rotativo	58
5.3	Aspectos económicos.....	58
5.3.1	Muestreador manual.....	58
5.3.2	Colector de lluvia en columna	59
5.3.3	Secuenciador múltiple.....	59
5.3.4	Secuenciador rotativo	60
5.4	Selección del prototipo	60
6	Diseño del dispositivo	62
6.1	Elección de materiales	62
6.1.1	Materiales para el almacenamiento de las muestras	62
6.1.2	Materiales para la conducción de agua	63
6.1.3	Materiales auxiliares	64
6.2	Sistema de almacenamiento	64
6.3	Sistema de distribución.....	65
6.4	Sistema de captación	68

6.5	Sistema de monitoreo y control.....	70
6.6	Sistemas de soporte y protección	73
7	Simulación	75
7.1	Software de modelación mecánica	75
7.2	Construcción del modelo de simulación	76
7.2.1	Múltiple	76
7.2.2	Distribuidor.....	77
7.2.3	Cono de captación.....	78
7.2.4	Transmisión del movimiento del motor a pasos	79
7.3	Resultados de la simulación	80
8	Versión final del dispositivo	81
8.1	Planos generales.....	81
8.2	Planos de detalle	85
8.3	Fichas técnicas de componentes.....	94
8.3.1	Arduino UNO	94
8.3.2	Recipientes de almacenamiento	98
8.3.3	Motor a pasos.....	99
8.3.4	Controlador de motor a pasos	100
8.3.5	Sensor capacitivo.....	113
8.4	Instrucciones de ensamblaje.....	117
8.5	Presupuesto	122
8.6	Manual de operación	123
9	Conclusiones.....	130
10	Bibliografía	132

|

1 Introducción

1.1 Resumen capitular

En la Introducción se presentan los objetivos que pretende el desarrollo de esta tesis, siendo el principal planear y diseñar un dispositivo para el muestreo de agua pluvial, se establecen los alcances y limitaciones que se tendrán en la realización de la misma y se justifica la necesidad del dispositivo basándose en las necesidades que se tienen para el aprovechamiento pluvial, destacando la necesidad de contar con diferentes muestras en diferentes momentos de una lluvia para analizar su comportamiento y evolución respecto a su calidad.

En el capítulo Antecedentes se hace una revisión del estado del arte del muestreo de agua de lluvia, encontrando en las investigaciones de diferentes personas y con diferentes objetivos la necesidad del muestreo de agua de lluvia y las diferentes soluciones que han propuesto, destacando el hecho de no encontrarse un dispositivo que permita obtener diferentes muestras, sino solo una integral, ya sea para una tormenta o en un conjunto de días.

Para lograr la obtención de diferentes muestras de un solo evento de lluvia, se proponen dos alternativas de muestreo, el muestreo por intervalos de tiempo y el muestreo por cantidad de lluvia, en el capítulo análisis de la secuencia de muestreo se lleva a cabo una explicación de cada método y un análisis comparativo de ellos.

El dispositivo por diseñar debe cumplir con ciertas especificaciones que están determinadas por algunas normas nacionales e internacionales, además se deben establecer los parámetros de diseño que servirán como eje para el desarrollo de los prototipos. En el capítulo conceptualización de alternativas de dispositivos se discuten el número de muestras, su volumen y los requerimientos de preservación en función del parámetro a analizar, así como las metodologías para su obtención.

También es necesario conocer los recursos disponibles para el desarrollo de un prototipo. Para esto se hace una breve descripción de los recursos mecánicos, eléctricos y electrónicos principales, con el fin de explorar los recursos disponibles y posteriormente elegir los que mejor se adecuen al proyecto.

Finalmente, en este capítulo se presentan cuatro ideas o prototipos que cumplen con los parámetros determinados y utilizan los recursos explorados.

En el capítulo Evaluación de alternativas de prototipos se lleva a cabo un análisis comparativo desde el punto de vista técnico, operativo y económico entre los prototipos ideados para posteriormente llevar a cabo el diseño del prototipo que cumpla mejor con los requerimientos, tenga un mejor funcionamiento e incluso cumpla con un criterio económico.

Para el proceso de diseño, el dispositivo se dividió en cinco sistemas, ello permitió simplificar y hacer más detallado el diseño de cada uno de los componentes. Previo al diseño se presenta un apartado donde se enumeran los posibles materiales a utilizar de acuerdo con su función en el dispositivo, esto es: materiales de almacenamiento, de conducción y auxiliares.

Los sistemas que componen el dispositivo son:

- Sistema de almacenamiento

- Sistema de distribución
- Sistema de captación
- Sistema de monitoreo y control
- Sistemas de soporte y protección

En la ingeniería el uso de herramientas de cómputo ha representado un gran avance, pues proporciona un apoyo invaluable en el desarrollo de proyectos, en este trabajo se utilizó una herramienta de simulación para facilitar la visualización de los componentes y su integración, pues el software permite diseñar y simular elementos tridimensionales y realizar uniones, conexiones y relaciones entre ellos, de esta manera fue posible verificar el funcionamiento del dispositivo aun sin tener los recursos para su construcción.

El software que permitió esta simulación es Inventor de la compañía Autodesk.

En la sección versión final del dispositivo se encuentran los documentos que muestran todo lo realizado en la etapa de diseño, es decir: planos generales del dispositivo, planos de las partes que es necesario elaborar y fichas técnicas de las piezas que es posible encontrar comercialmente. Además, se incluye un instructivo para el ensamblaje del dispositivo y un manual para operarlo, así como un presupuesto con precios comerciales de marzo 2018.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Planear y diseñar un dispositivo para el muestreo secuencial automático de agua pluvial.

1.2.2 Objetivos particulares

- Establecer el estado del arte del muestreo de agua pluvial.
- Analizar la pertinencia del muestreo por intervalo de tormenta o por lámina de lluvia.
- Conceptualizar alternativas y evaluar su pertinencia.
- Diseñar el dispositivo
- Realizar una simulación del funcionamiento del dispositivo a través de su modelación en un software especializado.
- Presentar el concepto final del dispositivo que cumpla con el objetivo establecido.

1.3 Alcances y limitaciones

1.3.1 Alcances

El dispositivo que se desarrollará tomará muestras parciales del agua de una tormenta de forma continua, automática y secuencial. Promoviendo condiciones que mejor preserven las características de dicha agua.

El dispositivo generado permitirá tomar muestras en un sitio establecido y mediante éstas poder caracterizar el agua precipitada, conforme al avance de la tormenta.

1.3.2 Limitaciones

El dispositivo solo tomará muestras en el punto donde sea colocado y permitirá la caracterización de la lluvia exclusivamente en dicho punto.

Debido a la segmentación de la lluvia, el muestreador solo permitirá tomar un número máximo de 18 muestras, por lo cual podría, en algunas lluvias extraordinarias, no tomar las muestras de precipitación posterior.

Dada la falta de recursos económicos suficientes para la materialización del diseño, el desarrollo del dispositivo solo llegará al nivel de proyecto ejecutivo. Se espera que como parte de la línea de investigación del tutor en el futuro pueda manufacturarse.

1.4 Justificación

El abastecimiento de agua potable es un problema que evidentemente se ha agravado en ciudades con una gran población como la Ciudad de México, cada vez son más las personas sin acceso al vital líquido y es por ello que urge buscar alternativas para realizar dicho abastecimiento; una forma de medir la disponibilidad del agua es a través del grado de presión, que resulta de dividir el agua utilizada entre el agua renovable en una región, de acuerdo a la CONAGUA las regiones hidrológicas ubicadas en el norte y centro del País cuentan con un grado de presión Alto, siendo el problema más grave la Región XIII “Aguas del Valle de México”, donde se ubica la Ciudad de México, con un grado de presión de 138.7% (CONAGUA, 2016), esto significa que se está utilizando 38.7% más agua de la que se puede renovar.

También en la ciudad de México, año con año crece el problema de las inundaciones. Parece ilógico observar cómo coexiste un problema de escasez y uno de exceso de agua en la misma ciudad. En este sentido, han surgido diferentes propuestas que intentan compensar mutuamente ambos problemas a través de la captación pluvial para usos tanto domésticos como industriales o agrícolas y pecuarios.

El aprovechamiento pluvial, en las ciudades, presenta el reto específico de la contaminación ambiental atmosférica, pues ésta altera el estado y las características del agua que se precipita, hasta el grado de tener lluvias “ácidas”; este problema ha sido tratado de manera empírica a través de filtros, discriminadores de aguas, humedales, entre otros, por los diferentes grupos dedicados al aprovechamiento pluvial; sin embargo al no existir suficiente investigación científica que permita relacionar adecuadamente la contaminación atmosférica y la calidad del agua que se precipita, se dificulta conocer la efectividad de los métodos utilizados.

La necesidad de contar con un dispositivo que permita el muestreo secuencial surge como parte del equipamiento necesario para la continuidad de una línea de investigación que consiste en determinar la relación de la calidad de la atmósfera con la calidad del agua precipitada, con el fin último de poder, mediante modelos matemáticos, predecir la calidad del agua que lloverá una vez conocida la calidad atmosférica, misma que se encuentra altamente monitoreada por el SIMAT (Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México) a cargo de la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA); para este fin se requiere, en primer lugar, contar con un dispositivo que permita evaluar la calidad del agua precipitada de manera continua, parcial y secuencial, para así poder observar y posteriormente modelar el comportamiento de la atmósfera y la precipitación.

Conocer el comportamiento de la calidad del agua precipitada durante un evento, permitirá desarrollar mejores sistemas para el aprovechamiento de la lluvia, pues podrá predecirse con certeza la composición del agua y por ende los tratamientos o acciones a realizar para utilizarla como fuente de abastecimiento, ya que los sistemas que se utilizan actualmente son poco flexibles

en cuanto a la capacidad de adaptación a las necesidades y condiciones particulares del sitio. Estos están asociados a un rango de respuesta que no necesariamente corresponde a las condiciones de cada caso de aplicación.

Con base en la búsqueda de información en artículos científicos y tesis de grado, se ha encontrado que el muestreo de agua de lluvia se lleva a cabo mediante dispositivos totalizadores, o bien, con pluviómetros. Estos últimos almacenan el agua captada durante 24 horas y la evaluación de la calidad corresponde a un promedio diario, mientras que los primeros sirven para estudios de varios días, semanas o incluso meses y sirven solo para evaluar de manera general el nivel de contaminación de una zona, más no la calidad de la lluvia, cuyos valores de contaminación varían en tiempo y espacio.

2 Antecedentes

2.1 Estado del arte

El muestreo de agua de lluvia es un recurso sumamente utilizado por todos los investigadores que pretenden aprovechar el agua de lluvia o investigar sus características con diversos fines, dentro de los diferentes métodos que se han utilizado, se pueden enumerar los siguientes:

Calheiros, Gomes, y Anco Estrella (2014) utilizaron una superficie plástica que permitía el escurrimiento de la lluvia en un recipiente de 10 L, del cual obtenían una muestra. Este método pretende obtener una muestra total de la lluvia y analizarla en conjunto.

Ospina y Ramírez (2014) utilizaron la caída directa de la lluvia sobre recipientes que se encontraban a cargo de diferentes personas distribuidas en un área, con el fin de obtener muestras significativas de la lluvia y vigilar que no se contaminen dichas muestras.

Rojas Valencia, Gallardo Bolaños y Martínez-Coto (2012) en su investigación sobre el aprovechamiento del agua de lluvia utilizaron un sistema de captación para llenar un contenedor de 120 L, a partir del cual obtuvieron muestras en bolsas estériles. De manera similar, Bedoya Montoya y Medina Restrepo (2016), en su investigación sobre el aprovechamiento del agua de lluvia en la elaboración de concreto, realizan el muestreo directamente de los tanques de recolección de un sistema de captación. De igual forma León, Córdoba y Carreño (2016) en su revisión del estado del arte de la captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos, mencionan muestreos realizados de manera directa en la captación.

Otros investigadores han optado por diseñar y construir modelos sencillos de muestreadores que les permiten tener un mejor control de las muestras, tal es el caso de Arias Hernández, Fuentes Galván, Ortiz Medel, y Carreño Aguilera (2017) que, en su estudio sobre la calidad del agua de lluvia en Guanajuato, diseñaron un prototipo consistente en una caja de acrílico que capta el agua de la lluvia, la cual es conducida por tubería de PVC hasta un recipiente de 8 L, todo soportado por una estructura de tipo tripie.



Ilustración 2.1-1 Dispositivo diseñado y utilizado para el análisis preliminar de la calidad del agua de lluvia en Guanajuato. (Arias Hernández et al., 2017)

Asimismo, Angeles Corte (1999) menciona que para su estudio acerca del crecimiento del amaranto en relación con la calidad del agua de lluvia, construyó un muestreador, que consistía en un embudo de polietileno, cubierto por una malla plástica para evitar la basura, el cual descargaba

en un recipiente de polietileno. El muestreador se encontraba soportado por una estructura metálica y consideraba un espacio para el resguardo de las muestras.

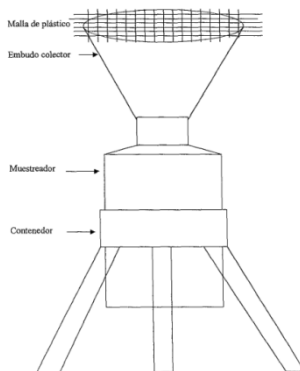


Ilustración 2.1-2 Esquema del muestreador utilizado para el estudio del crecimiento del Amarantho. (Angeles Corte, 1999)

Con soluciones similares, en los estudios de Khan y Sarwar (2014), sobre los contaminantes atmosféricos en la precipitación en Pakistán, y Doria Argumedo (2017), sobre la presencia de metales pesados en la lluvia en Colombia, se presentan diseños de muestreadores que permitieron a los investigadores obtener muestras que representaban toda la tormenta.

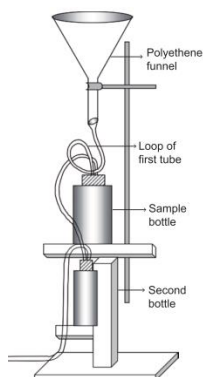


Ilustración 2.1-3 Esquema del muestreador utilizado por Khan y Sarwar en sus estudios en Pakistán. (Khan & Sarwar, 2014)

En el estudio “Composición iónica y niveles de acidez de las lluvias en Maracaibo, Venezuela, entre 1989 y 2001” los investigadores utilizaron dos diferentes técnicas de muestreo: en una primera etapa, en los años 1989 a 1999, utilizaron un prototipo diseñado por ellos mismos consistente en un embudo con soporte metálico que descargaba en un envase de polietileno, este embudo tenía una apertura manual, de manera que lo abrían al iniciar la lluvia y así evitar la contaminación; en una segunda etapa, años 2000 y 2001 utilizaron un muestreador automático que separa la deposición seca y la húmeda, fabricado por la empresa Andersen, este muestreador abre de forma automática la recolección de agua al inicio de una lluvia y la cierra al finalizar la misma, evitando la contaminación por deposición seca (Sánchez et al., 2009).

Lara et al. (2010) menciona en su estudio sobre la composición química de la lluvia en el noreste de México el uso de un muestreador automático de precipitación, que separa la deposición seca y

la húmeda, al abrir o cerrar los recipientes destinados a cada tipo de deposición, si está ocurriendo o no una precipitación.



Ilustración 2.1-4 Muestreador automático modelo TE-78-100 utilizado por Lara. Recuperado de <http://www.bihec.cn>

Fonseca Duarte, Gioda, Ziulli, y Duó, (2013), en su estudio sobre la contaminación atmosférica y la deposición húmeda en la Amazonia, mencionan el uso de un colector automático de deposición húmeda de la marca Eigenbrodt modelo NSA181/KD, para obtener muestras de la lluvia evitando la contaminación con partículas que caen previas a la tormenta, este dispositivo permite tomar una sola gran muestra semanal (modelo KE), dos muestras por semana (modelo KD) o bien 8 muestras a la semana (una cada día modelo KS).



Ilustración 2.1-5 Colector utilizado en el estudio en la Amazonia. Recuperado de <http://www.eigenbrodt.de>

A manera de resumen, Unfi y York (1976) clasifican los procedimientos de toma de muestras de lluvia de la siguiente forma:

- Bulk (muestreo total). Dispositivos siempre abiertos, captan todos los elementos que caen en un periodo de tiempo.
- Wet (muestreo húmedo). Dispositivos que abren cuando llueve, captan la deposición húmeda total en un periodo de tiempo.
- Wet/dry (muestreo húmedo y seco). Dispositivos que separan la deposición seca y húmeda totales en un periodo de tiempo.

Como se puede ver, el muestreo de agua de lluvia se ha enfocado en dispositivos totalizadores que captan el total de una lluvia en un periodo de tiempo determinado, sin encontrar indicios de algún método o dispositivo que permita fraccionar los eventos de tormenta y obtener así diferentes muestras en diferentes momentos para una sola tormenta.

3 Análisis de la secuencia de muestreo

Dado que se requiere segmentar una tormenta para poder estudiarla en diferentes momentos, se propusieron dos criterios prácticos para llevar a cabo dicha segmentación y obtener diferentes muestras, el muestreo por intervalos de tiempo y el muestreo por cantidad de lluvia o lámina de agua.

3.1 Muestreo por intervalos de tiempo

El muestreo por intervalos de tiempo implica que dentro de cierto intervalo de tiempo se obtendrá una muestra y posteriormente se hará el cambio a un nuevo recipiente, el diagrama de flujo de este tipo de muestreo se muestra a continuación:

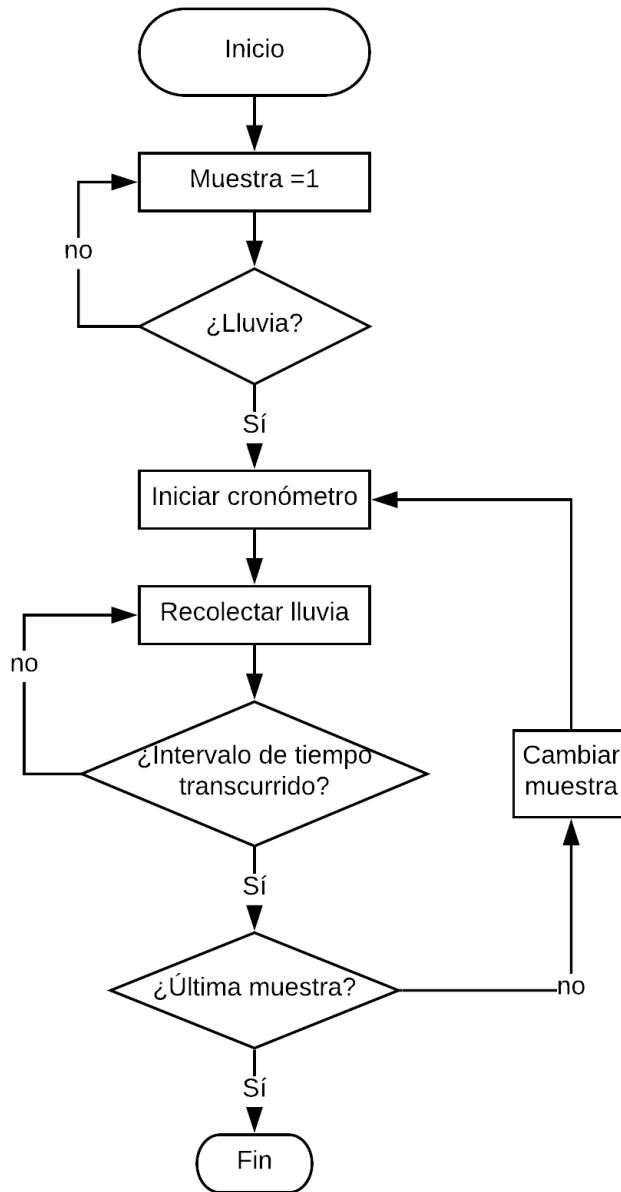


Ilustración 3.1-1 Diagrama de flujo muestreo por intervalo de tiempo. Elaboración propia

En este tipo de muestreo se obtiene un número de muestras determinado en un tiempo fijo, cada una de las muestras contiene un volumen diferente debido a la variación en la intensidad de la precipitación del evento.

3.2 Muestreo por cantidad de lluvia (lámina de agua)

El muestreo por cantidad de lluvia o lámina de agua implica que se obtendrán muestras con un volumen determinado, al completarse dicho volumen se hará el cambio a un nuevo recipiente, el diagrama de flujo de este tipo de muestreo se muestra a continuación:

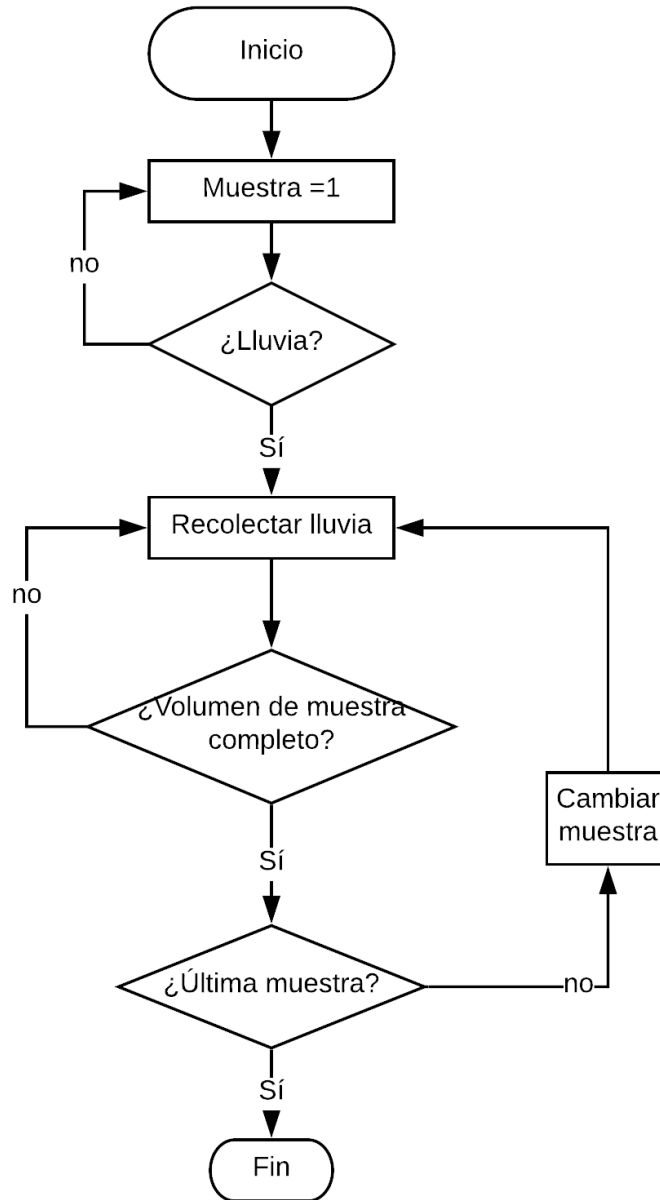


Ilustración 3.2-1 Diagrama de flujo del muestreo por cantidad de lluvia. Elaboración propia.

En este tipo de muestreo se obtiene un número de muestras determinado en un tiempo variable, cada una de las muestras contiene el mismo volumen, la variabilidad del tiempo de llenado de cada muestra y del tiempo total es debida a la variación en la intensidad de la precipitación del evento y de los diferentes eventos muestreados.

3.3 Análisis comparativo

Los dos tipos de muestreo analizados (por intervalos de tiempo y por cantidad de lluvia) dependen de la intensidad de la lluvia y de acuerdo con ella obtienen diferentes resultados, en la siguiente tabla se muestran las principales semejanzas y diferencias de los dos sistemas:

Tabla 3.3-1 Principales diferencias entre los sistemas de muestreo. Elaboración propia.

	Muestreo por intervalo de tiempo	Muestreo por cantidad de lluvia
Tiempo de llenado de la muestra	Fijo	Variable
Volumen de la muestra	Variable	Fijo
Capacidad total	Variable	Fija
Tiempo de muestreo total	Fijo	Variable
Excedencia de muestras	Si	No
Muestras vacías	Si	No
Registro "pluviográfico"	Si	No
Rango de muestreo	Tormentas de n minutos	Tormentas de n milímetros

Como se observa en la tabla existen muchas diferencias entre los dos sistemas de muestreo, pues se ven afectados de diferente manera por la intensidad de lluvia mientras que en el de intervalo de tiempo la intensidad de la lluvia determina el volumen de las muestras, en el sistema de cantidad de lluvia determina su tiempo de llenado.

En el sistema de intervalo de tiempo se muestrean las tormentas cuya duración es igual o menor al tiempo de diseño, pudiendo (con intensidades muy grandes) desbordar el tamaño de la muestra, o con lapsos en que la lluvia se detenga y luego continúe, muestras con poco volumen; en el sistema de cantidad de lluvia al tenerse siempre el mismo volumen en cada muestra no existe riesgo de desbordamiento, más que al alcanzar la capacidad de diseño en lluvias mayores a la precipitación de diseño, no se obtienen muestras vacías o con poca agua más que al haber terminado la lluvia la muestra que estaba en proceso de llenado y las muestras no utilizadas.

El sistema de intervalo de tiempo tiene la ventaja que nos muestra de manera similar a la de un pluviógrafo el comportamiento de la lluvia y serviría para obtener el comportamiento de la lluvia en relación con el tiempo y con la cantidad precipitada, con el inconveniente de que podrían obtenerse muestras muy pequeñas que no puedan caracterizarse o muestras muy grandes que no puedan almacenarse, además en "lluvias lentas" de larga duración y poca intensidad no lograría obtener muestras adecuadas ni caracterizar la lluvia en su totalidad.

El sistema de cantidad de lluvia tiene la ventaja de que siempre genera muestras con el mismo volumen, el cual se calibrará para poder realizar las pruebas necesarias, sus inconvenientes son que no nos muestra de forma directa la forma en que se desarrolló la lluvia (intensidad de lluvia) y que en lluvias muy grandes se excederá la capacidad y no se caracterizará la lluvia en su totalidad,

sin embargo con la incorporación de un sistema de conteo de tiempo de llenado puede subsanarse el primer inconveniente.

Los datos de monitoreo atmosférico proporcionados por la Secretaría del Medio Ambiente se muestran de manera cronológica en series de tiempo con intervalos de una hora, sin embargo, es posible obtenerlos, con fines de investigación, para intervalos más pequeños.

Considerando estas diferencias y la disponibilidad de la información y la necesidad de contar con muestras suficientes para realizar pruebas, se considera como la mejor opción realizar el muestreo por cantidad de lluvia, llevando un registro de los tiempos y horarios de llenado para correlacionar con los datos disponibles de la atmósfera.

4 Conceptualización de alternativas de dispositivos

4.1 Aspectos generales

Como principales parámetros de diseño, se requiere saber el número de muestras que el dispositivo será capaz de obtener y el volumen que dichas muestras tendrán, esto con el fin de realizar un dimensionamiento de los diferentes componentes y evaluar las diferentes alternativas, considerando el tamaño y peso que el dispositivo tendrá.

Además, se necesita conocer los requerimientos que se establecen en las normas para la obtención y el resguardo de las muestras, esto con el objetivo de que las muestras obtenidas por el dispositivo sirvan para caracterizar el agua de lluvia.

4.1.1 Número de muestras

Con el fin de predimensionar el dispositivo, se adoptó el criterio de tomar una muestra por cada milímetro de una tormenta de diseño, para calcular dicha tormenta se recurrió a datos estadísticos de lluvia en la ciudad de México obtenidos de una base de datos de estaciones climatológicas de México, a través del sistema CLICOM (<http://clicom-mex.cicese.mx/>).

Para la ciudad de México se cuenta con registros de 60 estaciones que han operado a lo largo del tiempo.

4.1-1 Estaciones climatológicas de la Ciudad de México y sus años de operación. Elaboración propia con datos del CLICOM

Estación	Año de inicio	Año final	Estación	Año de inicio	Año final
Ajusco	1961	1988	Moyoguarda	1921	1988
Aquiles Serdán	1933	1989	Playa Caleta 454 Colonia Marte	1968	2015
Calvario	1970	2016	Presa Ansaldo	1953	1988
Calle Salto	1964	1971	Presa Mixcoac	1953	1988
Tacuba 7	1962	1976	Presa Tacubaya	1953	1988
Cinzel	1953	1988	San Borja 726	1964	1970
Ciudad universitaria	2004	2009	San Francisco Tlalnepantla	1961	2015
Colonia Agrícola Oriental	1961	1988	San Gregorio Atlapulco	1961	1983
Colonia America	1969	2016	San Juan de Aragón	1953	2015
Colonia del valle	1949	1974	San Lorenzo	1969	1988
Colonia Escandon	1951	1988	Santa Ana Tlacotenco	1969	2015
Colonia Moctezuma	1966	1988	Colonia Santa FE	1969	1988
Colonia Santa Ursula Coapa	1971	2015	Colonia Tacuba	1961	1988
Rodano 14	1953	1996	Tacubaya Central (Obs)	1877	2016
Cuajimalpa	1967	1988	Tarango	1969	1988
Cuautepec Barrio Bajo	1970	1988	Lomas de Chapultepec	1955	1975
Desierto de los leones	1961	1987	Tlahuac	1961	2015
Desviación Alta al Pedregal	1952	2015	Unidad Modelo	1961	1981
Egipto 7	1959	1987	General Anaya	1952	1988
El guarda	1961	2015	Pedro Arvizu 36	1961	1970
Guadalupe Inn	1962	1974	Ixtacalco	1947	1966
Hacienda Peña Pobre	1961	1992	Vertedor Milpa Alta	1969	1985
Hacienda la Patera	1961	1996	Castañeda	1950	1970
Morelos 77	1955	1996	Vencedora 44	1961	1970
Gran Canal km 03 000	1961	1987	Chapultepec	1979	1988
Gran Canal km 06 250	1952	2015	Monte Alegre	1976	1983
La venta Cuajimalpa	1949	1985	Puente la Llave	1976	2015
Colonia Roma	1949	1971	Colonia Juárez	1975	1982
Milpa Alta	1929	2015	Campo experimental Coyoacán	1976	2007
Colonia Guerrero	1959	1987	Colonia Educación	1982	2015

Se tomarán dos criterios para la elección de la lluvia de diseño, Frecuencia de registro de una lluvia menor o igual y periodo de retorno.

Frecuencia de registro de una lluvia menor o igual

Una distribución de frecuencias o tabla de frecuencias indica como un conjunto de datos se divide en varias categorías (Triola, 2013).

Se revisó el registro histórico de todas las estaciones y se agruparon los datos de precipitación en intervalos de 1 mm (0-1mm, 1-2mm, ... 99-100mm) y se obtuvo la frecuencia con la que se registró una lluvia con esa cantidad de precipitación. Además, se obtuvieron las frecuencias relativas, frecuencias acumuladas y frecuencias relativas acumuladas.

No se consideraron los días de registro sin precipitación, pues nos interesa conocer la frecuencia de registro de los días con precipitación y no la frecuencia de la lluvia.

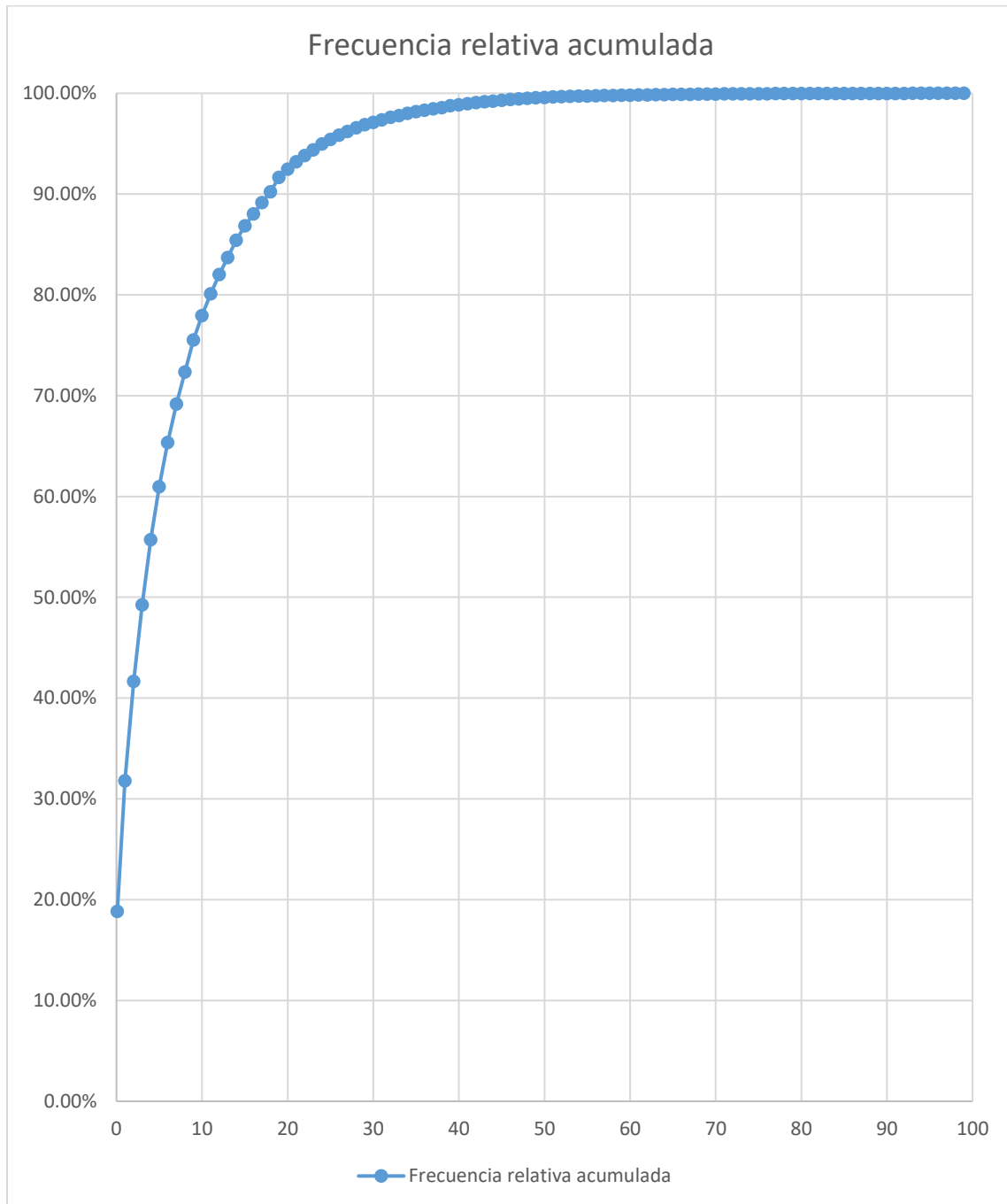
Esta información se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 4.1-2 Tabla de frecuencias de registro de precipitación de las estaciones climatológicas de la Ciudad de México.
Elaboración propia con datos del CLICOM.

Intervalo de precipitación (mm)		Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada	Intervalo de precipitación (mm)		Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
0.1	1	22136	18.83%	22136	18.83%	50	51	43	0.04%	117057	99.60%
1	2	15231	12.96%	37367	31.79%	51	52	45	0.04%	117102	99.64%
2	3	11593	9.86%	48960	41.66%	52	53	38	0.03%	117140	99.67%
3	4	8914	7.58%	57874	49.24%	53	54	37	0.03%	117177	99.70%
4	5	7609	6.47%	65483	55.72%	54	55	24	0.02%	117201	99.72%
5	6	6171	5.25%	71654	60.97%	55	56	21	0.02%	117222	99.74%
6	7	5146	4.38%	76800	65.35%	56	57	18	0.02%	117240	99.75%
7	8	4496	3.83%	81296	69.17%	57	58	28	0.02%	117268	99.78%
8	9	3735	3.18%	85031	72.35%	58	59	17	0.01%	117285	99.79%
9	10	3741	3.18%	88772	75.53%	59	60	18	0.02%	117303	99.81%
10	11	2826	2.40%	91598	77.94%	60	61	19	0.02%	117322	99.82%
11	12	2549	2.17%	94147	80.11%	61	62	17	0.01%	117339	99.84%
12	13	2258	1.92%	96405	82.03%	62	63	15	0.01%	117354	99.85%
13	14	1977	1.68%	98382	83.71%	63	64	14	0.01%	117368	99.86%
14	15	2032	1.73%	100414	85.44%	64	65	20	0.02%	117388	99.88%
15	16	1669	1.42%	102083	86.86%	65	66	10	0.01%	117398	99.89%
16	17	1387	1.18%	103470	88.04%	66	67	14	0.01%	117412	99.90%
17	18	1333	1.13%	104803	89.17%	67	68	9	0.01%	117421	99.91%
18	19	1238	1.05%	106041	90.23%	68	69	16	0.01%	117437	99.92%
19	20	1690	1.44%	107731	91.66%	69	70	11	0.01%	117448	99.93%
20	21	972	0.83%	108703	92.49%	70	71	6	0.01%	117454	99.94%
21	22	860	0.73%	109563	93.22%	71	72	4	0.00%	117458	99.94%
22	23	722	0.61%	110285	93.84%	72	73	6	0.01%	117464	99.95%
23	24	664	0.56%	110949	94.40%	73	74	7	0.01%	117471	99.95%
24	25	663	0.56%	111612	94.97%	74	75	6	0.01%	117477	99.96%
25	26	532	0.45%	112144	95.42%	75	76	5	0.00%	117482	99.96%
26	27	506	0.43%	112650	95.85%	76	77	3	0.00%	117485	99.96%
27	28	447	0.38%	113097	96.23%	77	78	6	0.01%	117491	99.97%
28	29	399	0.34%	113496	96.57%	78	79	1	0.00%	117492	99.97%
29	30	364	0.31%	113860	96.88%	79	80	4	0.00%	117496	99.97%
30	31	284	0.24%	114144	97.12%	80	81	7	0.01%	117503	99.98%
31	32	307	0.26%	114451	97.38%	81	82	2	0.00%	117505	99.98%
32	33	267	0.23%	114718	97.61%	82	83	2	0.00%	117507	99.98%
33	34	220	0.19%	114938	97.80%	83	84	1	0.00%	117508	99.98%
34	35	264	0.22%	115202	98.02%	84	85	1	0.00%	117509	99.98%
35	36	194	0.17%	115396	98.19%	85	86	4	0.00%	117513	99.99%
36	37	170	0.14%	115566	98.33%	86	87	1	0.00%	117514	99.99%
37	38	157	0.13%	115723	98.46%	87	88	2	0.00%	117516	99.99%
38	39	141	0.12%	115864	98.58%	88	89	1	0.00%	117517	99.99%
39	40	210	0.18%	116074	98.76%	89	90	1	0.00%	117518	99.99%
40	41	119	0.10%	116193	98.86%	90	91	3	0.00%	117521	99.99%
41	42	139	0.12%	116332	98.98%	91	92	0	0.00%	117521	99.99%
42	43	117	0.10%	116449	99.08%	92	93	1	0.00%	117522	99.99%
43	44	84	0.07%	116533	99.15%	93	94	2	0.00%	117524	100.00%
44	45	94	0.08%	116627	99.23%	94	95	0	0.00%	117524	100.00%
45	46	95	0.08%	116722	99.31%	95	96	2	0.00%	117526	100.00%
46	47	87	0.07%	116809	99.39%	96	97	1	0.00%	117527	100.00%
47	48	78	0.07%	116887	99.45%	97	98	1	0.00%	117528	100.00%
48	49	64	0.05%	116951	99.51%	98	99	0	0.00%	117528	100.00%
49	50	63	0.05%	117014	99.56%	99	100	0	0.00%	117528	100.00%

Las columnas frecuencia y frecuencia relativa indican, en este caso, el número de veces que se registró en las estaciones un valor dentro del intervalo, mientras que las columnas frecuencia acumulada y frecuencia acumulada relativa indican el número de veces que se registró en las estaciones un valor dentro del intervalo o debajo de él.

Utilizando como indicador la frontera superior del intervalo, para la frecuencia acumulada relativa, se puede realizar la siguiente gráfica:



Gráfica 4.1.1-1 Frecuencia acumulada relativa de registros de precipitación en la Ciudad de México. Elaboración propia con datos del CLICOM

Los deciles de cualquier distribución son los puntos que señalan el 10% de las observaciones menores y 10% de las mayores (Moore, 2005).

De esta manera se observa para cada decil los siguientes valores:

Tabla 4.1-3 Precipitación correspondiente a cada decil. Elaboración propia con datos del CLICOM

Decil	Lluvia máxima (mm)	Porcentaje de lluvias cubiertas
1	0.531	10%
2	1.090	20%
3	1.862	30%
4	2.832	40%
5	4.117	50%
6	5.816	60%
7	8.261	70%
8	11.951	80%
9	18.785	90%
10	98.000	100%

De esta manera se tiene que para tener cubiertos el 90% de los posibles registros se necesitaría diseñar para 19 mm de lluvia, sin embargo, debido a que se trata de un número primo se tomará como valor de diseño 18 mm que representa un 89.17% de los registros y se trata de un número con mayor facilidad de manejo al tratar cuestiones de simetría por ejemplo.

Periodo de retorno

El periodo de retorno de un evento se define como el inverso de la frecuencia de excedencia o no excedencia del evento y se expresa como (Musy & Higy, 2011):

$$T = \frac{1}{1 - F_x(X_x)}$$

Existen diferentes fórmulas y expresiones que permiten obtener el periodo de retorno de un evento, sin embargo una de las más sencillas y utilizadas es la fórmula de Weibull (Breña Puyol & Breña Naranjo, 2005):

$$T_r = \frac{n + 1}{m}$$

Donde n es el número total de registros y m es el número de orden.

Como complemento al análisis hecho mediante la distribución de frecuencias se analizó el periodo de retorno para el valor obtenido como valor de diseño (18 mm) en las estaciones climatológicas que cuentan con los registros más actuales:

Tabla 4.1-4 Estaciones climatológicas con datos recientes. Elaboración propia con datos del CLICOM.

Estación	Año de inicio	Año final
Calvario	1970	2016
Ciudad universitaria	2004	2009
Colonia America	1969	2016
Colonia Santa Ursula Coapa	1971	2015
Desviación Alta al Pedregal	1952	2015
El guarda	1961	2015
Gran Canal km 06 250	1952	2015
Milpa Alta	1929	2015
Playa Caleta 454 Colonia Marte	1968	2015
San Francisco Tlalnepantla	1961	2015
San Juan de Aragón	1953	2015
Santa Ana Tlacotenco	1969	2015
Tacubaya Central (Obs)	1877	2016
Tlahuac	1961	2015
Puente la Llave	1976	2015
Campo experimental Coyoacán	1976	2007
Colonia Educación	1982	2015

En estas estaciones se realizó un análisis de periodo de retorno para los valores registrados en todos sus años de funcionamiento. Esta vez sí se hizo uso de los registros con valor 0 mm pues en este análisis si interesa conocer la frecuencia con la que se presenta la precipitación y no la frecuencia de registro.

Al analizar para las estaciones climatológicas mencionadas, haciendo uso de la expresión de Weibull, se obtuvieron los resultados que se concentran en la siguiente tabla:

Tabla 4.1-5 Periodo de retorno para una precipitación de 18 mm. Tr en días. Elaboración propia con datos del CLICOM.

Estación	Tr para 18 mm
Calvario	24.63
Ciudad universitaria	24.48
Colonia America	23.33
Colonia Santa Ursula Coapa	31.07
Desviación Alta al Pedregal	22.83
El guarda	14.50
Gran Canal km 06 250	43.92
Milpa Alta	36.45
Playa Caleta 454 Colonia Marte	32.08
San Francisco Tlalnepantla	23.41
San Juan de Aragón	44.47
Santa Ana Tlacotenco	40.32
Tacubaya Central (Obs)	Sin datos
Tlahuac	47.88
Puente la Llave	80.13
Campo experimental Coyoacán	25.49
Colonia Educación	39.31
Promedio	34.64
Maximo	80.13
Minimo	14.50

De esta manera comprobamos que el valor de diseño se trata de una precipitación “muy frecuente” pues en promedio (para las estaciones seleccionadas) se iguala o excede cada 34.64 días, en otras palabras, una vez al mes aproximadamente ocurre una lluvia mayor.

Para el caso del dispositivo motivo de esta investigación, una lluvia mayor a la lluvia de diseño implica una excedencia a la capacidad del dispositivo, esto quiere decir que cualquier lluvia menor a la capacidad del dispositivo será muestreada por completo y las lluvias mayores se muestrearán solo durante los primeros 18 mm.

Por lo tanto, el dispositivo tendrá capacidad para muestrear 18 mm de lluvia, y considerando una muestra por cada milímetro, permitirá obtener 18 muestras.

4.1.2 Volumen de las muestras

Para determinar el volumen adecuado de las muestras se tomaron las siguientes consideraciones:

- El dispositivo debe ser capaz de adaptarse al tipo de prueba que el usuario requiera.
- El dispositivo debe ser portátil, es decir no debe contar con dimensiones muy grandes que impidan su transporte.

Para cumplir con estas consideraciones, se revisaron los documentos que norman las pruebas de laboratorio y la obtención de muestras para las mismas, estos documentos son:

a) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

Los Métodos Estándar es el texto estándar internacional para el análisis de aguas desde 1905, ofrece cientos de pruebas aprobados por EPA sobre las propiedades y la calidad del agua.

b) NORMA Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.

En esta norma se dan los procedimientos aprobados por la secretaria de salud para el muestreo de agua, los cuales debido a la jerarquía de la norma deben ser observados en todo el país de manera obligatoria.

c) Normas Mexicanas (NMX) publicadas por la secretaria de salud para el procedimiento de algunas pruebas.

Existen para los diferentes parámetros que señalan las NOM, normas mexicanas que describen los procedimientos y métodos a utilizar, así como las muestras requeridas.

A partir de la información contenida en cada uno de los documentos previamente descritos, se creó la siguiente tabla que muestra los diferentes parámetros a determinar en el agua y el volumen requerido de acuerdo con cada uno de ellos, además para la NOM y los Estándar Methods se incluye el tipo de envase necesario:

Tabla 4.1-6 Volumen de muestra requerido para diferentes pruebas. Standard Methods, NOM y NMX

NOM-230-SSa1-2002			Standard Methods		NMX's	
DETERMINACION	MATERIAL DE ENVASE	VOLUMEN MINIMO (mL)	Envase	Volumen	NMX	Volumen
Cianuros	p, v	1000	P, G	1000	NMX-AA-058-SCFI-2001	1000
Cloro residual	p, v	50	P, G	500	NMX-AA-100-1987	100
Cloruros	p, v	200	P, G	50	NMX-AA-073-SCFI-2001	100
Color	p, v	500	P, G	500	NMX-AA-017-1980	NORMA
Dureza total	p, v	100	P, G	100	NMX-AA-072-SCFI-2001	50
Fenoles	p, v PTFE	500	P, GPTFE	500	NMX-AA-050-SCFI-2001	2000
Fluoruros	P	500	P	100	NMX-AA-077-SCFI-2001	50
Hidrocarburos aromáticos (BTEX)	S	25				
Metales en general	p, v (A)	1000	P(A), G(A)	1000	NMX-AA-051-SCFI-2001	500
Nitratos	p, v	100	P, G	100	NMX-AA-079-SCFI-2001	500
Nitritos	p, v	100	P, G	100	NMX-AA-099-SCFI-2006	50
Nitrógeno amoniacal	p, v	500	P, G	500		
Olor	V	500	G	500	NMX-AA-083-1982	NORMA
pH	p, v	50	P, G	50	NMX-AA-008-SCFI-2016	500
Plaguicidas	s	1000	G (s)	1000	NMX-AA-71-1981	NORMA
Radiactividad alfa global	p,v	1000				
Radiactividad beta global	p,v	1000				
Sólidos	p, v	200	P, G	200	NMX-AA-034-SCFI-2015	600
Sodio	p, v	100				
Sulfatos	p, v	100	P, G	100	NMX-AA-074-SCFI-2014	100
Sustancias Activas al Azul de Metileno	p, v	250	P, G	250	NMX-AA-039-SCFI-2001	600
Temperatura	p, v	-	P, G	-	NMX-AA-007-SCFI-2013	De acuerdo al termómetro
Trihalometanos	S	25				
Turbiedad	p, v	100	P, G	100	NMX-AA-038-SCFI-2001	100
Yodo	v (ámbar)	50	P, G	500		
Acidez			P, G(B)	100	NMX-AA-036-SCFI-2001	500
Alcalinidad			P, G	200		
BOD			P, G	1000	NMX-AA-028-SCFI-2001	1000
Boro			P (PFTE)	100	NMX-AA-063-SCFI-2001	100
Bromuros			P, G	100		
Carbono organico			G (B)	100		
CO2			P, G	100		
COD (demanda química de oxígeno)			P, G	100	NMX-AA-030/1-SCFI-2012	10
Dióxido de cloro			P, G	500		
Clorofila			P, G	500		
Conductividad específica			P, G	500	NMX-AA-093-SCFI-2000	Según el aparato
Suceptibilidad a la cloracion			P, G	1000		
kjeldahl organico			P, G	500	NMX-AA-026-SCFI-2010	500
Aceites y grasas			G	1000	NMX-AA-005-SCFI-2013	1000
Compuestos organicos purgables			P, GPTFE	2x40		
Acidos/ Base neutrales			G (s) amber	1000		
Oxigeno disuelto			G BOD bottle	300	NMX-AA-012-SCFI-2001	300
Ozono			G	1000		
Fosfatos			G(A)	100		
Fosforo total			P, G	100	NMX-AA-029-SCFI-2001	500
Salinidad			G, selo de cera	240		
Silice			P (PFTE) o cuarzo	200	NMX-AA-075-1982	NORMA
Gas de lodos de digestion			G Gas bottle	-		
Sulfuros			P, G	100	NMX-AA-084-1982	100
Coliformes					NMX-AA-042-SCFI-2015	100
Color Platino Cobalto					NMX-AA-045-SCFI-2001	100

En la tabla anterior, para la NOM se expresa el volumen mínimo requerido para realizar las pruebas y el tipo de envase necesario para preservarlas (P para plástico, V para vidrio, (A) enjuagado con HNO₃, s vidrio enjuagado con solventes orgánicos, PTFE tapa de politetrafluoroetileno); para los Standard Methods, se incluye el volumen requerido y el tipo de envase también (P para plástico, G para vidrio (glass), (A) enjuagado con HNO₃, G(B) Vidrio de borosilicato, G(S) Vidrio enjuagado con solventes orgánicos; y para las NMX se incluye además del volumen requerido, la clave de la norma que describe el método para dicha prueba. Los recuadros vacíos indican que en dicho documento no existe referencia a ese parámetro. En el apartado de las NMX cuando en lugar de indicar un número se encuentra la palabra “NORMA” indica que la NMX en cuestión hace referencia a la NOM para el tamaño y tipo de muestra.

León, Córdoba y Carreño (2016) indican que los parámetros para medir la calidad de aguas lluvias en las áreas urbanas son: turbiedad, sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y metales pesados presentes en el agua.

En la investigación de Doria Argumedo (2017) se evalúa la presencia de metales pesados en forma de elementos traza en el agua de lluvia los cuales se presentan con mayor concentración en lluvias que ocurren al final de las sequías y en menor medida cuando la lluvia ha tenido continuidad durante varios días.

En el artículo de Rojas-Valencia, Gallardo-Bolaños y Martínez-Coto (2012) se establece la necesidad de realizar una caracterización biológica pues basados en investigaciones de Corea, Nigeria, Nueva Zelanda y otros países encuentran una importante presencia de indicadores biológicos en el agua de lluvia, como E.Coli y otros coliformes.

Al ver estas investigaciones y con base en la tabla elaborada, se determinó que un volumen adecuado capaz de satisfacer todas las pruebas necesarias para agua de lluvia es de un litro, sin embargo pensando en la portabilidad del dispositivo y considerando que solo la prueba de Demanda Bioquímica de Oxígeno requiere esa cantidad de agua y puede ser sustituida con una prueba de coliformes (100 ml necesarios) para evaluar agentes biológicos, se puede establecer un volumen económico de 500 ml para las muestras, permitiendonos hacer las siguientes pruebas:

Tabla 4.1-7 Pruebas realizables con 500 ml. NOM, Standard Methods y NMX

DETERMINACION	Volumen requerido (ml)	DETERMINACION	Volumen requerido (ml)
Cloro residual	50	Yodo	50
Cloruros	50	Acidez	100
Color	500	Alcalinidad	200
Dureza total	50	Boro	100
Fenoles	500	Bromuros	100
Fluoruros	50	Carbono organico	100
Hidrocarburos aromáticos (BTEX)	25	CO2	100
Metales en general	500	COD (demanda química de oxígeno)	10
Nitratos	100	Dióxido de cloro	500
Nitritos	50	Clorofila	500
Nitrógeno amoniacal	500	Conductividad específica	500
Olor	500	kjeldahl organico	500
pH	50	Oxígeno disuelto	300
Sólidos	200	Fosfatos	100
Sodio	100	Fosforo total	100
Sulfatos	100	Salinidad	240
Sustancias Activas al Azul de Metileno	250	Silice	200
Temperatura	De acuerdo al termómetro	Sulfuros	100
Trihalometanos	25	Coliformes	100
Turbiedad	100	Color Platino Cobalto	100

4.1.3 Resguardo de las muestras

En los diferentes documentos consultados se incluye el material requerido para la obtención de la muestra asociada a cada prueba, como se observa en la tabla 4.1-6, para las pruebas que se pueden realizar de acuerdo con la tabla 4.1-7 se presenta como resumen la siguiente tabla:

Tabla 4.1-8 Materiales requeridos para las diferentes pruebas. NOM y Standard Methods

DETERMINACION	Tipo de envase	DETERMINACION	Tipo de envase
Cloro residual	Plastico o vidrio	Yodo	Vidrio ambar
Cloruros	Plastico o vidrio	Acidez	Plastico o vidrio
Color	Plastico o vidrio	Alcalinidad	Plastico o vidrio
Dureza total	Plastico o vidrio	Boro	Plastico
Fenoles	Plastico o vidrio	Bromuros	Plastico o vidrio
Fluoruros	Plastico	Carbono organico	Vidrio
Hidrocarburos aromáticos (BTEX)	Vidrio	CO2	Plastico o vidrio
Metales en general	Plastico o vidrio	COD (demanda quimica de oxigeno)	Plastico o vidrio
Nitratos	Plastico o vidrio	Dióxido de cloro	Plastico o vidrio
Nitritos	Plastico o vidrio	Clorofila	Plastico o vidrio
Nitrógeno amoniacal	Plastico o vidrio	Conductividad especifica	Plastico o vidrio
Olor	Vidrio	kjeldahl organico	Plastico o vidrio
pH	Plastico o vidrio	Oxigeno disuelto	Vidrio
Sólidos	Plastico o vidrio	Fosfatos	Vidrio
Sodio	Plastico o vidrio	Fosforo total	Plastico o vidrio
Sulfatos	Plastico o vidrio	Salinidad	Vidrio
Sustancias Activas al Azul de Metileno	Plastico o vidrio	Silice	Plastico
Temperatura	Plastico o vidrio	Sulfuros	Plastico o vidrio
Trihalometanos	Vidrio	Coliformes	Plastico o vidrio
Turbiedad	Plastico o vidrio	Color Platino Cobalto	Plastico o vidrio

Se observó que los materiales requeridos son plástico o vidrio, siendo algunas veces exclusivo solo uno de ellos, por lo que el dispositivo deberá permitir la utilización de ambos materiales considerando que se puedan colocar uno u otro tipo de material.

Adicional al tipo de material la NOM y los Standard Methods indican la necesidad de mantener herméticas las muestras para prevenir su contaminación con otras muestras, por lo cual el dispositivo deberá garantizar dicho hermetismo.

4.2 Recursos mecánicos

Un mecanismo es un sistema de elementos dispuestos para transmitir movimiento en un modo predeterminado y que desarrolla fuerzas de muy baja intensidad y transmite poca potencia (Nápoles Alberro, 2012).

Estos mecanismos, pueden tener diferentes tipos de movimiento (Mabie & Reinholtz, 1998):

- Plano
- Helicoidal
- esférico
- Espacial

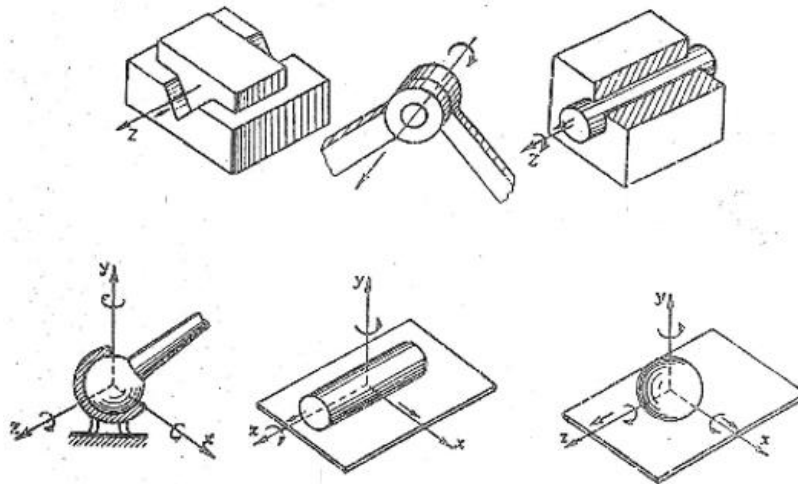


Ilustración 4.2-1 Tipos de movimiento (Kozhevnikov, Yesispenko, & Raskin, 1970)

Además del tipo de movimiento que tienen, en los mecanismos es necesario investigar el método mediante el cual se puede transmitir de un miembro a otro, para esto existen tres formas (Mabie & Reinholtz, 1998):

- a) Contacto directo entre los miembros
- b) Por medio de un eslabón intermedio o biela
- c) Por medio de un conector flexible como una banda o cadena

4.2.1 Mecanismos de contacto directo

Dentro de los mecanismos de contacto directo encontramos los engranajes, las levas y las transmisiones de fricción:

Engranajes

Los engranajes sirven para transmitir un movimiento rotativo entre dos ejes. La rotación se transmite por medio de engranajes cilíndricos, cuando los ejes son paralelos; por medio de engranajes cónicos, cuando los ejes se cortan; por medio de engranajes hiperboloides y de tornillo sin fin, cuando los ejes se cruzan formando cualquier ángulo (Kozhevnikov et al., 1970).

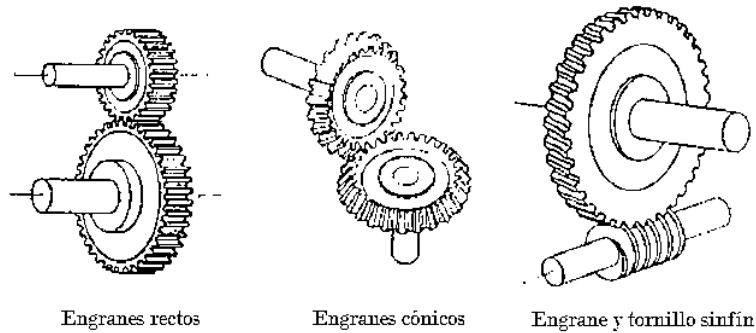


Figura 4.2—1. Engranajes (Mabie & Reinholtz, 1998)

Levas

Cuando el desplazamiento de un miembro de un mecanismo debe atenerse a una determinada ley de movimiento, así como su velocidad y aceleración; o bien, cuando dicho miembro debe detenerse temporalmente a pesar del movimiento continuo del miembro conductor, la solución más sencilla puede encontrarse en los mecanismos de levas. (Kozhevnikov et al., 1970)

Estos mecanismos poseen una gran diversidad de movimientos y enlaces entre diferentes componentes, entre los más importantes encontramos:

- Levas con seguidor de pie plano
- Levas con seguidor afilado
- Levas con seguidor de rodillo
- Levas de cuña y rodillo
- Levas cilíndricas

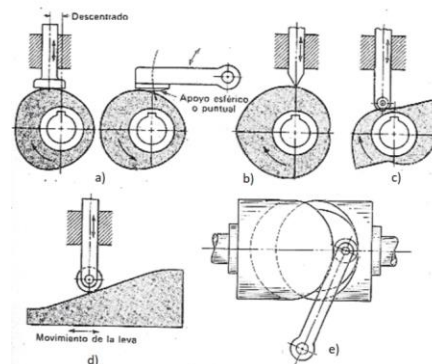


Ilustración 4.2-2 Levas (Shigley & Uicker, 1996)

Transmisiones de fricción

Son empleadas para transmitir un movimiento rotativo entre dos ejes paralelos o formando un ángulo. La rotación se transmite por la fuerza de rozamiento, que aparece como consecuencia de una presión entre los cuerpos en contacto (Kozhevnikov et al., 1970).

Entre los principales mecanismos de este tipo se encuentran:

- Transmisión de fricción con rodillos cilíndricos
- Transmisión de fricción con rodillos cuneiformes
- Transmisión de fricción con rodillos cónicos
- Transmisión frontal de fricción
- Transmisión con regulación automática de fricción
- Transmisión con acuñaado automático

4.2.2 Mecanismos con eslabón intermedio o biela

Respecto a los mecanismos con eslabón intermedio el más representativo es el mecanismo biela-manivela-corredera y resultan interesantes algunos mecanismos de movimiento intermitente:

Mecanismo biela-manivela-corredera

Es un mecanismo muy utilizado que permite convertir un movimiento angular en movimiento lineal o viceversa, su mayor aplicación se encuentra en el motor de combustión interna.

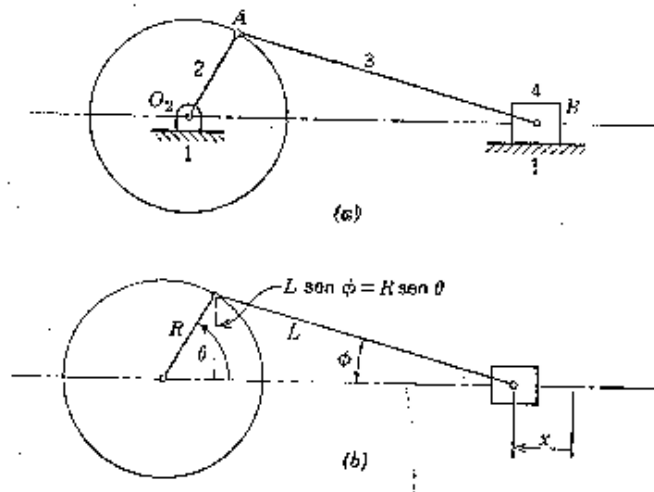


Ilustración 4.2-2 Mecanismo Biela-Manivela (Mabie & Reinholtz, 1998)

Rueda de Ginebra

Este mecanismo es muy útil para producir un movimiento intermitente, debido a que se produce un choque mínimo durante el acoplamiento. En la figura la placa 1 gira continuamente y cuando el perno motriz P embona con la ranura del miembro de la placa 2 se produce el movimiento. Si una de las ranuras está cerrada, se detiene el movimiento, a esto se le conoce como parada o tope de Ginebra. (Mabie & Reinholtz, 1998)

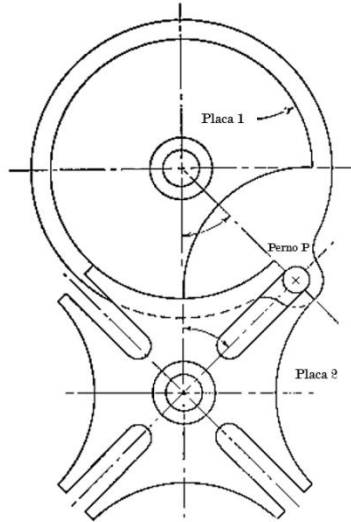


Ilustración 4.2-3 Rueda de Ginebra (Mabie & Reinholtz, 1998)

Trinquete

Este mecanismo se utiliza para producir un movimiento circular intermitente a partir de un miembro oscilatorio, en la figura se muestra el movimiento que el brazo transmite a la rueda dentada a través del trinquete número 3, al momento de invertir la dirección de giro del brazo el trinquete 5 impide que la rueda regrese y la obliga a permanecer en la última posición adoptada. (Mabie & Reinholtz, 1998)

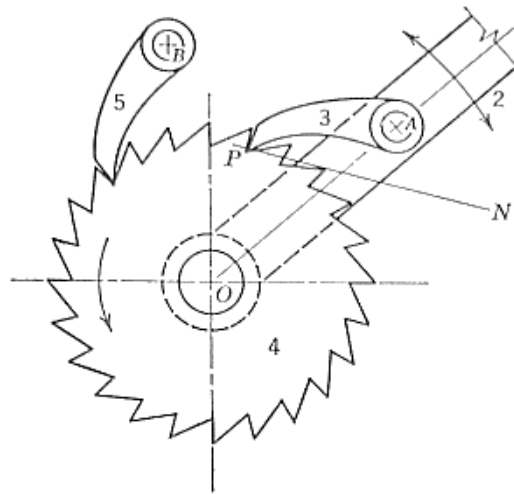


Ilustración 4.2-4 Trinquete (Mabie & Reinholtz, 1998)

Engranaje intermitente

Este mecanismo se aplica en casos donde las cargas son ligeras y el choque tiene poca importancia, la rueda motriz lleva un diente y el miembro a mover un número de dientes para producir el ángulo necesario de posicionamiento. (Mabie & Reinholtz, 1998)

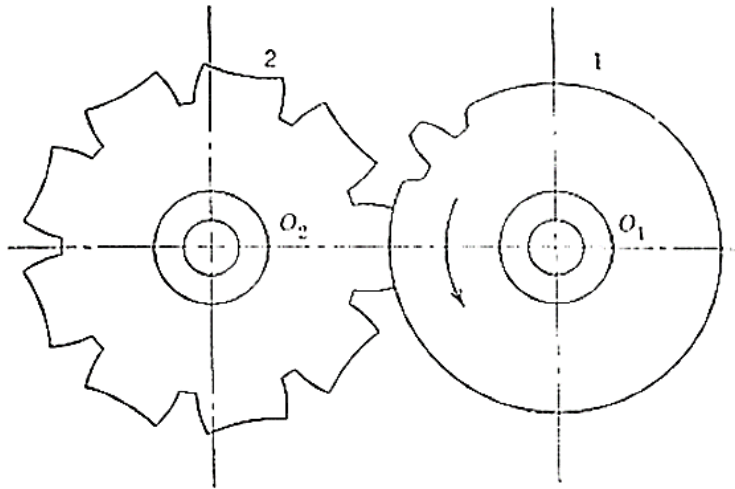


Ilustración 4.2-5 Engranaje Intermitente (Mabie & Reinholtz, 1998)

4.2.3 Mecanismos con conectores flexibles

Dentro de esta categoría los mecanismos principales son los mecanismos por correa y los mecanismos por cadena.

Mecanismos por correa

Para la transmisión de un movimiento rotativo entre arboles con ejes paralelos o que se cruzan, situados a una distancia relativamente grande uno del otro, se utilizan eslabones flexibles constituidos por correas, cuerdas o cordones. El enlace entre la correa y su polea se establece mediante la fuerza de rozamiento entre estos dos elementos, repartida sobre la superficie de contacto, que impide el deslizamiento de la correa sobre la polea (Kozhevnikov et al., 1970).

Existen diferentes tipos de bandas o correas, los principales son (Bolton, 2010):

- Plana. - Área transversal rectangular, se usa en poleas planas o con cejas para impedir que se salga de la guía.
- En V.- También conocida como trapezoidal, se usa en poleas de ranura, es posible usar muchas en una sola rueda.
- Redonda. - Área transversal circular, se usa en poleas de ranura.
- Dentada reguladora de tiempo. - Requiere ruedas dentadas donde los dientes encajen en las ranuras de las ruedas, no se estira ni se resbala por lo que transmite una velocidad angular constante.

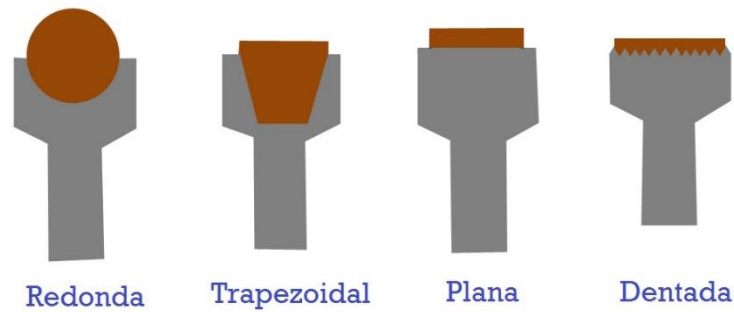


Ilustración 4.2-6 Tipos de correas. Torres Búa Manuel, recuperado de <https://www.edu.xunta.es>

Cadenas

Para evitar deslizamientos se utilizan cadenas que se traban en los dientes de los cilindros, esto equivale a un par de engranes conectados, la relación de engranaje es la misma que en un tren de engranes, permiten controlar varios ejes usando sólo una rueda, logrando una transmisión múltiple. (Bolton, 2010)



Ilustración 4.2-7 Cadena de transmisión. MecanESO 2005, recuperado de <http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/>

4.2.4 Frenos

Otro aspecto mecánico importante son los frenos, una vez determinado el medio de movilización es necesario determinar la manera de detener el movimiento de acuerdo con las necesidades del proyecto.

Los dispositivos de frenado existentes pueden dividirse en(Kozhevnikov et al., 1970):

- a) Frenos de discos
- b) Frenos cónicos
- c) Frenos de anillos expansibles
- d) Frenos de cinta

4.2.5 Cojinetes

Siempre que existe un movimiento rotatorio o de deslizamiento entre dos partes, las fuerzas de fricción producidas generan calor que desperdicia energía y provoca desgaste. La función de los cojinetes o rodamientos es guiar el movimiento de una parte respecto a la otra con la mínima fricción y máxima exactitud. Existen diferentes tipos de cojinetes (Bolton, 2010):

- a) De deslizamiento. - Se trata de soportes de materiales blandos y lisos que se encuentran lubricados por diferentes métodos.
- b) De bolas y rodillos. - Permiten la transferencia de apoyo a un contacto de rodadura en lugar de un deslizamiento, a través de rodamientos cilíndricos o esféricos atrapados entre dos pistas que giran simultáneamente al realizarse el movimiento, existen diferentes arreglos.

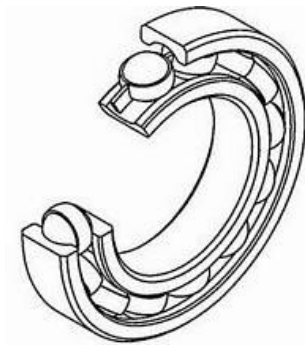


Ilustración 4.2-8 Rodamiento de bolas. Recuperado de <http://www.vc.ehu.es/Dtecnico/Temario.htm>

4.3 Recursos eléctricos

Al estudiar los sistemas eléctricos que se emplean como actuadores, se deben considerar (Bolton, 2010):

- Dispositivos de conmutación, como interruptores, relevadores, diodos, transistores, entre otros, en los cuales una señal de control enciende un aparato eléctrico.
- Dispositivos solenoides, en los que una corriente que pasa por un embobinado acciona un núcleo de hierro.
- Sistemas motrices, como los motores de corriente alterna y de corriente directa, donde la corriente que pasa por el motor produce una rotación.

4.3.1 Dispositivos de conmutación

Relevadores

Un relevador es un interruptor electromecánico. Tiene dos estados, ON y OFF (encendido y apagado). Se utiliza para conectar una línea eléctrica con contactos. Es el equivalente electromecánico de un interruptor operado de forma manual. Tiene dos partes principales (Cetinkut, 2007):

- Contactos para activar o desactivar la línea principal.

- Bobina para operar el mecanismo que mueve los contactos.

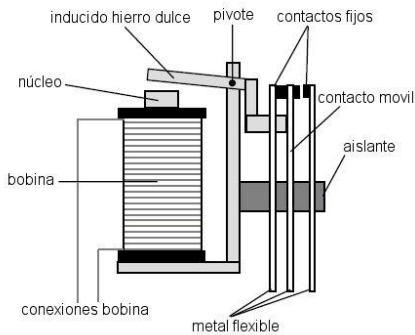


Ilustración 4.3-1 Partes principales de un relevador. Recuperado en https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rele_partes.jpg

Relevadores de retardo

Son relevadores de control y su acción produce un retardo que, por lo general, es ajustable y se inicia al pasar la corriente por el relevador o cuando deja de pasar por este (Bolton, 2010).



Ilustración 4.3-2 Diodo de retardo. Recuperado en <http://logica-digital.blogspot.mx/2007/11/suplemento-8-el-plc-diagramas-de.html>

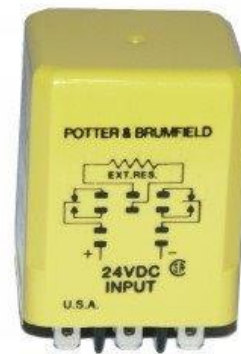


Ilustración 4.3-3 Diodo sin retardo. Recuperado en <http://logica-digital.blogspot.mx/2007/11/suplemento-8-el-plc-diagramas-de.html>

Diodos

Un diodo es un dispositivo con dos terminales. Funciona como un interruptor eléctrico que permite el flujo de corriente sólo en una dirección. De manera que funciona como una válvula de regulación direccional. Permite el flujo en una dirección cuando la presión está por arriba de un valor límite y bloquea el flujo en la dirección opuesta. Un diodo tiene tres regiones (Cetinkut, 2007):

- Región de polarización directa, el diodo actúa como un conductor o un circuito cerrado, para un voltaje mayor al voltaje de polarización directa del diodo.
- Región de polarización inversa, el diodo actúa como un aislante o un circuito abierto, para un voltaje menor al voltaje de polarización directa del diodo, pero mayor al voltaje de disrupción en sentido inverso del diodo.

- Disrupción en sentido inverso, el diodo actúa como un interruptor cerrado que permite una corriente muy grande en sentido inverso, para un voltaje menor al voltaje de disrupción en sentido inverso del diodo. Si esta corriente es mayor que el valor nominal del diodo, el componente fallará.

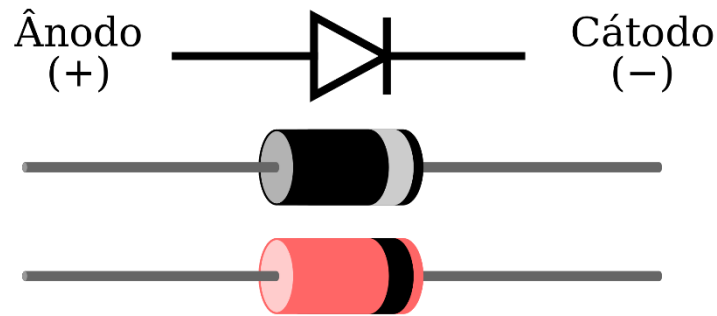


Ilustración 4.3-4 Esquema general de un diodo. Recuperado en https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diode_pinout_pt.svg

Otros dispositivos

Existen además de los mencionados, dispositivos con funciones especializadas y programables que nos permiten llevar a cabo diferentes tipos de control a través de la entrada de corriente o de diferentes potenciales eléctricos, algunos de ellos son:

- Diodos Zener
- Tiristores
- Tiristores bidireccionales o triacs
- Transistores
- Transistores de unión bipolar
- MOSFET's

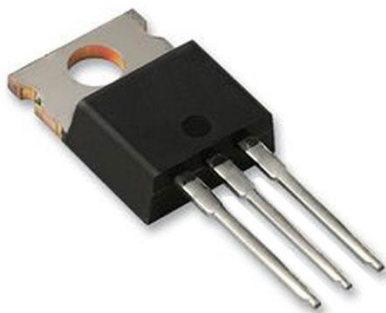


Ilustración 4.3-5 Tiristor. Recuperado en <https://sites.google.com/site/fpb2014julio/20-fpb-15---16/modulos-profesionales/equipos-electricos-y-electronicos/6-componentes-electronicos-activos/5-el-tiristor-y-el-triac>

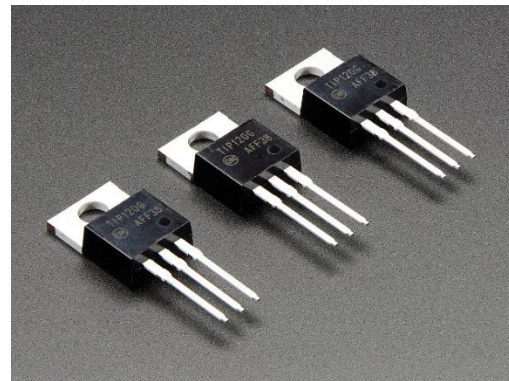


Ilustración 4.3-6 Transistores. Recuperado en <https://www.adafruit.com/product/976>

4.3.2 Solenoides

Un solenoide es un actuador de movimiento traslacional con un rango de movimiento limitado. Se emplean en válvulas de control de fluidos y en desplazamientos de rango pequeño. Un solenoide está compuesto de una bobina, un armazón, un núcleo móvil, un tope, un resorte de centrado en la mayoría de los casos y un carrete que sirve de soporte a la bobina enrollada (Cetinkut, 2007).

Cuando una corriente pasa por el embobinado del solenoide, el núcleo de hierro es atraído hacia dicho embobinado y, al hacerlo, abre o cierra puertas de válvulas, o genera movimiento de traslación en algún componente (Bolton, 2010).

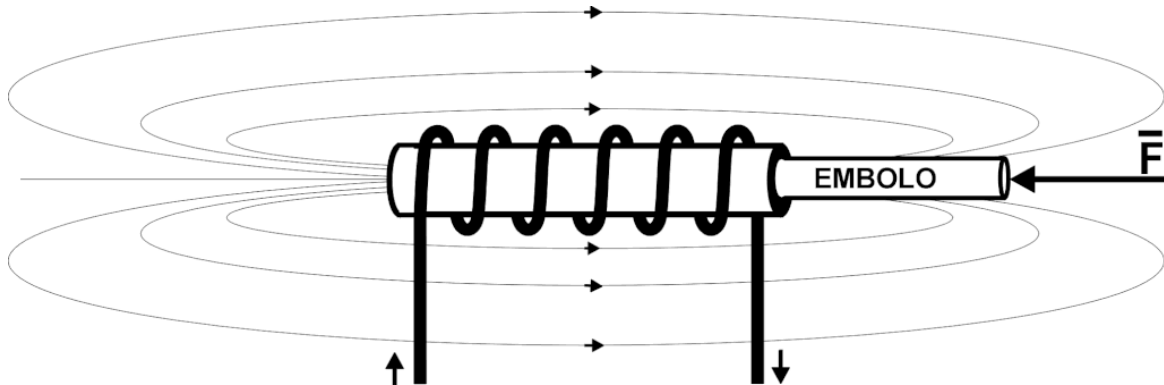


Ilustración 4.3-7 Esquema de funcionamiento de un solenoide. Recuperado en <https://www.330ohms.com/blogs/blog/113042692-solenoides-actuadores-mecanicos>

4.3.3 Motores

Los motores eléctricos con frecuencia se utilizan como el elemento final de un circuito de control de posición o velocidad. Estos pueden clasificarse en dos grandes grupos, motores de corriente directa (DC) y motores de corriente alterna (AC) (Bolton, 2010).

El principio de operación de cualquier motor implica uno o más de los tres fenómenos siguientes:

- Los polos magnéticos iguales se repelen y los diferentes se atraen.
- Los imanes atraen hierro y se mueven hacia campos magnéticos más fuertes.
- Los conductores portadores de corriente crean un electroimán.

Todos los motores tienen los siguientes componentes:

- a) Rotor en un eje (componente móvil)
- b) Estator (Componente estacionario)
- c) Caja (Con placas en los extremos para motores rotatorios)
- d) Dos cojinetes, uno en cada extremo para soportar el rotor en la caja.

Tradicionalmente, los motores de inducción de AC se han empleado en aplicaciones de velocidad constante, en tanto que los motores de DC se han empleado en aplicaciones de velocidad variable (Cetinkut, 2007)

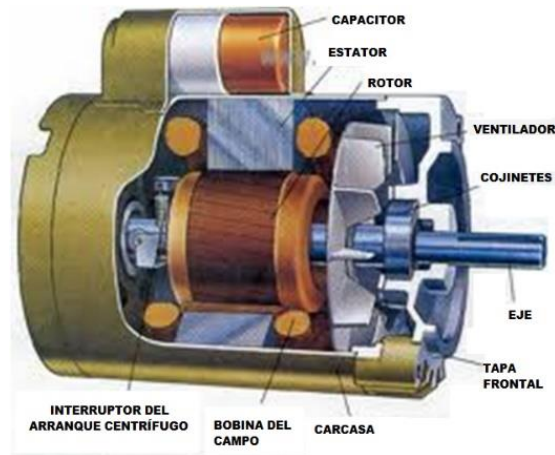


Ilustración 4.3-8 Partes de un motor eléctrico. Recuperado en <https://www.pinterest.es/pin/687080486870746688/>

4.4 Recursos electrónicos

En este estudio se considerarán como elementos o recursos electrónicos, aquellos dispositivos capaces de realizar tareas específicas a través de cierta programación. Dentro de esta definición tenemos:

- Sensores
- Actuadores
- Controladores

Estos tres componentes corresponden a una definición de sistema de control.

Un sistema de control puede considerarse como un sistema que se puede utilizar para (Bolton, 2010):

- Controlar alguna variable.
- Cambiar la secuencia de eventos.
- Controlar si ocurre o no un evento.

4.4.1 Sensores

El término sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo. Con frecuencia se utiliza el término transductor. Un transductor se define como un elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio relacionado. Entonces, los sensores son transductores.

Un sensor es análogo si ofrece una salida análoga y de esta manera cambia de forma continua de manera proporcional al tamaño de la variable que se está midiendo.

Un sensor es digital, cuando ofrece señales de encendido/apagado y arrojan un número cuyo valor se relaciona con la variable que se está midiendo (Bolton, 2010).

Las variables comunes que se deben medir en un sistema son (Cetinkut, 2007):

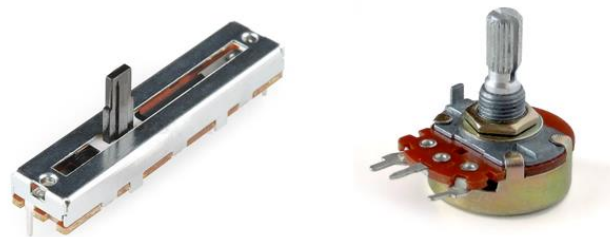
- Posición, velocidad, aceleración.
- Fuerza, par de torsión, deformación, presión.
- Temperatura
- Gasto
- Humedad

Sensores de posición

Hay dos clases de mediciones de longitud de interés: 1) posición absoluta (distancia entre dos puntos y 2) posición incremental (cambio en la posición). Si un sensor puede medir la posición de un objeto al momento de encendido, relativo a una referencia se denomina sensor de posición absoluta. Si el sensor no puede indicar la distancia del objeto desde una referencia al momento del encendido, pero puede seguir el cambio en la posición desde ese punto, se denomina sensor de posición incremental (Cetinkut, 2007).

Algunos tipos de sensores de posición son:

- Potenciómetro: Relaciona el cambio de posición con un cambio de resistencia eléctrica.



Lineal

Rotativo

Ilustración 4.4-1 Potenciómetros lineal y rotativo. Recuperado en <https://www.luisllamas.es/lectura-de-un-potenciometro-con-arduino/>

- Codificadores: Relacionan la posición de un objeto con la posición marcada del elemento codificador.

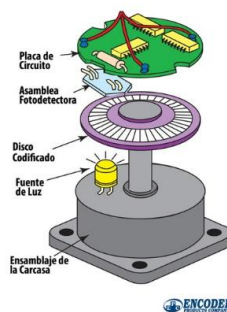


Ilustración 4.4-2 Esquema de funcionamiento de un codificador. Recuperado en <http://encoder.com/blog/encoder-basics/que-es-un-encoder/>

- Efecto Hall: Relaciona el cambio en el potencial inducido al cambiar el campo magnético debido a la posición.

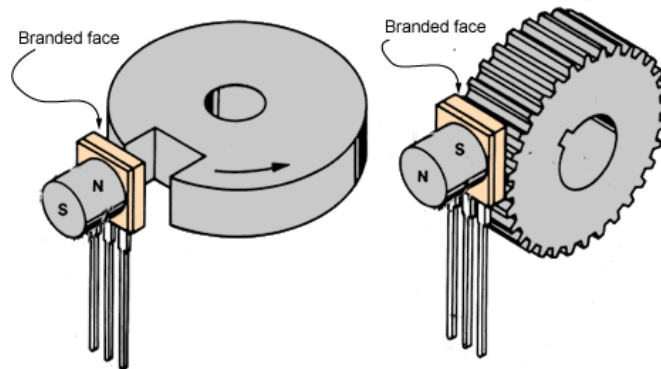


Ilustración 4.4-3 Arreglos de un sensor de efecto Hall. Recuperado en <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=363506.0>

- Sensores capacitivos: Miden la distancia entre el sensor y un “blanco” a través de la capacitancia.

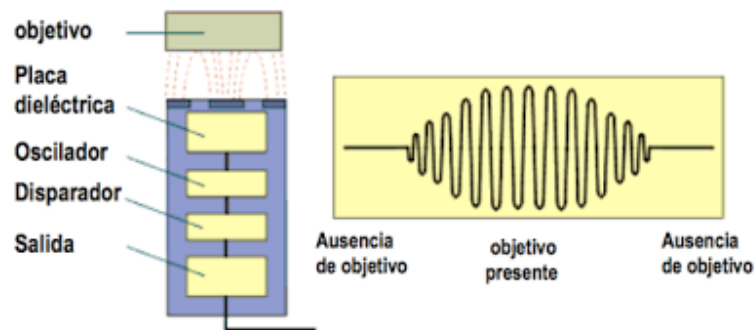


Ilustración 4.4-4 Principio de funcionamiento de un sensor capacitivo. Recuperado en <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-proximidad-capacitivo/>

- Sensores sónicos: Miden la distancia midiendo el tiempo entre la propagación de un sonido y el pulso de su eco.

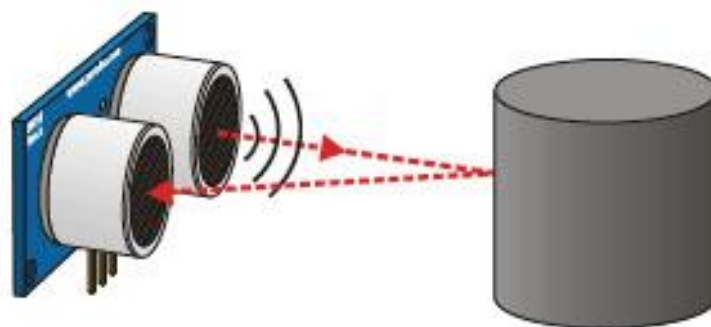


Ilustración 4.4-5 Sensor sónico. Recuperado en <http://tecnopatafisica.esy.es/tecno3eso/teoria/robotica/27-hcsr04>

- Sensores fotoeléctricos: Los hay de dos tipos, de presencia y de distancia, ambos analizan un haz de luz que se hace llegar a un receptor.

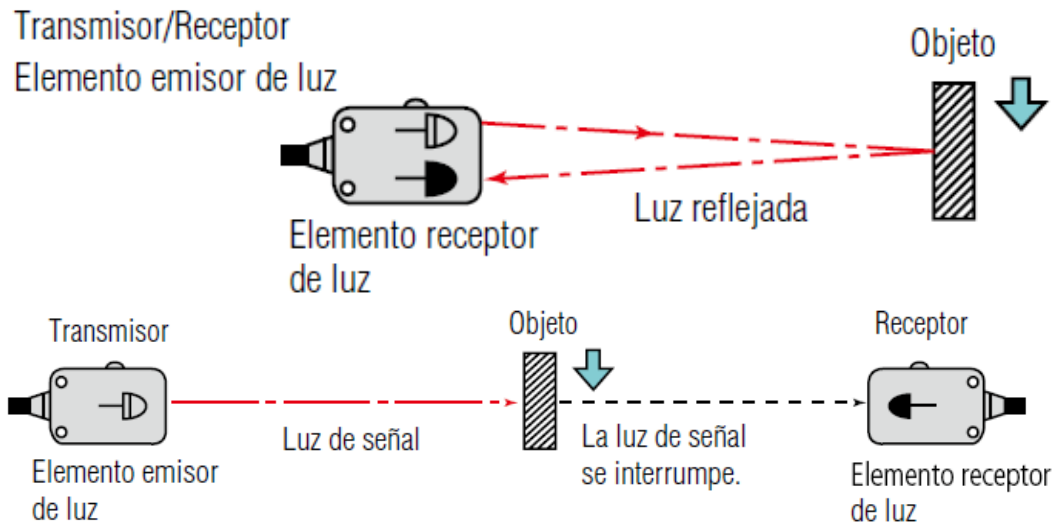


Ilustración 4.4-6 Sensor fotoeléctrico de posición (arriba) y de presencia (abajo). Recuperado en <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/photoelectric/info/>

Sensores de velocidad

De manera general, suelen usarse sensores de posición para a través del cambio de posición y el tiempo entre cada registro, obtener una medida de la velocidad, sin embargo, existen algunos sensores que permiten medir la velocidad de manera directa.

Un tacómetro es un sensor analógico que proporciona una salida proporcional a la velocidad de un eje, su construcción es idéntica a la de un motor de corriente directa y funciona de manera inversa, al producirle el movimiento, este genera una corriente inducida (Cetinkut, 2007).

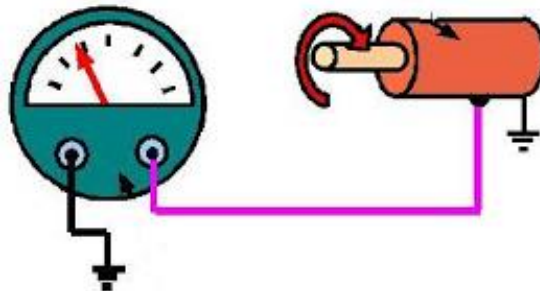


Ilustración 4.4-7 Funcionamiento de un tacómetro. Recuperado en <http://losdurosdelaavionica.blogspot.mx/>

Sensores de aceleración

Existen tres tipos principales de sensores de aceleración, basados en un principio diferente (Cetinkut, 2007):

- Acelerómetros inerciales, se basan en el movimiento de una masa en un resorte montado sobre el objeto al cuál se le medirá su aceleración.

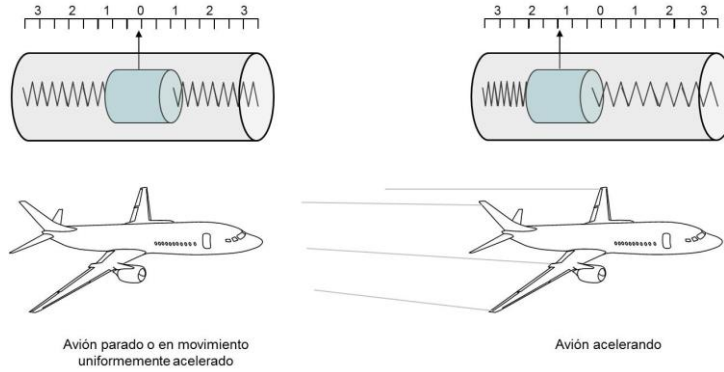


Ilustración 4.4-8 Modelo de funcionamiento de un acelerómetro inercial en un avión. Recuperado en <https://greatbustardsflight.blogspot.mx/2016/10/principios-de-la-navegacion-inercial-i.html>

- Acelerómetros piezoeléctricos, se basan en el uso de materiales piezoeléctricos, los cuales proporcionan una carga eléctrica proporcional a la deformación que a su vez es proporcional a la fuerza inercial y esta última a la aceleración.

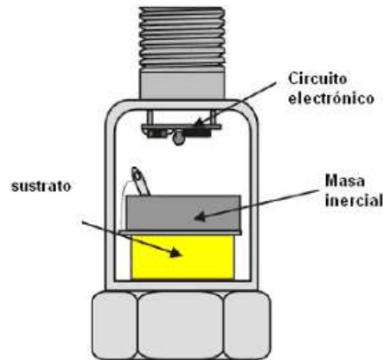


Ilustración 4.4-9 Esquema de un sensor piezoeléctrico. Recuperado en <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/acelerometro/>

- Deformímetros, se pueden usar mediciones de la deformación para traducirlas a valores de aceleración.

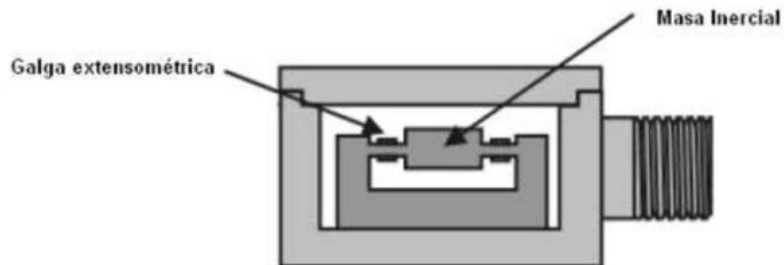


Ilustración 4.4-10 Esquema de un sensor de aceleración que funciona a través de un deformímetro. Recuperado en <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/acelerometro/>

Sensores de presión

Para medir la presión, se hace uso de diferentes fenómenos físicos (Cetinkut, 2007):

- Principio del barómetro, se mide la columna de mercurio que equilibra la presión y la presión atmosférica.
- Desplazamiento, relacionan el desplazamiento de un elemento con la presión ejercida sobre él.
- Deformímetros, relacionan la deformación sobre un diafragma con la presión ejercida.
- Piezoeléctricos, se basan en el uso de materiales piezoeléctricos, los cuales proporcionan una carga eléctrica proporcional a la deformación causada por la presión
- Capacitancia, el desplazamiento de un diafragma debido a la presión provoca un cambio en la capacitancia, el cual es detectado y convertido en una señal de salida.

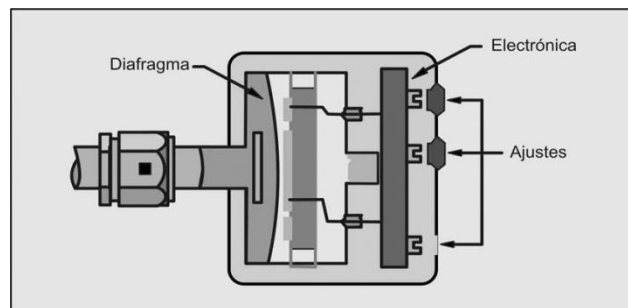


Ilustración 4.4-11 Esquema de un sensor de presión capacitivo. Recuperado en https://www.researchgate.net/figure/Figura-112-Esquema-de-un-sensor-capacitivo-de-presion-con-su-encapsulado_316675361

Sensores de temperatura

De forma general existen tres tipos de sensores de temperatura de acuerdo a su funcionamiento (Cetinkut, 2007):

- Sensores basados en el cambio dimensional, usa el principio de expansión y contracción de la materia en función de la temperatura, en materiales bimetálicos se puede convertir el cambio de dimensión en voltaje.

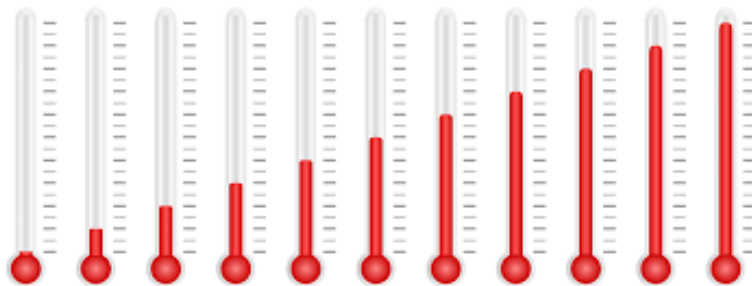


Ilustración 4.4-12 Termómetro de mercurio, un sensor de cambio dimensional simple. Recuperado en <https://pixabay.com/es/term%C3%B3metro-la-temperatura-medida-1917500/>

- Sensores basados en la resistencia, usa el principio de aumento o disminución de la resistencia eléctrica de ciertos materiales, dicha resistencia puede después ser transformada en voltaje.

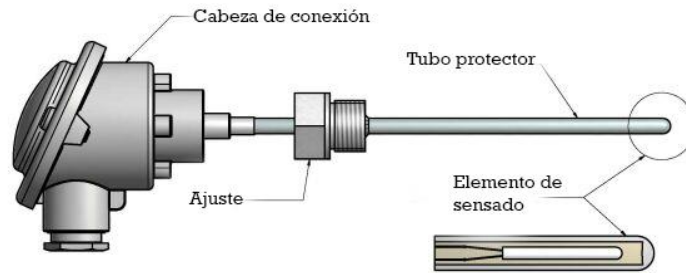


Ilustración 4.4-13 Esquema de un sensor de temperatura por resistencia. Recuperado en <http://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-temperatura-rtd/>

- Sensores basados en termopares, se basa en un fenómeno termoeléctrico en el cuál la diferencia de temperatura entre dos metales diferentes formando un circuito, es proporcional a la diferencia de potencial que se desarrolla.

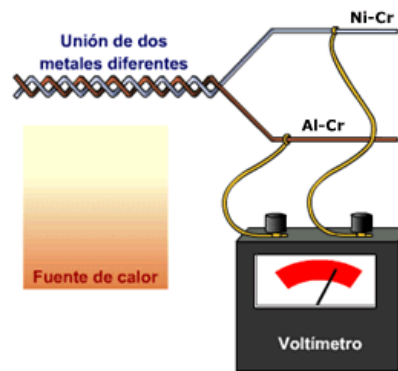


Ilustración 4.4-14 Diagrama de funcionamiento de un termopar. Recuperado en <http://www.uhv.es/sites/pecas/es/instrumentos.htm>

Sensores de gasto

Hay cuatro grupos principales de sensores para medir el gasto de un fluido (líquido o gas) pasando por un área transversal (Cetinkut, 2007):

- Sensores de gasto mecánicos.
 - Sensores de desplazamiento positivo. Funciona bajo el principio de que a cada revolución le corresponde un volumen definido de líquido.
 - Medidor de flujo de turbina. El fluido se hace pasar por una turbina de eje alineado a la dirección del flujo, la velocidad de la turbina es proporcional a la velocidad del flujo y por tanto al gasto.
 - Medidores de arrastre. Se inserta un deformímetro perpendicular al flujo, el cual mide la fuerza de arrastre del flujo, la cual es proporcional al gasto.

- Medidores de vórtice. Un objeto insertado genera vórtices a medida que el flujo pasa por su superficie, la frecuencia de generación de vórtices es proporcional a la velocidad del flujo.

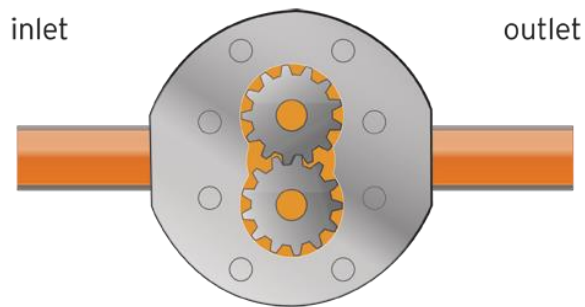


Ilustración 4.4-15 Sensor de desplazamiento positivo. Recuperado en <http://www.maxmachinery.mx/caudal%C3%ADmetros-con-desplazamiento-positivo>

b) Sensores de gasto de presión diferencial:

- Tubo de Pitot. Haciendo uso de la ecuación de Bernoulli, se puede conocer la velocidad del fluido sabiendo la presión en dos puntos del tubo de Pitot.
- Orificios de obstrucción. A través de un orificio estandarizado, al medir la diferencia de presión entre la entrada y la salida del orificio, el gasto es función de las presiones y la geometría del orificio.

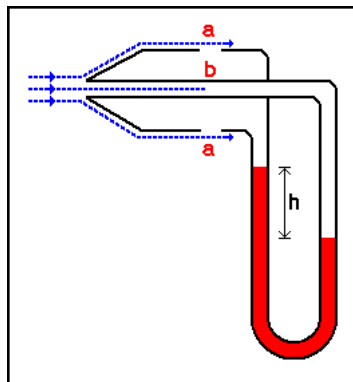


Ilustración 4.4-16 Diagrama de funcionamiento de un Tubo de Pitot. Recuperado en <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/tubo-pitot/>

c) Sensores de gasto térmicos:

El más común es el anemómetro de hilo caliente, se basa en la diferencia de temperatura entre dos cuerpos, al mantener constante la temperatura de uno de ellos (el hilo caliente) la temperatura del otro es función de la temperatura del fluido y la velocidad con la que pasa.

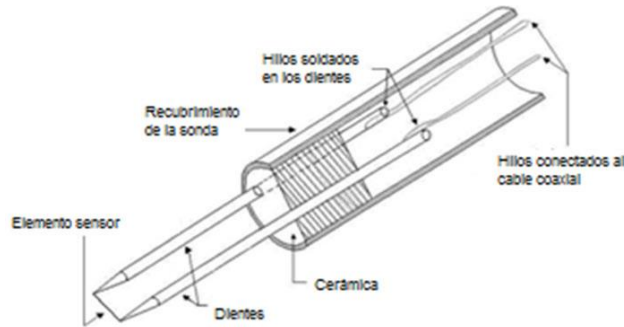


Figura 2. Diseño esquemático de una sonda, Fuente: QUEIROZ(2006) [14]

Ilustración 4.4-17 Diagrama de un sensor del tipo anemómetro de hilo caliente. Recuperado en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282014000100007

d) Sensores de flujo másico:

El sensor de flujo de Coriolis es el más conocido de este tipo y mide el flujo másico, no el volumétrico, por lo que es sensible a la temperatura, presión y viscosidad del fluido. Su funcionamiento se basa en la interacción de dos fuerzas, una excitación magnética inducida al tubo y una fuerza vibratoria ocasionada por el flujo, estas dos fuerzas crean un par de torsión que se puede medir y es proporcional al flujo másico.

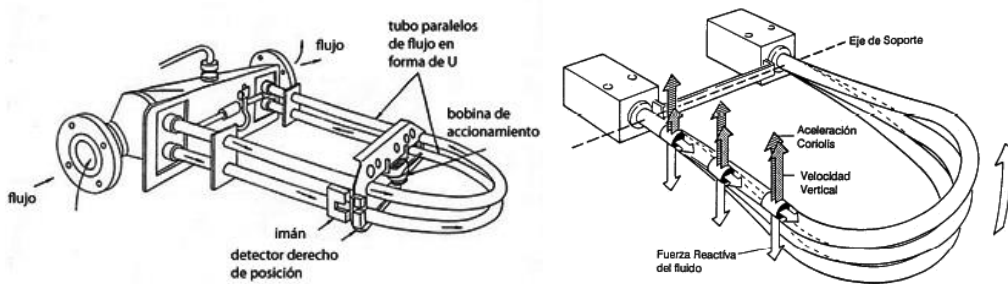


Ilustración 4.4-18 Partes del medidor de flujo de Coreolis y diagrama de funcionamiento. Recuperado en http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/instrumentacion_industrial6.php

Sensores de humedad

Existen diferentes métodos para medir o detectar la humedad, los sensores capacitivos usan polímeros en los cuales la capacitancia es función de la humedad en el material, en sensores resistivos se usan electrodos cuya resistencia cambia como función de la humedad. Existen además sensores de reflexión óptica, donde la humedad se mide al reflejar luz sobre una capa de condensación formada en un espejo enfriado (Cetinkut, 2007).

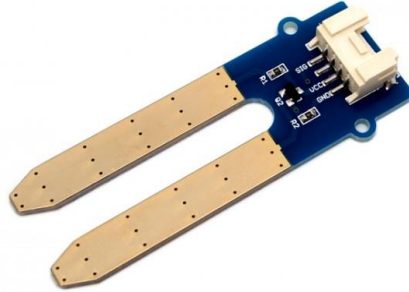


Ilustración 4.4-19 Sensor de humedad resistivo. Recuperado en <http://silicio.mx/sensor-de-humedad-grove>

4.4.2 Actuadores

Los actuadores o sistemas de actuación son los elementos que transforman la salida de un microprocesador o controlador en una acción para una máquina o dispositivo (Bolton, 2010).

Los sistemas de actuación pueden ser neumáticos (elementos que funcionan con aire comprimido), hidráulicos (elementos que funcionan con líquidos), mecánicos (como los analizados en el apartado de recursos mecánicos) o eléctricos (como los analizados en el apartado de recursos eléctricos).

Sistemas hidráulicos

En estos sistemas la potencia se transmite por un fluido presurizado. Si el control se realiza por medios eléctricos se denominan sistemas electrohidráulicos. Si se realiza por medios mecánicos, entonces se denominan hidromecánicos. Los sistemas hidráulicos tratan de la alimentación y control de presión, gasto y dirección del flujo del fluido (Cetinkut, 2007).

Algunos de los principales sistemas hidráulicos son:

- Bombas. Se utilizan para proporcionar presión al sistema y accionar los demás controladores, generalmente se emplean bombas de desplazamiento positivo.
- Válvulas Permiten controlar el paso del fluido, así como la presión del mismo.
- Cilindros hidráulicos. Son elementos que transforman la presión del fluido en movimiento lineal y en algunos casos a la inversa.
- Motores rotatorios. Son elementos que a través del flujo hidráulico producen una rotación controlada.

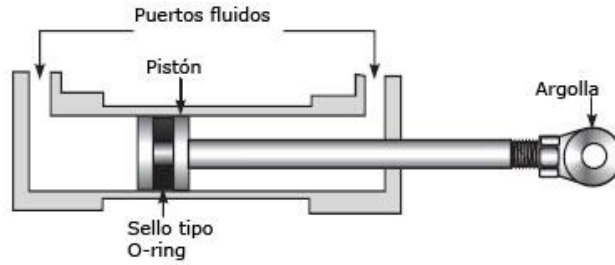


Ilustración 4.4-20 Cilindro hidráulico de doble efecto . Recuperado en http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm

Sistemas neumáticos

En estos sistemas un compresor de aire se encarga de crear un almacenamiento de aire a presión, del cual se abastecerán los sistemas, este compresor puede ser de diferentes tipos siendo muy popular el compresor recíprocante que simula el movimiento de un motor de combustión, de simple acción (con compresión en la parte superior únicamente) o doble acción (con compresión en la parte superior e inferior), otros tipos de compresor son el rotativo de vástago y el helicoidal rotatorio (Bolton, 2010).

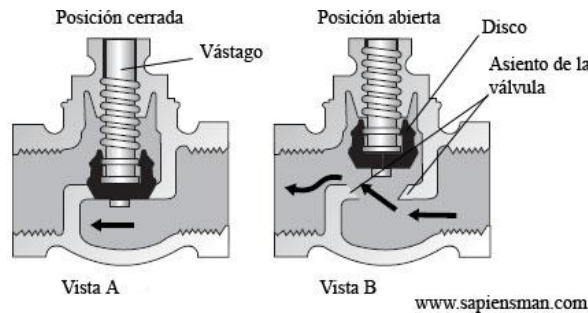


Ilustración 4.4-21 Funcionamiento de una válvula neumática. Recuperado en http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm

De manera similar a los sistemas hidráulicos, existen válvulas que permiten controlar o dirigir el flujo de aire y de esta manera accionar diferentes mecanismos tales como pistones y actuadores giratorios (similares a los hidráulicos).

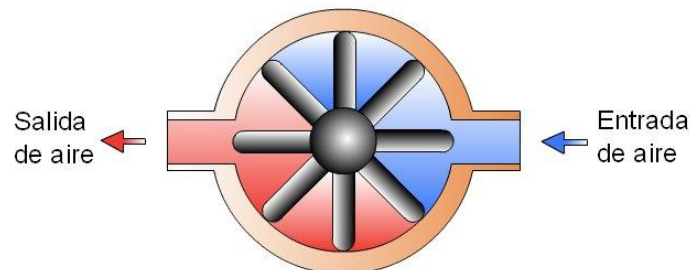


Ilustración 4.4-22 Esquema de un motor neumático de paletas. Recuperado en <https://tecnologiascp.wordpress.com/tecnologias-3/09-neumatica-e-hidraulica/>

4.4.3 Controladores

Existen dos tipos de sistema de control; el control de lazo abierto que se trata de un control simple de encendido o apagado y el control de lazo cerrado en donde se compara la salida de un sistema con la condición requerida y convertir el error que resulta en una acción de control diseñada para reducir el error, esto puede ser debido a algún cambio en las condiciones que se están controlando, o una modificación del valor de interés. Muchos procesos no solo necesitan controlar una variable, sino que incluyen una secuencia de operaciones. Esta secuencia puede estar basada en el reloj o basada en los eventos, o una combinación de estas. En el primer caso las acciones se realizan en tiempos específicos, y en el segundo caso cuando la retroalimentación indica que ha ocurrido un evento en particular (Bolton, 2010).

Dentro de los diferentes tipos de controladores existentes, algunos de los más usuales, por la facilidad de uso, son los microprocesadores y los controladores lógicos programables.

Un microprocesador es una computadora que a través del software realiza las interconexiones de los diferentes sistemas y componentes. Consta de tres partes esenciales, la unidad central de procesamiento (CPU), las interfases de entrada y salida (Puertos) y la memoria (Bolton, 2010).

Un controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo que usa una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas, de secuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas para controlar máquinas y procesos y diseñado específicamente para programarse con facilidad. Los PLC son similares a las computadoras, pero tienen características que permiten su empleo como controladores (Bolton, 2010):

1. Son robustos y están diseñados para resistir vibraciones, temperatura, humedad y ruido.
2. La interface para entradas y salidas está dentro del controlador.
3. Es muy fácil programarlos.

En el ámbito académico, es muy común el uso de microcontroladores de acceso libre y con facilidad en la programación y en su compatibilidad con sensores, los microcontroladores más populares en este ámbito son los de la línea Arduino.



Ilustración 4.4-23 Presentaciones diferentes del microcontrolador Arduino. Recuperado en http://www.minimizedmusicrecords.es/cursos_tutoriales/DIY_arduino/entorno_arduino.html

4.4.4 Sistemas de presentación de datos

En un sistema de control, en ocasiones es necesario registrar o mostrar alguno o algunos de los datos o variables que se miden, o bien de los resultados que se obtienen en los procesos, para este fin se consideran como otro tipo de elementos de salida los sistemas de presentación de datos.

Estos sistemas se han clasificado de manera tradicional en dos grupos: indicadores y grabadores. Los indicadores ofrecen una indicación visual instantánea de la variable mientras los grabadores registran la señal de salida sobre un periodo y ofrecen de manera automática un registro permanente (Bolton, 2010).

Algunos de los principales sistemas indicadores son las pantallas o displays, siendo los leds o luces indicadoras los sistemas más sencillos que al encenderse indican que el sistema está funcionando o no, mientras que las pantallas pueden encontrarse en sistemas led o de cristal líquido.



Ilustración 4.4-24 Display led de 2 dígitos. Recuperado en https://commons.wikimedia.org/wiki/File:7_Segment_LED.jpg

Dentro de los sistemas grabadores encontramos diferentes tecnologías como impresoras, grabadoras magnéticas y grabadoras ópticas.

4.5 Conceptualización de prototipos y evolución

Se desarrollaron conceptualmente 4 prototipos diferentes, basados en una idea inicial, que fue obtener diferentes muestras para diferentes momentos de una tormenta, bajo esta idea, y con base en los elementos descritos en capítulos anteriores y los dispositivos encontrados en la revisión del estado del arte, se llegó a diferentes ideas, que posteriormente fueron sometidas a una evaluación.

4.5.1 Muestreador manual

Consiste en una superficie de captación en forma de embudo o cono, este cono se encuentra colocado en un tripié que le permite sostenerse y adaptarse a la superficie de manera que el área de captación sea siempre horizontal, en el fondo o "punta" del cono el dispositivo cuenta con una válvula que permite coleccionar el agua en recipientes etiquetados, el proceso de muestreo es el siguiente:

1. Colocar el dispositivo en un lugar abierto sin interrupción de árboles o edificios altos cercanos.
2. Colocar un recipiente abierto debajo de la válvula de descarga del dispositivo.
3. Con ayuda de un cronómetro medir el tiempo transcurrido a partir del inicio de la lluvia.
4. Una vez iniciada la lluvia, a cada intervalo de tiempo asignado (5 min, por ejemplo) abrir la válvula y descargar el agua en el recipiente.
5. Con el cono vacío, cerrar la válvula.
6. Tapar el frasco con la muestra.
7. Colocar un nuevo frasco debajo de la válvula.
8. Esperar que transcurra nuevamente el intervalo de tiempo requerido.
9. Repetir los pasos 4, 5, 6, 7 y 8 hasta que finalice el evento.
10. Al terminar la lluvia resguardar las muestras para su análisis.

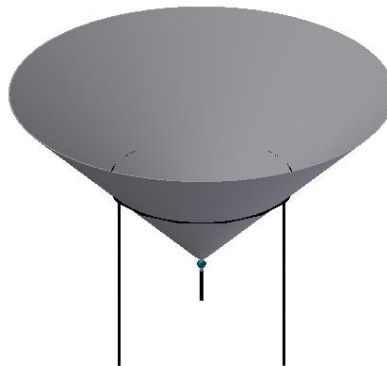


Ilustración 4.5-1 Esquema del prototipo de muestreador manual. Elaboración propia

4.5.2 Colector de lluvia en columna

Consiste en un dispositivo en forma de tubo muy largo, en el extremo superior cuenta con un cono que incrementa el área de captación y permite coleccionar una mayor cantidad de agua, el tubo se encuentra dividido en un número de secciones definido de acuerdo con la capacidad de diseño, cada sección se encuentra separada por una válvula de seccionamiento y cuenta además con una válvula de extracción. El agua de lluvia entra por la parte de arriba al ser captada por el cono y cae hasta la parte más baja, al transcurrir el intervalo de tiempo o al obtener la cantidad de agua

necesaria para la primera muestra, la válvula de seccionamiento se cierra, entonces el agua que sigue cayendo se almacena en la segunda sección la cual al transcurrir el intervalo de tiempo o bien llenarse al nivel determinado también se cierra y comienza a llenarse la siguiente sección. Este proceso se repite hasta llegar a la última sección (la más alta y próxima al cono) que al completarse también se cierra y la lluvia siguiente será desechada al derramarse por los bordes. Una vez terminada la lluvia a través de las válvulas de extracción se extraen las muestras en recipientes adecuados y se llevan al laboratorio o a su resguardo.

El sistema puede ser accionado de manera manual (válvulas mecánicas) o electrónica mediante un software y válvulas controladas electrónicamente ya sea por intervalos de tiempo o con el auxilio de electroniveles o sensores de llenado.

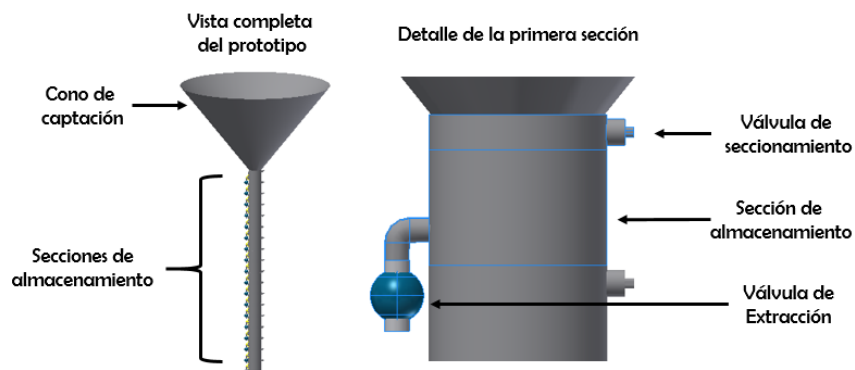


Ilustración 4.5-2 Esquemas del prototipo de colector en columna. Elaboración propia

4.5.3 Secuenciador múltiple de lluvia

Consiste en una serie de recipientes agrupados en forma radial, cuyas tapas se encuentran conectadas a un múltiple perforado con forma de cilindro con un hueco al centro; el agua de la lluvia es colectada por el cono y a través de una pieza denominada distribuidor es conducida al múltiple que se encarga de conducir el agua a cada recipiente. Para llevar a cabo el cambio de recipiente, se requiere que la pieza central denominada distribuidor ubicada en el centro del múltiple gire y se posicione en cada uno de los agujeros destinados a los diferentes recipientes, de manera que cada que se alcanza el nivel de muestra en un recipiente el distribuidor avance a la siguiente posición y comience a llenarse una nueva muestra. El último recipiente contará con un sistema de excedencia a través del cual saldrá el agua que ya no sea posible almacenar.

El sistema debe ser accionado de manera electrónica mediante un software que controla motores o solenoides, ya sea por intervalos de tiempo o con el auxilio de electroniveles o sensores de llenado.

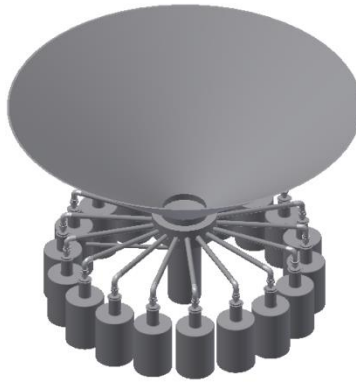


Ilustración 4.5-3 Esquema del prototipo del Secuenciador múltiple. Elaboración propia

4.5.4 Secuenciador rotatorio

Consiste en una estructura cilíndrica denominada charola dividida en porciones radiales, en cada porción existe en el extremo una ranura circular que permite colocar y fijar recipientes (probetas, vasos, etc.) sobre esta estructura se colocará a manera de tapa un cono no concéntrico, es decir la punta no apuntará al centro del círculo sino a una de las orillas, al centro de los recipientes, de esta manera el cono captará el agua de lluvia y la conducirá a los recipientes en la periferia de la charola. Mediante un motor girando a una velocidad muy lenta, se logrará que la charola cambie de posición los recipientes colectores de manera continua a cierto intervalo de tiempo, obteniendo así muestras que corresponderán a diferentes momentos del evento, al llegar a la posición final habrá un cortacorriente que interrumpirá la alimentación del motor y por tanto el movimiento de la charola, concentrando el resto de la lluvia en un último recipiente.

También puede incorporarse a este tipo de secuenciador un sistema electrónico en donde a través de un software y con ayuda de sensores de posición se cambie la rotación lenta por un cambio instantáneo de posición ya sea por un motor o por un solenoide, además se puede implementar un sistema de tapado automático una vez llenada la muestra y cambiada la posición.

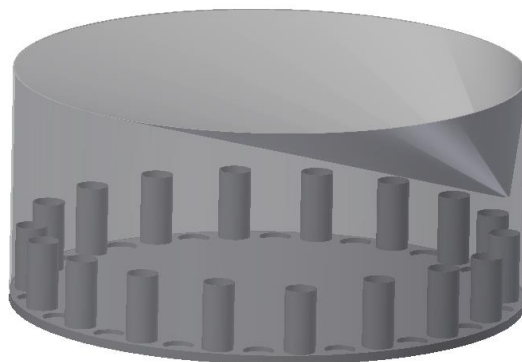


Ilustración 4.5-4 Esquema del prototipo del secuenciador rotativo. Elaboración propia

5 Evaluación de alternativas de prototipos

Para elegir la mejor alternativa, se llevó a cabo una evaluación basada en aspectos técnicos, operativos y económicos, de manera que el dispositivo a construirse cumpliera de la mejor manera con los requerimientos y se adaptara a la tecnología disponible.

5.1 Aspectos técnicos

En este rubro se analizó el funcionamiento interno de los diferentes prototipos, la manera en que cada uno de ellos cumplen con los requerimientos los cuales son:

- Número de muestras (18)
- Volumen de las muestras (500 ml)
- Hermetismo de las muestras
- Resguardo de las muestras

5.1.1 Muestreador manual

En este dispositivo el número de muestras está dado por el número de recipientes que el operario tenga a su disposición, de manera que el número es totalmente adaptable y sujeto a la disponibilidad de recipientes.

El volumen está determinado por la capacidad de los recipientes que pueden ser diferentes en cada muestra, de manera que está sujeto a la disponibilidad de los recipientes, sin embargo, el correcto llenado depende de la atención del operario.

El hermetismo se encuentra asegurado pues el operario cerrará cada recipiente una vez terminado su llenado, por lo que el hermetismo únicamente depende de la calidad del recipiente.

El resguardo de las muestras depende del material con que estén elaborados los recipientes, el cual puede cambiarse en cada evento.

5.1.2 Colector de lluvia en columna

El número de muestras se encuentra fijo de acuerdo con el número de apartados pudiéndose aumentar adicionando válvulas y apartados.

El volumen está determinado por la altura y diámetro de cada apartado, y su correcto llenado depende de los sensores colocados en cada uno de ellos.

El hermetismo se encuentra asegurado por las válvulas que separan a cada compartimiento, sin embargo, al tener una trayectoria descendente del agua, se corre el riesgo de contaminación en los compartimientos que se encuentran más arriba por parte de las primeras aguas que se almacenarán en la parte baja.

El resguardo de las muestras depende en primer lugar del material de los compartimientos, y posteriormente del material del recipiente a donde se realizará el vaciado al terminar el evento, en este proceso de vaciado se requiere un cuidado especial para evitar la contaminación de las muestras con el entorno.

5.1.3 Secuenciador múltiple

El número de muestras está fijo en relación con el número de recipientes y de espacios en el múltiple, de manera que no es posible aumentarlo de manera sencilla.

El volumen de las muestras se encuentra fijado por el recipiente para el cual se diseñen las conexiones y espacios, el correcto llenado de dichos recipientes depende del sensor que verifica el nivel dentro de cada recipiente durante la secuencia de llenado.

El hermetismo de las muestras depende del correcto ensamblado de la tapa del recipiente con el múltiple y del correcto sellado en el distribuidor para evitar la contaminación tanto ambiental como de otras muestras.

El resguardo de las muestras depende del material de los recipientes con que se diseñó el dispositivo y está reforzado por la carcasa del dispositivo lo cual le ofrece una protección de la luz y de las condiciones climáticas.

5.1.4 Secuenciador rotativo

El número de muestras está fijo en relación con el número de recipientes y espacios dentro del dispositivo, de manera que aumentarlo requiere de realizar un reacomodo de espacios, lo cual podría no ser sencillo de acuerdo con el volumen de cada recipiente.

El volumen de las muestras depende de los recipientes utilizados, los cuales podrían cambiarse adecuándose al espacio dentro del dispositivo, el correcto llenado de dichos recipientes depende del sensor encargado de monitorear el nivel en cada uno de ellos.

El hermetismo de las muestras es complicado debido a que se requiere un sistema complejo que permita colocar los tapones una vez llenado cada recipiente, además existe un lapso durante el recorrido entre el recipiente lleno y el que se llenará después donde el agua no caerá en ningún recipiente sino fuera de ellos.

El resguardo depende del material de los recipientes y está reforzado por la carcasa del dispositivo lo cual le ofrece una protección de la luz y de las condiciones climáticas.

5.2 Aspectos operativos

En este apartado se analizó el funcionamiento de los diferentes prototipos, desde el punto de vista de su interacción con el operador, de manera que se analiza el nivel de automatización, los requerimientos para ponerlo a funcionar, para mantenerlo operando, para extraer las muestras una vez terminada la tormenta y la preparación para volverlo a poner en funcionamiento.

5.2.1 Muestreador manual

Este prototipo como su nombre lo indica es manual y requiere la intervención de un operario para su correcto funcionamiento, dependiendo fundamentalmente de su habilidad y atención para el correcto llenado de los frascos, es posible automatizar la apertura y cierre de la válvula de paso sin embargo se necesita que el operador coloque los frascos y los cambie cuando estén llenos.

Para iniciar el muestreo se requiere colocar el dispositivo en un lugar adecuado, tener disponibles los recipientes que se usarán y colocar el primero de ellos bajo la salida de la válvula que debe

estar abierta, sin embargo, se debe actuar rápidamente a la colocación del equipo y del operador para asegurar que se capta toda la tormenta y no se pierda el inicio de la misma.

Durante el proceso de muestreo el operador participa activamente pues es el encargado de vigilar el llenado, de realizar las maniobras de cambio de recipiente y de cerrado de recipientes.

Al final del evento el operador se lleva los recipientes y, si se requiere, el equipo de manera que no existe una maniobra de extracción.

Como preparación para un nuevo evento, el equipo solo debe ser secado y verificar el correcto sellado de la válvula de cierre.

5.2.2 Colector de lluvia en columna

En este prototipo el operador tiene una menor participación, se cuenta con dos posibles formas de operación, manual y automática, dependiendo del equipamiento del dispositivo con válvulas mecánicas o electrónicas.

Para iniciar la operación se debe revisar que todos los compartimientos se encuentran vacíos, las válvulas de seccionamiento abiertas y las de extracción cerradas, no es necesario que el operador se encuentre desde el primer momento de la lluvia, pues la captación se lleva a cabo de forma directa, en el caso de la modalidad automática se debe asegurar el suministro de energía y verificar que el dispositivo se encuentra encendido.

Durante la operación en la modalidad manual se requiere que el operador se encuentre atento al llenado para cerrar correctamente cada compartimiento; en la modalidad automática no es necesaria la participación del operador en esta etapa, pues el software cierra las válvulas apoyado en los sensores y su programación.

Para la extracción de las muestras, el operador debe abrir las válvulas de extracción de cada compartimiento y de esta manera llevarlas a recipientes adecuados para su resguardo, esta operación conlleva riesgo de contaminación de las muestras por parte del operador al realizar la transferencia.

Como preparación para un nuevo evento, el equipo debe ser secado para evitar contaminación de los eventos pasados y se debe verificar el correcto sellado de todas las válvulas del sistema (36).

5.2.3 Secuenciador múltiple

En este prototipo el operador tiene una participación menor pues su funcionamiento es totalmente automático.

Para iniciar la operación el dispositivo debe estar colocado en el lugar de captación, se debe asegurar el suministro de energía y se debe verificar previamente el correcto armado de los componentes y que el sistema se encuentre encendido, asegurado lo anterior previamente no se requiere la presencia del operador, pues el sistema captará la lluvia de manera automática.

Durante la operación tampoco es necesaria la presencia del operador pues el software se encargará de realizar los cambios de recipiente y de verificar el correcto llenado de los mismos.

Para la extracción de las muestras el operador deberá desensamblar la carcasa del dispositivo y las uniones de los recipientes con el múltiple, posteriormente tapar adecuadamente los recipientes o bien realizar un transvase a otros recipientes y retirar las muestras.

Como preparación para un nuevo evento, el operador deberá colocar recipientes vacíos y verificar el sellado y lubricación de las partes que componen al dispositivo, así como secar o limpiar la superficie de captación.

5.2.4 Secuenciador rotativo

En este prototipo el operador también tiene una participación menor pues en el modelo controlado por software el funcionamiento es totalmente automático y en el modelo con motor solo se requiere activar el inicio del funcionamiento.

Para iniciar la operación el dispositivo debe encontrarse correctamente ensamblado y colocado, en el modelo controlado por software el inicio se realizará automáticamente sin necesidad de contar con el operador, mientras que en el modelo con motor se requiere que el operador inicie la secuencia de funcionamiento al detectar el inicio de la lluvia, además se debe asegurar para ambos modelos el suministro de energía y en el caso del modelo con software que el sistema se encuentre encendido.

Durante la operación de ambos modelos no es necesaria la participación del operador, pues esta se realiza de manera automática ya sea a través del funcionamiento del motor o bien mediante el software encargado de realizar los cambios de posición.

Para la extracción de las muestras el operador debe quitar el cono que sirve como captación y tapa y retirar los recipientes con las muestras, debido a la complejidad para colocar un sistema de tapado automático puede considerarse que no se realice y el operador deba cerrar las muestras antes de extraerlas.

Como preparación para un nuevo evento, el operador debe colocar recipientes vacíos en los lugares adecuados, secar y limpiar adecuadamente la superficie de captación y realizar el ensamblado correcto.

5.3 Aspectos económicos

En este apartado se realizará una evaluación preliminar considerando los costos aproximados de los principales y más costosos componentes de cada prototipo.

5.3.1 Muestreador manual

Sus principales componentes son:

- Cono de captación. Preliminarmente elaborable con policarbonato celular
- Válvula esférica. Preliminarmente se considerará una medida de $\frac{3}{4}$ de pulgada
- Soporte. Tentativamente elaborable con perfil de acero

Tabla 5.3-1 Presupuesto estimado de los componentes principales del muestreador manual. Elaboración propia. Precios indicativos

Muestreador manual			
Componente	Cantidad	Precio unitario	Importe
Cono de captación	1	\$ 866.00	\$ 866.00
Válvula esférica	1	\$ 67.00	\$ 67.00
Soporte	1	\$ 620.00	\$ 620.00
Total			\$ 1,553.00

5.3.2 Colector de lluvia en columna

Sus principales componentes son:

- Cono de captación. Preliminarmente elaborable con policarbonato celular
- Compartimientos de almacenamiento. Preliminarmente elaborables con tubería PVC de 3 pulgadas
- Válvulas de seccionamiento. Se considerarán válvulas de 3 pulgadas de accionamiento manual y automático
- Válvulas de extracción. Preliminarmente se considerarán válvulas de compuerta de ½ de pulgada

Tabla 5.3-2 Presupuesto estimado de los principales componentes del colector en columna. Elaboración propia. Precios indicativos

Colector de lluvia en columna (manual)			
Componente	Cantidad	Precio unitario	Importe
Cono de captación	1	\$ 866.00	\$ 866.00
Tubo PVC 3 pulgadas	1	\$ 150.00	\$ 150.00
Valvulas de seccionamiento	18	\$ 462.00	\$ 8,316.00
Válvulas de extracción	18	\$ 35.00	\$ 630.00
Total			\$ 9,962.00
Colector de lluvia en columna (automático)			
Componente	Cantidad	Precio unitario	Importe
Cono de captación	1	\$ 866.00	\$ 866.00
Tubo PVC 3 pulgadas	1	\$ 150.00	\$ 150.00
Valvulas de seccionamiento	18	\$ 2,500.00	\$ 45,000.00
Válvulas de extracción	18	\$ 35.00	\$ 630.00
Total			\$ 46,646.00

5.3.3 Secuenciador múltiple

Sus principales componentes son:

- Cono de captación. Preliminarmente elaborable con policarbonato celular

- Distribuidor. Preliminarmente se considerará una pieza de cilíndrica de 10 cm de diámetro y 5 de altura elaborada por impresión 3d
- Tubería de distribución. Preliminarmente se considerará tubo de PVC de ½ pulgada y accesorios para la misma tales como codos de 90° y adaptadores insertables
- Recipientes de almacenamiento. Preliminarmente se considerarán frascos para laboratorio
- Motor. Preliminarmente se considerará un motor a pasos de 12V
- Controlador. Preliminarmente se considerará un controlador Arduino UNO

Tabla 5.3-3 Presupuesto estimado de los principales componentes del secuenciador múltiple. Elaboración propia. Precios indicativos

Secuenciador múltiple			
Componente	Cantidad	Precio unitario	Importe
Cono de captación	1	\$ 866.00	\$ 866.00
Distribuidor	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Tubo PVC 1/2	1	\$ 35.00	\$ 35.00
Codos 90°	18	\$ 3.00	\$ 54.00
Adaptador para insertar	18	\$ 6.50	\$ 117.00
Fracos para laboratorio	18	\$ 47.00	\$ 846.00
Motor a pasos	1	\$ 200.00	\$ 200.00
Arduino UNO	1	\$ 460.00	\$ 460.00
Total			\$ 3,078.00

5.3.4 Secuenciador rotativo

Sus principales componentes son:

- Cono de captación. Preliminarmente elaborable con policarbonato celular
- Recipientes de almacenamiento. Preliminarmente se considerarán frascos para laboratorio
- Motor. Preliminarmente se considerará un motor a pasos de 12V

Tabla 5.3-4 Presupuesto estimado de los principales componentes del secuenciador múltiple. Elaboración propia. Precios indicativos

Muestreador manual			
Componente	Cantidad	Precio unitario	Importe
Cono de captación	1	\$ 866.00	\$ 866.00
Fracos para laboratorio	18	\$ 47.00	\$ 846.00
Motor a pasos	1	\$ 200.00	\$ 200.00
Arduino UNO	1	\$ 460.00	\$ 460.00
Total			\$ 2,372.00

5.4 Selección del prototipo

Considerando los análisis realizados para cada prototipo, se encontró que el dispositivo más adecuado era el secuenciador múltiple, pues de forma económica resuelve el problema del

hermetismo de las muestras y la automatización, además sus características lo hacen fácil de transportar y de colocar en diferentes lugares.

6 Diseño del dispositivo

De acuerdo con las características del prototipo seleccionado y las necesidades del proyecto, el diseño se dividió en diferentes áreas, empezando con la elección de los posibles materiales a utilizar, posteriormente realizando el diseño de los elementos de cada área y llegando finalmente a una integración tanto de los sistemas y elementos como de los materiales.

Para el diseño del dispositivo, se considerará su división en sistemas:

- Sistema de captación
- Sistema de distribución
- Sistema de almacenamiento
- Sistema de monitoreo y control
- Sistema de soporte y protección

Los planos definitivos de los componentes diseñados, así como las fichas técnicas de los componentes comerciales seleccionados, se encuentran en la parte de anexos.

6.1 Elección de materiales

Para la elección de los materiales se considerarán tres categorías:

- Materiales para almacenamiento de las muestras
- Materiales para la conducción del agua
- Materiales auxiliares

Se han agrupado en estas tres categorías a los elementos, pues de acuerdo con estas tres funciones dentro del dispositivo se requieren diferentes materiales con propiedades adecuadas para cumplir dicha función. Dentro de este capítulo se analizaron los materiales que podrían ser usados y, posteriormente, dentro del diseño específico de cada elemento se elegirá, de entre ellos, el más adecuado o disponible para cada aplicación.

6.1.1 Materiales para el almacenamiento de las muestras

De acuerdo con el apartado 4.1.3 (Resguardo de las muestras) del presente trabajo y como se observa en la tabla 4.1.8 (Materiales requeridos para las diferentes pruebas), la normatividad nacional e internacional señala para cada prueba un material recomendado para la obtención y resguardo de la muestra, siendo los más usuales los materiales plásticos, como el polietileno y el polipropileno, y el vidrio ya sea en color transparente o ámbar.

En el mercado de materiales para laboratorio es posible encontrar frascos y botellas para el muestreo de agua y de los materiales requeridos por las normas, de manera que se dispone de una variedad de modelos que podrían ser utilizados.

De manera ilustrativa, un proveedor de material de laboratorio (PROLAB) ofrece, entre otros los siguientes productos:

- Frasco De Polipropileno Autoclaveable 500ML, marca ISOLAB



- Frasco Graduado De Polietileno 500ML, marca Kartell



- Frasco de vidrio claro 500ml boca ancha con tapón esmerilado, marca LUZEREN



6.1.2 Materiales para la conducción de agua

Considerando los requerimientos para el almacenamiento de las muestras, se encontró necesario utilizar materiales similares en aquellos elementos por donde circula el agua. Dada la dificultad y riesgo de ruptura que tiene el vidrio, los materiales más adecuados para ser usados como medio de conducción son los materiales plásticos, mismos que aseguran no cambiar las propiedades del agua que se está muestreando.

Dentro de los elementos a utilizar se encuentran tuberías y superficies.

En el caso de las tuberías, en el mercado se pueden encontrar fácilmente materiales como el PVC, el CPVC y el polietileno, por mencionar algunos.



Ilustración 6.1-1 Tubería y piezas especiales de PVC. Recuperado de <http://acronsp.com>

Para las superficies y otras piezas, existen materiales que se encuentran como láminas, tales como acrílico y policarbonato y también se cuenta con la tecnología de formación de termoplásticos, por diferentes técnicas incluyendo la impresión 3d.



Ilustración 6.1-2 Láminas de policarbonato celular. Recuperado de <https://www.mwmaterialsworld.com/en/amconf/media/index/id/8804/>

6.1.3 Materiales auxiliares

Dentro de los materiales auxiliares se encuentran aquellos que forman parte de estructuras que no estarán en contacto directo con el agua de las muestras, se trata de medios de protección, soporte, transmisión de movimiento, medios de sujeción y demás elementos que no alteran la composición de las muestras.

Los materiales utilizados con estos fines, debido a que no alteran la composición de las muestras, pueden ser prácticamente cualquiera, sin embargo deben adaptarse a cuestiones de presupuesto (ser materiales de fácil adquisición) y de portabilidad del dispositivo (materiales ligeros), de manera que con este fin pueden utilizarse nuevamente materiales plásticos tales como el acrílico y el policarbonato o materiales metálicos para cuestiones de fijación tales como tornillería, piezas de herrería, sujeciones, rodamientos y elementos que le den soporte rígido a los elementos que lo necesiten.

El diseño de los diferentes sistemas corresponderá a un diseño basado principalmente en elementos comerciales, de manera que la elección de las piezas y el diseño de los sistemas es un proceso simultáneo.

6.2 Sistema de almacenamiento

El sistema de almacenamiento es el encargado de retener, proteger y conservar las muestras que se obtengan con el funcionamiento del dispositivo. Está formado por los recipientes de almacenamiento y las conexiones con el sistema de distribución.

Los recipientes de almacenamiento, de acuerdo con las características descritas en los requerimientos del dispositivo, fueron seleccionados a partir de una búsqueda con proveedores, de manera que resultarán adecuados para el dispositivo y se pudieran conseguir comercialmente, de esta forma se seleccionaron frascos de polipropileno como los de la marca Isolab con capacidad para 500 ml, al requerirse 18 muestras, el sistema consta de 18 frascos dispuestos de forma radial.



Ilustración 6.2-1 Diagrama de los frascos y de su disposición radial en el dispositivo. Modificado de www.isolab.de

Para realizar la conexión con el sistema de distribución se realizó una modificación a las tapas de los recipientes, de manera que fuera posible una rápida conexión y desconexión al dispositivo, asegurando el hermetismo de las muestras durante el llenado y durante su transporte al laboratorio sin la necesidad de realizar un transvase. Esta modificación consiste en la perforación de la tapa y el ensamblado de piezas de tubería tipo PVC, como se muestra a continuación:



Ilustración 6.2-2 Diagrama de adaptación de la tapa del frasco. Elaboración propia.

El adaptador hembra para insertar se encuentra perfectamente sellado a la tapa original del frasco, a esta pieza se le conecta el adaptador macho con el codo para permitir la entrada de agua desde el dispositivo, o bien el tapón macho para sellar herméticamente los recipientes y permitir el transporte y resguardo de las muestras.

Debido a las dimensiones de la tapa del frasco (aproximadamente 5 cm de diámetro) y de acuerdo con los materiales que existen comercialmente se seleccionó la medida estándar de $\frac{1}{2}$ de pulgada (12.7 mm) para los accesorios de tubería empleados en la adaptación de la tapa.

La conexión con el sistema de distribución consiste en segmentos de tubería de PVC con diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada, correspondientes con los accesorios de la adaptación, que unen el codo que se adaptó a la tapa con el múltiple.

6.3 Sistema de distribución

El sistema de distribución tiene la función de dirigir y guiar el agua captada hacia el almacenamiento, sus componentes son un distribuidor y un múltiple y las uniones entre ambos componentes y con los sistemas de captación y almacenamiento.

El distribuidor es una pieza que cambia la dirección del agua que se está captando, esta pieza permite realizar el llenado de una muestra y al término cambiar de recipiente y realizar un nuevo llenado.

El múltiple es una pieza que permite la conexión con el sistema de almacenamiento, esta pieza recibe el agua del distribuidor y la conduce a cada uno de los recipientes del sistema de almacenamiento.

El diseño de estos dos componentes guarda una estrecha relación dimensional, pues se trata en el caso del múltiple de un cilindro hueco con perforaciones en su periferia, las perforaciones en el múltiple conducen el agua del distribuidor al almacenamiento, mientras que el hueco central sirve de alojamiento al distribuidor, con forma cilíndrica, pues de manera interna el distribuidor se posiciona en cada una de las perforaciones permitiendo el paso del agua captada hacia cada uno de los recipientes de almacenamiento. Por lo que el diámetro del distribuidor debe ser cercano al del hueco en el múltiple, dejando espacio únicamente para colocar un elemento de sellado entre ellos.

El diseño del múltiple depende en gran medida de la conexión con el sistema de almacenamiento, pues el diámetro de las perforaciones influye en el diámetro mínimo que debe tener el centro hueco, esto para permitir que exista internamente un espacio entre cada perforación para evitar fugas o comunicación entre recipientes.

Una forma sencilla de determinar ese diámetro mínimo es sumar la longitud máxima de cada perforación (su diámetro) y añadir entre ellas un espacio que sirva de separación, el cuál consideraremos de 1 mm, la longitud que se obtiene corresponde al perímetro del círculo que forma el hueco, a partir del cual se puede obtener el diámetro del mismo. El diámetro de las perforaciones corresponde al diámetro externo de la tubería que conecta el múltiple con el sistema de almacenamiento.

$$L = 18(15.9mm + 1 mm) = 304.2mm$$

$$D = \frac{L}{\pi} = 96.83mm$$

El diámetro exterior no se encuentra restringido y depende únicamente del material con que se elabore la pieza, la altura del cilindro tiene como única restricción ser mayor al diámetro de las perforaciones.

El diámetro real depende de la pieza que será utilizada para formar el múltiple, en este caso se propone el uso de un cople para tubería de PVC cédula 40 de 4 pulgadas cuyo diámetro interno es de 114 mm y el exterior de 125 mm, convencionalmente se determinó una altura de 50 mm, para la perforación más 15 mm más para realizar la conexión con el sistema de captación.

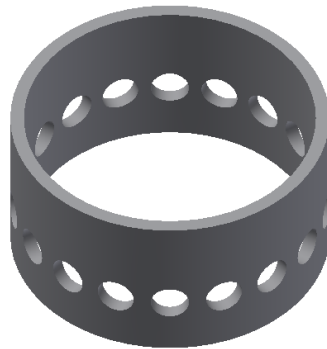


Ilustración 6.3-1 Esquema del múltiple. Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, el diámetro del cilindro que da forma al distribuidor debe corresponder con el diámetro interno del múltiple, dejando únicamente el espacio para la colocación de un sello.

De acuerdo con las características mencionadas en el apartado 6.1 Elección de materiales, se eligió un sello formado a partir de una cinta de neopreno con espesor de 3 mm y grosor de 50 mm correspondiente a la altura del múltiple, de manera que el diámetro del distribuidor debe ser de 108 mm.



Ilustración 6.3-2 Esquema del sello elaborado con cinta de neopreno. Elaboración propia

El distribuidor, para cumplir su función, requiere una perforación interna a manera de ducto que comunique la cara superior con la cara lateral, en la siguiente imagen se muestra un diagrama de esta perforación:

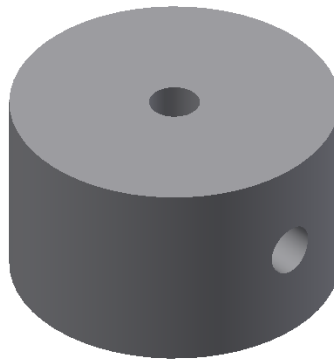


Ilustración 6.3-3 Diagrama de la perforación del distribuidor. Vista en isométrico. Elaboración propia

Internamente la perforación es vista como una “L” en cuya parte horizontal se considera una pendiente que permita la circulación continua y evite el estancamiento del agua, con el mismo propósito se considera además una curvatura en el ángulo que une las partes vertical y horizontal.

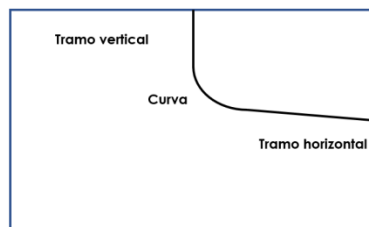


Ilustración 6.3-4 Esquema de la perforación interna del distribuidor. Elaboración propia.

Para favorecer la entrada del agua en la perforación, la cara superior del distribuidor también debe contar con una pendiente hacia el centro a manera de cono, de esta manera se evita el estancamiento en dicha superficie, además para tapar la parte inferior del ensamble con el múltiple, se requiere una ceja.

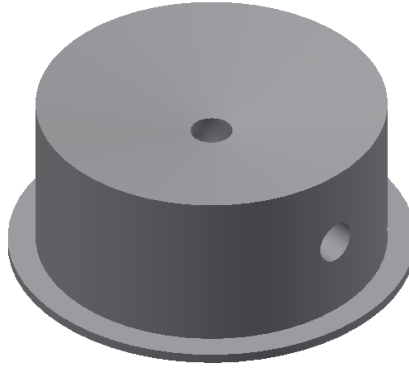


Ilustración 6.3-5 Diagrama del distribuidor perforado, con pendiente y ceja. Elaboración propia.

6.4 Sistema de captación

El sistema de captación se compone de una superficie de captación de forma cónica y su conexión con el sistema de distribución. Este sistema es el encargado de obtener el volumen de muestra determinado anteriormente (500 ml), mediante la relación:

$$\text{Volumen precipitado} = \text{Area de captación} \times \text{altura de precipitación}$$

El volumen se encuentra fijo, 500 ml, y la altura de precipitación esta también determinada por las características del muestreador que debe obtener una muestra por cada milímetro de lluvia, de esta manera se tiene la siguiente relación para determinar la superficie de captación:

$$\text{Area de captación} = \frac{\text{Volumen precipitado}}{\text{altura de precipitación}} = \frac{500 \text{ ml} \left(\frac{1000 \text{ mm}^3}{1 \text{ ml}} \right)}{1 \text{ mm}} = 500000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Area de captación} = 500000 \text{ mm}^2 \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right)^2 = 0.5 \text{ m}^2$$

Dado que la superficie de captación tiene una forma cónica, el diámetro mayor del cono debe corresponder con el área de captación requerida, de manera que dicho diámetro se obtendrá mediante la fórmula del área de un círculo:

$$\text{Area} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \text{ Area}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0.5 \text{ m}^2)}{\pi}} = 0.7979 \text{ m} = 79.79 \text{ cm} = 797.9 \text{ mm}$$

La altura del cono no tiene una función específica, sin embargo, resulta cómodo tener una altura pequeña para reducir las dimensiones del dispositivo, considerando una pendiente que permita el libre flujo de las gotas de lluvia captadas y evite la sedimentación de partículas en la superficie. De manera convencional se utilizará una altura de 30 cm como generatriz del cono, pues más adelante al diseñar el sistema de distribución se realizará la conexión entre captación y distribución y se deberá cortar el cono a partir de la punta.

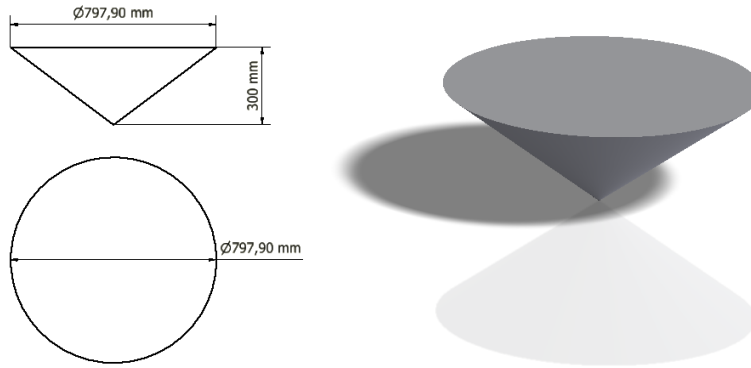


Ilustración 6.4-1 Dimensiones y vista en isométrico del cono de captación. Elaboración propia.

El cono se elabora a partir de una lámina plana, por lo que el desarrollo plano que permite elaborarlo es el siguiente:

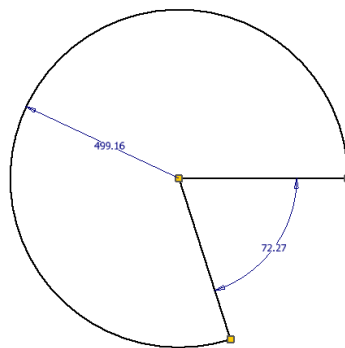


Ilustración 6.4-2 Desarrollo plano para la elaboración del cono de captación. Elaboración propia.

El radio de la circunferencia generadora corresponde a las dimensiones de los lados iguales del triángulo isósceles que se observa al proyectar el cono de manera frontal, esta dimensión se obtiene a través del teorema de Pitágoras:

$$r = \sqrt{(300\text{mm})^2 + \left(\frac{797.9\text{ mm}}{2}\right)^2} = 499.16\text{ mm}$$

Y el ángulo que sirve para acotar el sector circular formado está determinado por la relación entre el diámetro del círculo generador y el de la base del cono:

$$\alpha = \frac{797.9\text{mm}}{2 \times 499.16\text{ mm}} \times 360^\circ = 287.73^\circ$$

Y su conjugado, más fácil de acotar en el plano, es:

$$\beta = 360^\circ - 287.73^\circ = 72.27^\circ$$

Este desarrollo plano deberá dibujarse y cortarse en una lámina de material plástico, posteriormente se unirán los dos lados planos para dar forma al cono.

La unión con el sistema de distribución se diseñó aprovechando la construcción del cono, de manera que la punta de este se “corta” a una altura tal que permite el ensamble con el múltiple a través de un tubo de PVC con el cual se fija el cono y que es posible insertar en el múltiple.



Ilustración 6.4-3 Vista frontal del cono con la adaptación del tubo de PVC. Elaboración propia.

El desarrollo plano del cono truncado es el siguiente:

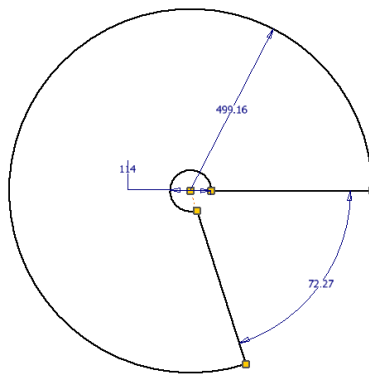


Ilustración 6.4-4 Desarrollo plano para la elaboración del cono de captación. Elaboración propia

6.5 Sistema de monitoreo y control

El sistema de monitoreo y control es el encargado de realizar acciones y mediciones que permiten el funcionamiento automático del dispositivo, se encarga de medir el volumen del agua almacenada en los recipientes y al detectar que se ha llegado al volumen requerido se encarga de mover el distribuidor para alinearlo con un nuevo recipiente y comenzar de nuevo el llenado.

Se trata esencialmente de un sistema de control que posee los tres componentes básicos de estos sistemas, sensores, actuadores y controlador.

La primera labor de este sistema, que es la medición del volumen en los recipientes, es una labor propia de un sensor, para este sistema se consideró un sensor de tipo capacitivo como el CR18-8DP de la marca Autonics, pues este nos permite detectar el nivel del líquido dentro de los recipientes sin necesidad de entrar en contacto con el agua, de manera que aprovechando el movimiento del distribuidor el sensor se posicionará frente a cada recipiente durante su llenado e informará cuando se haya alcanzado el nivel correspondiente al volumen requerido (500 ml).



Ilustración 6.5-1 Sensor capacitivo CR18-8DP Autonics. <http://mexico.newark.com>

La otra labor del sistema, que es realizar el movimiento que permita al distribuidor girar dentro del múltiple colocando su salida de agua en cada una de las perforaciones para permitir el llenado de los recipientes, es una labor propia de un actuador, para este sistema se eligió un motor a pasos, como el motor unipolar 28BYJ-48 el cual debido a su movimiento angular discreto y preciso permite posicionar correctamente el distribuidor.



Ilustración 6.5-2 Motor a pasos 28BYJ-48. <https://www.330ohms.com>

Para transmitir el movimiento del motor a pasos al distribuidor, se requiere de dos engranes, uno de ellos acoplado al motor a pasos y el otro acoplado a una flecha que a su vez este acoplada al distribuidor. Para no cambiar el ángulo de giro del motor a pasos, se considerarán dos engranes exactamente iguales, pues su labor será únicamente transmitir el movimiento. Dada su labor, se requiere que dichos engranes sean más grandes que el motor y que la flecha.

La flecha que estará acoplada al distribuidor se construirá a partir de un segmento de tubería de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada (dado que se ha utilizado anteriormente este material y tiene una buena rigidez y resistencia), de tal manera que los engranes deberán tener un diámetro mayor a los 16 mm correspondientes al diámetro exterior de la tubería.

De manera convencional se considerará una distancia entre los centros de las flechas del distribuidor y del motor de 100 mm, por lo que los engranes deberán tener 100 mm de diámetro más el empalme de los dientes. Estos engranes se calcularon utilizando un módulo de Autodesk Inventor para el diseño de engranes.

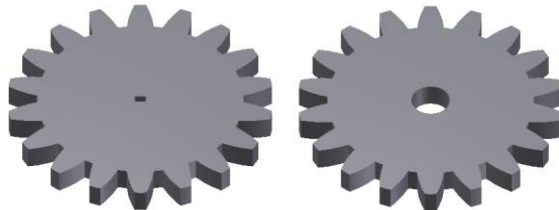


Ilustración 6.5-3 Engranes de la flecha del motor y de la flecha del distribuidor respectivamente. Elaboración propia

Estos dos componentes requieren un controlador que permita la comunicación entre ellos para realizar sus funciones, con este fin se seleccionó la tarjeta Arduino UNO debido a la facilidad que tiene para adaptarse a proyectos de control y la gran variedad de componentes y recursos para obtener asesoría respecto a su programación e instalaciones.

Con el apoyo de la comunidad que ha desarrollado proyectos con Arduino alrededor del mundo y comparte tutoriales, diagramas de conexión y códigos de programación para los diferentes sensores y actuadores disponibles fue posible desarrollar la integración del sensor, actuador y controlador para este proyecto.

Para su funcionamiento, el motor a pasos requiere el uso de un circuito integrado o controlador con número de identificación ULN2003, este circuito provee los componentes electrónicos necesarios (transistores, diodos, puentes) para su conexión directa con Arduino.

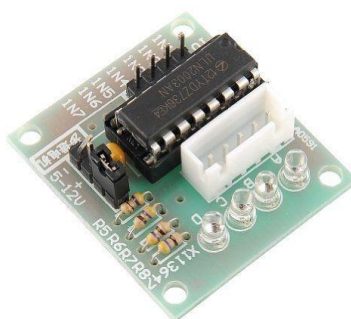


Ilustración 6.5-4 Controlador ULN2003 para motores a pasos. Recuperado de <https://www.330ohms.com>

La forma de conexión es relativamente sencilla, pues el motor cuenta con un arnés que se conecta directamente al puerto del controlador, del controlador hacia Arduino se requieren seis cables, dos de ellos de alimentación (5v, o a una fuente de poder de 12v) y los otros cuatro de comunicación a través de pines.

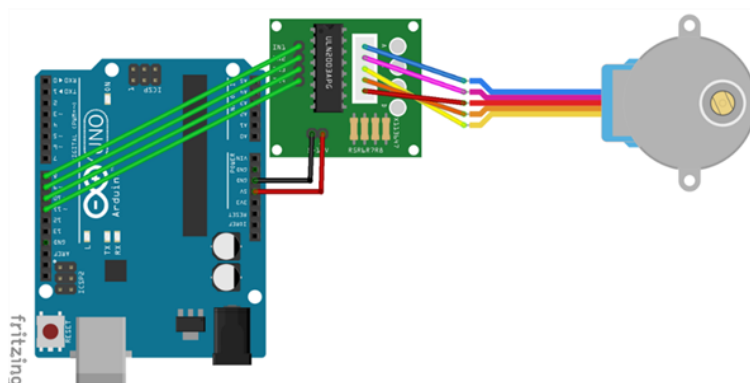


Ilustración 6.5-5 Diagrama de conexión del motor a pasos. Recuperado de <https://programarfacil.com>

En el caso del sensor capacitivo este funciona como un interruptor, de manera que al detectar la presencia del líquido cierra el circuito, por lo que en su integración con Arduino requiere de 3 cables, dos de ellos para la alimentación y uno más de datos, este último se conectará a alguna de

las entradas digitales de Arduino (pines del 0 al 13) y nos proporcionará un valor ON u OFF que servirá para realizar el movimiento del motor.

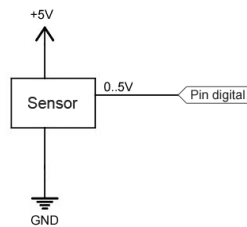


Ilustración 6.5-6 Diagrama de conexión del sensor capacitivo. Recuperado de <https://www.luisllamas.es>

6.6 Sistemas de soporte y protección

Una vez integrados los sistemas que permiten el funcionamiento del dispositivo, se requiere diseñar los elementos que darán soporte y protección a los componentes, estos elementos permiten posicionar correctamente los componentes, y protegerlos de factores externos como la lluvia, el viento, el sol, entre otros.

El primero de estos elementos es la base que da soporte y posición a los recipientes y el motor principalmente, esta base además permite al dispositivo colocarse en el lugar donde se vaya a realizar el muestreo. La base o tapa inferior, tiene forma de disco, con un diámetro igual al del cono de captación, es decir 797.9 mm, o de manera aproximada 80 cm, esta puede ser elaborada con acrílico, policarbonato o incluso metal, pues su función es servir de soporte a los recipientes de almacenamiento. A esta tapa se fijan las “patas” del dispositivo, consistentes en 3 niveladores de hule, los cuales se fijan a través de una tuerca a la base, en dicha tuerca los niveladores giran y, de la misma manera que un tornillo, entran y salen cambiando la longitud de las patas, esto permite nivelar el dispositivo adaptándose a una posible irregularidad del terreno.

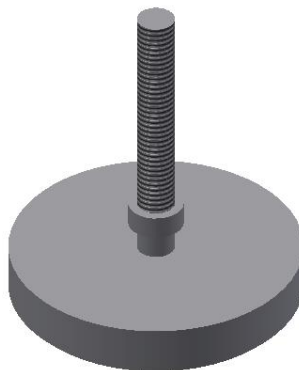


Ilustración 6.6-1 Esquema de los niveladores. Elaboración propia

Como elemento de protección se encuentran las paredes del dispositivo, estas paredes aíslan los componentes del dispositivo, dejando expuestos únicamente la superficie de captación y la cara superior del distribuidor, donde se realiza la captación de la lluvia, con este fin se diseñó una pared con la forma de la cara lateral de un cilindro, con el fin de adaptarse a la base y al cono de captación, esta pared puede elaborarse con el mismo material del cono, o de la tapa, su construcción se realizará a partir de una lámina plana que al doblarse y pegarse por el canto forma un cilindro, el diámetro del cilindro es igual al de la tapa y el cono de captación, su altura

dependerá del tamaño de los recipientes, pues estos definen la altura del dispositivo, de manera que se deberá realizar el ensamblaje y posteriormente construir la pared.

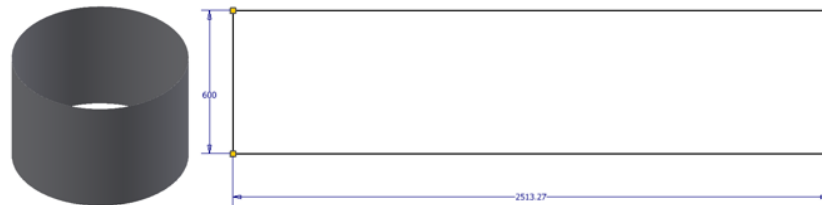


Ilustración 6.6-2 Esquema de la pared del dispositivo y del desarrollo plano de la misma. Elaboración propia

Como soporte de la flecha que permite el giro del distribuidor, se consideró el uso de un balero acoplado a la base, este balero debe tener un diámetro interno igual al diámetro exterior de la flecha (15.9 mm), el diámetro exterior no es relevante, sin embargo, es necesario conocerlo para realizar la perforación en la tapa y fijar el balero a la misma.

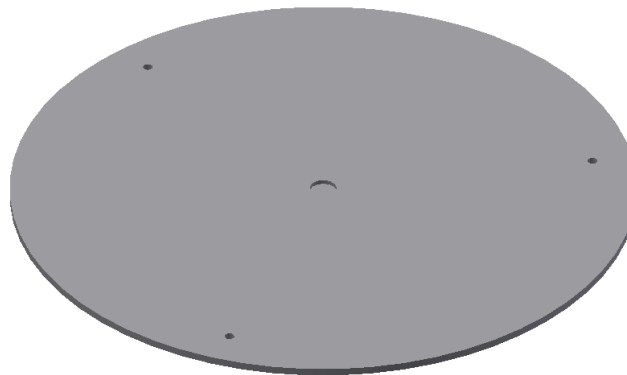


Ilustración 6.6-3 Esquema de la base, con las perforaciones para los niveladores y la ranura para fijar el balero. Elaboración propia

7 Simulación

Como apoyo para el diseño de los componentes del dispositivo, con el fin de facilitar la concepción de los prototipos y de visualizar los componentes que estaban en proceso de diseño antes de elaborarlos y analizar su funcionamiento e interacción con los demás componentes, se realizó una simulación de los componentes y su interacción a través de un software.

7.1 Software de modelación mecánica

Dentro del diseño en la Ingeniería, existen herramientas de cómputo que gracias al avance tecnológico nos permiten realizar tareas de forma más rápida y sencilla, dentro de estas herramientas se encuentran los software denominados CAE (Computer Aided Engineering) o Ingeniería asistida por computadora, CAD (Computer Aided Design) o diseño asistido por computadora y CAM (Computer Aided Manufacturing) o manufactura asistida por computadora, entre otros, siendo CAE la categoría que engloba a muchas de estas tecnologías (Rojas Lazo & Rojas Rojas, 2006).

El uso de estas herramientas nos permite visualizar en un entorno virtual los diseños, facilitando la comprensión de los mismos y permitiendo realizar mejoras sin la necesidad de crear maquetas o modelos físicos, muchas de estas herramientas nos permiten también simular los ensambles y movimientos entre los diferentes componentes, permitiendo una mejor interacción entre ellos al momento de elaborarlos, adicionalmente algunos softwares permiten automatizar el proceso de manufactura de cada componente.

En el desarrollo de este dispositivo se utilizó el software de modelación mecánica Inventor de Autodesk, a través de una licencia educativa.

Autodesk Inventor pertenece a un grupo de software de los denominados CAE. Este software permite realizar una simulación mediante el diseño paramétrico de diferentes componentes, otros software del mismo tipo son SolidEdge de Siemens y SolidWorks, para aplicaciones más profesionales y avanzadas se encuentran los software CATIA, I-DEAS y Unigraphics (Sánchez Pescador, 2015).

Dentro de las ventajas que tiene Inventor sobre otros productos similares, las cuales contribuyeron a su elección para este proyecto, destacan:

- Es un software distribuido por Autodesk, lo cual representa una gran familiaridad con los usuarios de AutoCAD (muy utilizado en la Ingeniería Civil).
- Es un programa de distribución muy extendida, con licencias educativas proporcionadas a estudiantes directamente por Autodesk.
- Tiene una interfaz sencilla e intuitiva para la realización de bocetos sencillos y todo tipo de modelos.
- Permite una comunicación directa con AutoCAD para la elaboración de bocetos complejos.

El uso de este software y la construcción del modelo de simulación ocurrió de manera simultánea con el proceso de diseño numérico, de manera que las ideas y los resultados obtenidos de los cálculos se fueron modelando para observar su funcionamiento y tomar las mejores decisiones en el diseño y elección de los componentes.

7.2 Construcción del modelo de simulación

El modelo de simulación del dispositivo se realizó en dos etapas fundamentales, diseño preliminar y diseño definitivo.

En el diseño preliminar se plasmaron en modelos 3D las ideas y conceptos que se vislumbraron como posibles alternativas para el desarrollo del producto objeto de estudio, de esta manera se crearon modelos de los prototipos iniciales, utilizando dimensiones aproximadas pues el objetivo fue observar el funcionamiento de dichos prototipos y prever las ventajas y desventajas que pudieran tener, permitiendo una mejor selección del prototipo.

Una vez elegido el prototipo más adecuado para los fines del proyecto, comenzó la etapa de diseño definitivo, de manera simultánea a los cálculos y decisiones que se explicaron en el capítulo anterior, se realizó la modelación de los componentes comerciales buscando representarlos lo más fielmente posible para que la modelación y diseño de los componentes manufacturables resultaran lo más precisos posible.

Para la construcción de los modelos se utilizó una estrategia de diseño ascendente, partiendo de diferentes piezas bien definidas y posteriormente realizando las uniones e interacciones entre ellas para formar un ensamble, Inventor permite la creación de piezas en archivos con extensión .IPT y ensambles con extensión .IAM, dentro del archivo pieza es posible crear, detallar y mejorar cada elemento individual del prototipo, mientras que en el archivo ensamble se modifican las uniones, interacciones y relaciones entre las diferentes piezas. Una vez completados los componentes principales del prototipo se utilizó un diseño descendente, partiendo de un modelo general creando detalles y especificaciones.

Los principales componentes diseñados a partir del modelado en Inventor fueron el múltiple, el distribuidor, el cono de captación y la transmisión de movimiento del motor a pasos.

7.2.1 Múltiple

La simulación en el software permitió que se observara la distribución de los orificios que se perforaron en la pieza, pues de esta manera se pudo comprobar que los cálculos realizados eran correctos y se visualizó la pieza perforada antes de realizar las perforaciones, para su diseño, se partió de un boceto plano y se utilizó la función de extrusión.

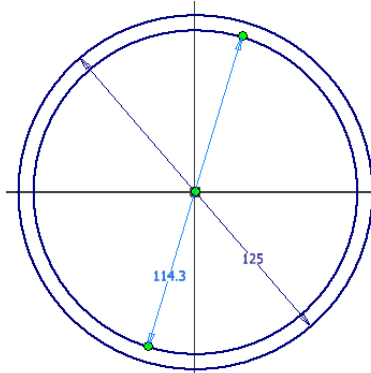


Ilustración 7.2-1 Boceto utilizado en la simulación del múltiple. Elaboración propia

Posteriormente se utilizó la función agujero para crear una perforación en la pieza, en esta función se especifica la profundidad y diámetro de la perforación y mediante la función patrón circular, se reproduce esa perforación 18 veces para completar la visualización de la pieza.



Ilustración 7.2-2 Simulación del múltiple en el software Inventor. Elaboración propia

De esta manera se pudo comprobar que el diámetro era el correcto para evitar que se juntaran las perforaciones y así evitar fugas.

7.2.2 Distribuidor

Para el diseño del distribuidor fue fundamental el uso de este programa, pues al ser una pieza que no se encuentra disponible comercialmente, en el software pudieron revisarse todas las especificaciones y detectar las necesidades y posibles problemas durante su manufactura.

Se partió de un cilindro formado por la extrusión del boceto de un círculo.

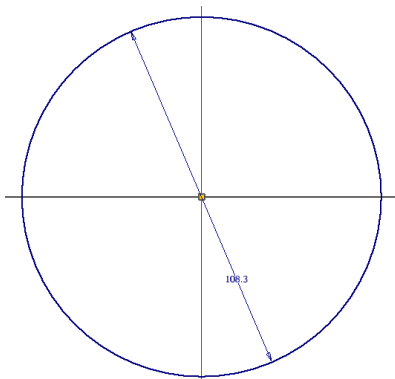


Ilustración 7.2-3 Boceto utilizado en la simulación del distribuidor. Elaboración propia

Posteriormente se probó simular la perforación interna hecha con taladro, sin embargo, se vio que de realizarse así existían zonas donde se favorecía el estancamiento, lo cual no es deseable en la pieza pues se requiere un flujo libre y continuo, finalmente con la herramienta de barrido se creó una perforación curva, continua y con la pendiente adecuada para favorecer el flujo del agua.

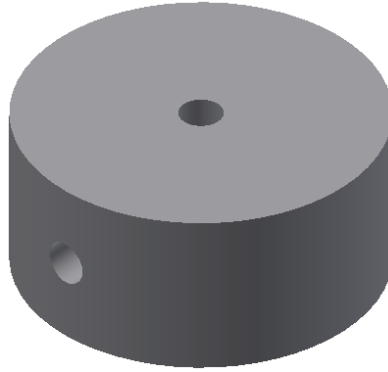


Ilustración 7.2-4 Simulación del distribuidor en el software Inventor. Elaboración propia

Finalmente se diseñó la forma cónica de la cara superior con la herramienta chaflán.

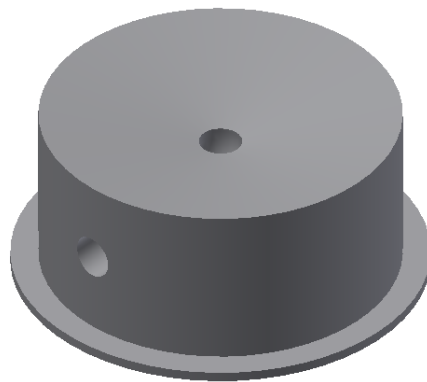


Ilustración 7.2-5 Modelo completo del distribuidor. Elaboración propia

El modelo tridimensional creado de esta forma sirve para realizar la manufactura de la pieza a través de impresión 3d si se requiere.

7.2.3 Cono de captación

La labor fundamental de la simulación en el diseño del cono de captación fue el diseño de la conexión con el múltiple, para este fin se diseñaron diferentes conexiones, resultando la más conveniente la conexión interna a partir de un tubo de PVC insertable, mediante el software se pudo determinar el diámetro necesario para el corte de la punta del cono.

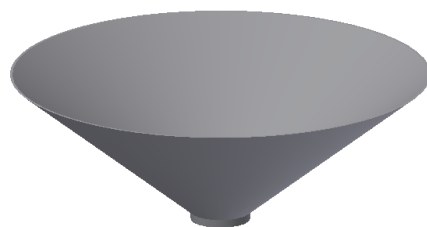


Ilustración 7.2-6 Simulación del cono con la conexión al múltiple. Elaboración propia

El cono y la conexión fueron realizados a partir de un boceto que representaba la mitad del corte transversal del cono y posteriormente se le dio forma tridimensional con la herramienta revolución.

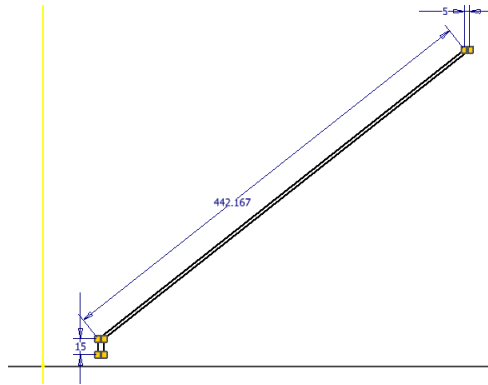


Ilustración 7.2-7 Boceto utilizado en la simulación del cono de captación. Elaboración propia

7.2.4 Transmisión del movimiento del motor a pasos

A través del software se pudo visualizar el espacio disponible para la colocación del motor y se pudieron probar y diseñar alternativas para la transmisión del movimiento, resultando más satisfactoria la opción elegida.

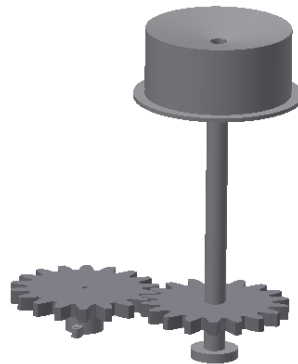


Ilustración 7.2-8 Simulación de la transmisión y acoplamiento entre el motor y la flecha del distribuidor. Elaboración propia

Además, se pudo dimensionar y corroborar el correcto acoplamiento de los componentes, permitiendo una manufactura adecuada a través de corte laser u otro método de elaboración basado en el modelo.

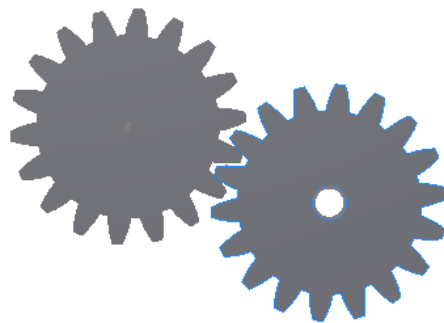


Ilustración 7.2-9 Vista en planta de los engranes que componen la transmisión. Elaboración propia

7.3 Resultados de la simulación

El modelo final fue integrado uniendo los modelos de todos los componentes con sus dimensiones reales en un ensamble, de esta manera se verificó la compatibilidad entre las piezas y se vio la necesidad de colocar uniones rígidas o móviles de acuerdo con el funcionamiento, se pudo verificar el espacio correcto entre las piezas y el movimiento, de manera que se hicieron los ajustes necesarios hasta tener un funcionamiento adecuado.

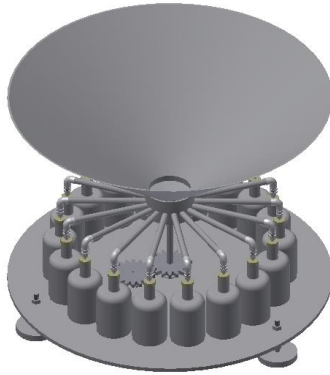


Ilustración 7.3-1 Integración del dispositivo, sin pared para permitir la visualización de los componentes. Elaboración propia

Se verificó el correcto asentamiento entre las partes móviles y el correcto movimiento de las mismas, en el caso del sistema de transmisión de movimiento del motor, su correcta colocación.

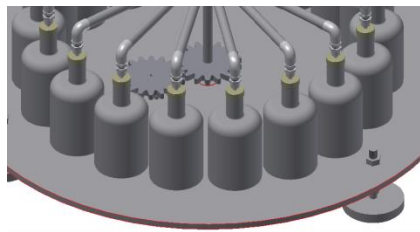


Ilustración 7.3-2 Acercamiento donde se observa el sistema de transmisión. Elaboración propia

Finalmente, la simulación permitió diseñar los elementos de soporte y protección más adecuados al poderse visualizar y medir los espacios disponibles dentro del dispositivo.



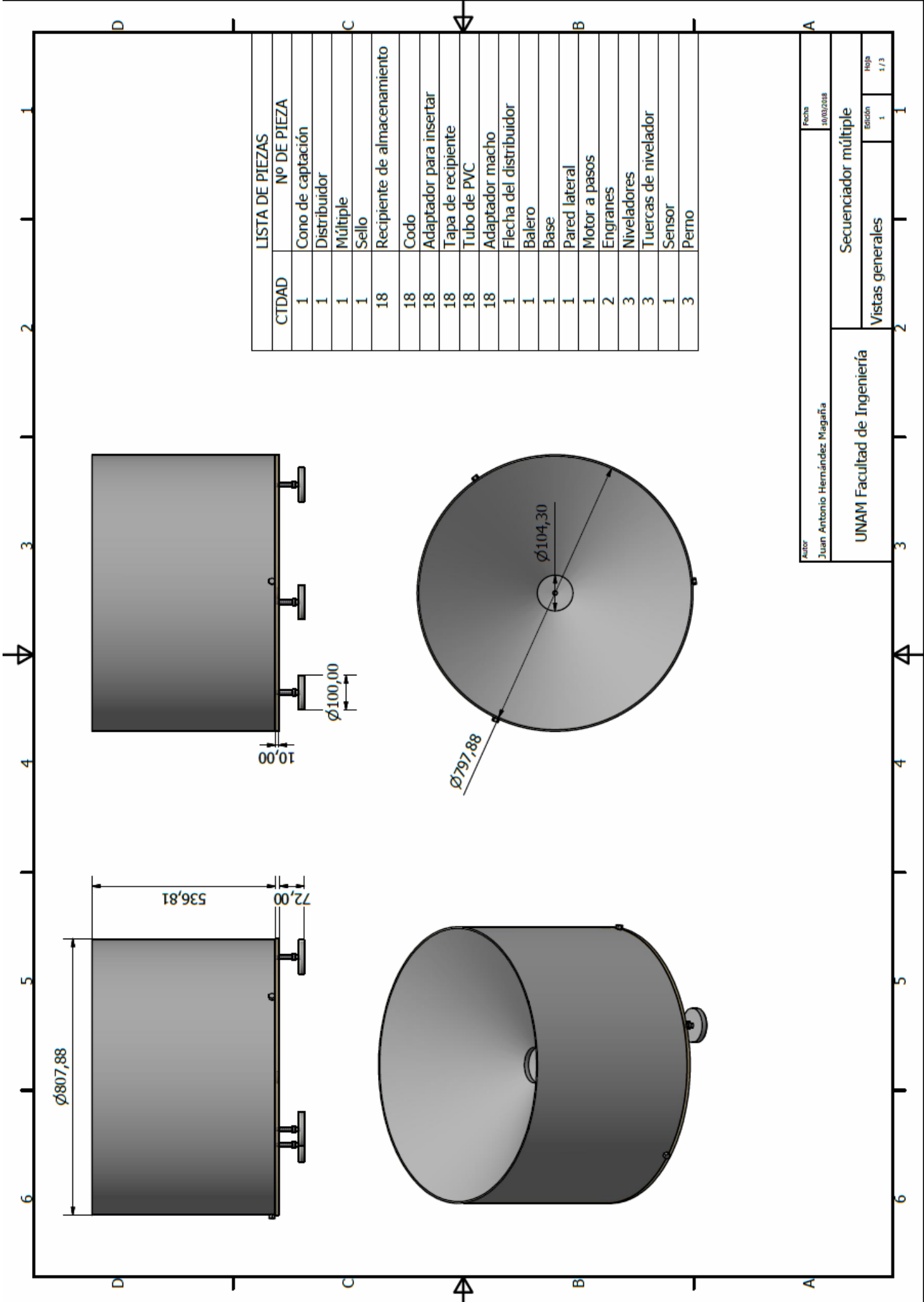
Ilustración 7.3-3 Vista completa del dispositivo, como resultado de la simulación en Inventor. Elaboración propia

8 Versión final del dispositivo

En este apartado, se integran todos los documentos correspondientes a la versión final del dispositivo, los cuales sirven para construir, ensamblar y operar este dispositivo.

8.1 Planos generales

En esta sección se incluyen las vistas exteriores con las principales dimensiones, vistas interiores del conjunto y una vista en isométrico del dispositivo.



Autor
Juan Antonio Hernández Magaña

Fecha
30/03/2018

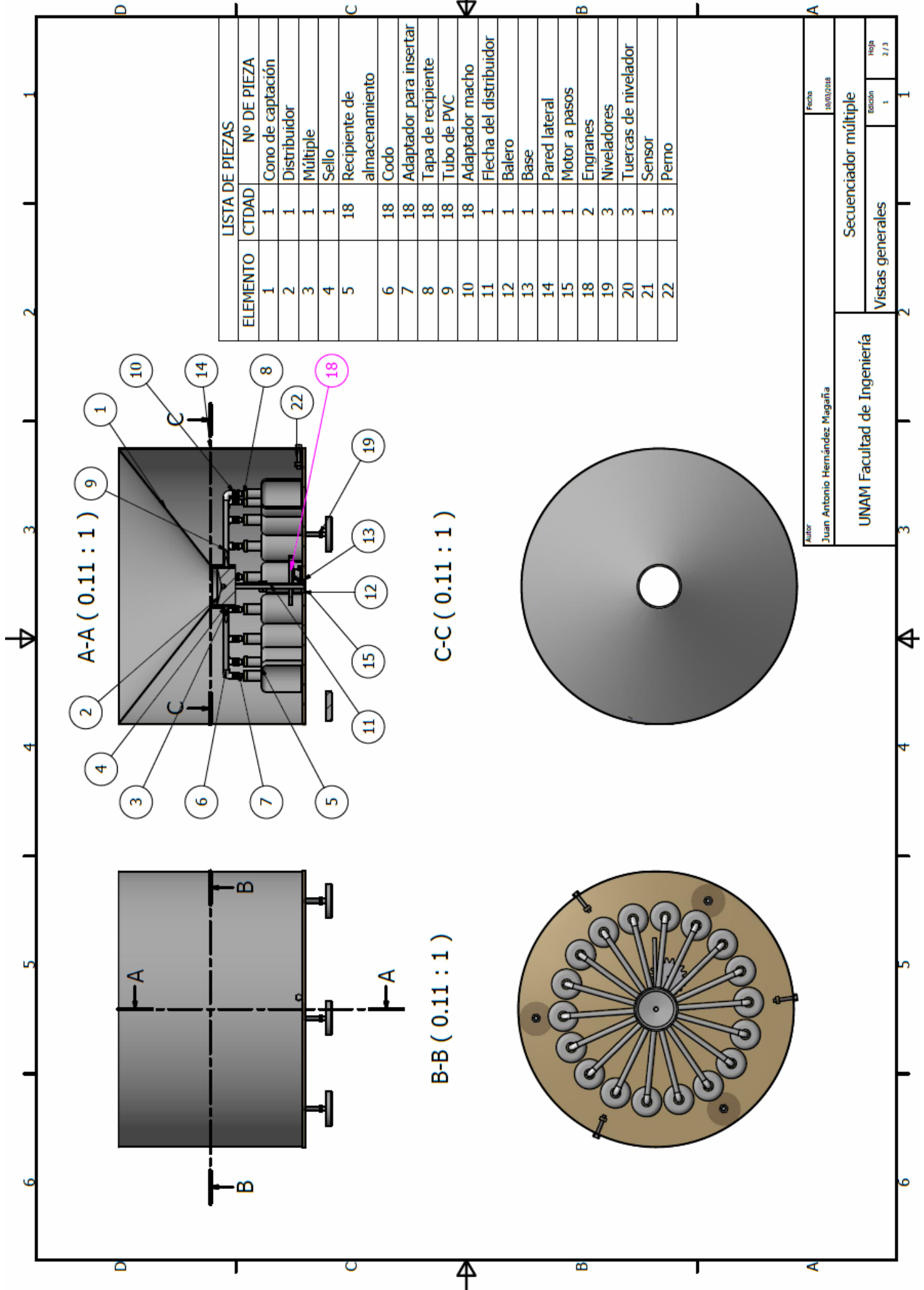
UNAM Facultad de Ingeniería

Secuenciador múltiple

Vistas generales

Edición
1

Hoja
1/3



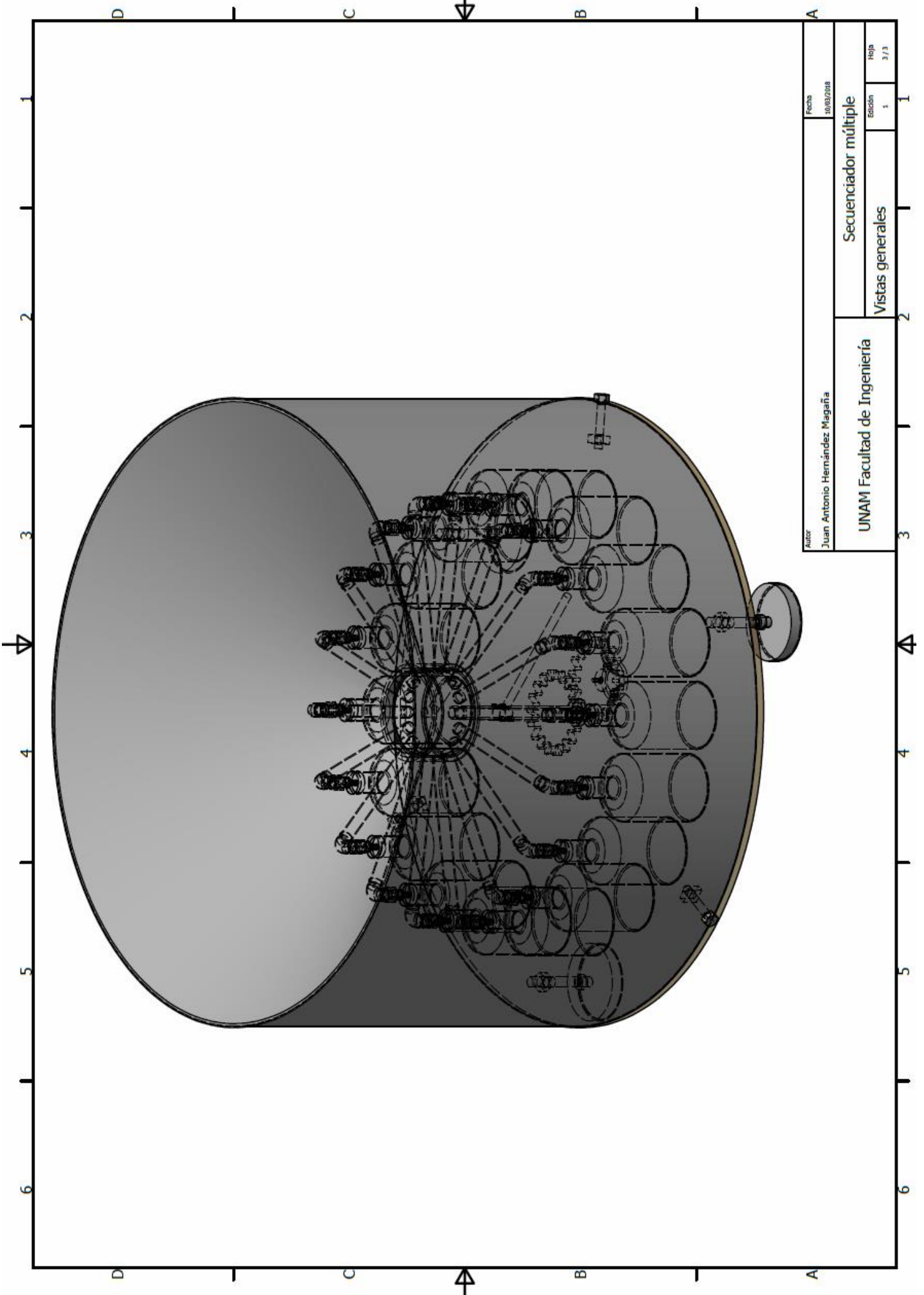
LISTA DE PIEZAS		Nº DE PIEZA
ELEMENTO	CTIDAD	
1	1	Cono de captación
2	1	Distribuidor
3	1	Múltiple
4	1	Sello
5	18	Recipiente de almacenamiento
6	18	Codo
7	18	Adaptador para insertar
8	18	Tapa de recipiente
9	18	Tubo de PVC
10	18	Adaptador macho
11	1	Flecha del distribuidor
12	1	Balero
13	1	Base
14	1	Pared lateral
15	1	Motor a pasos
18	2	Engranajes
19	3	Niveladores
20	3	Tuercas de nivelador
21	1	Sensor
22	3	Perno

A-A (0.11 : 1)

C-C (0.11 : 1)

B-B (0.11 : 1)

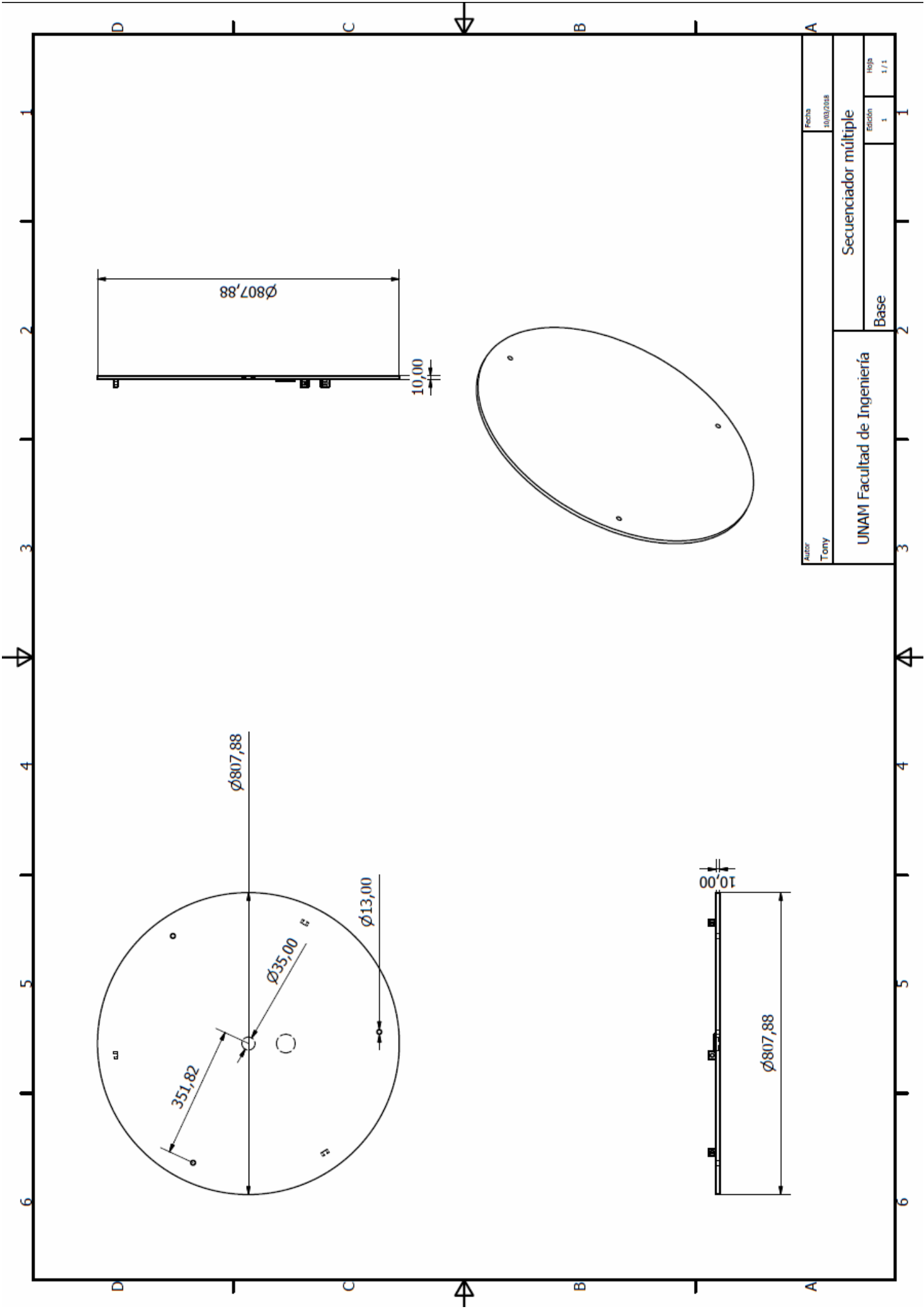
Autor Juan Antonio Hernández Magaña		Fecha 14/03/2018	
UNAM Facultad de Ingeniería		Secuenciador múltiple	
Vistas generales		Edición 1	Hoja 2/3



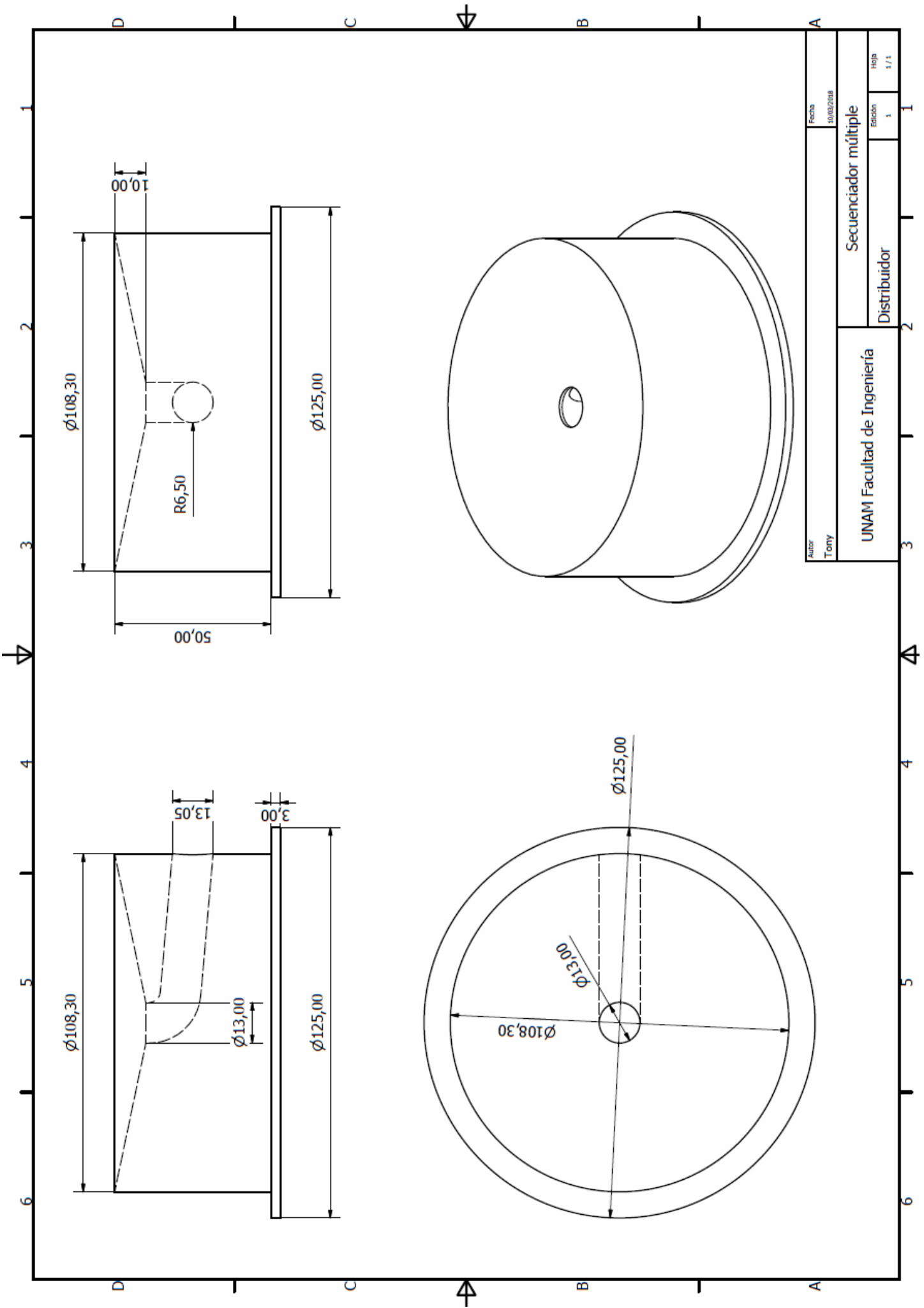
Autor Juan Antonio Hernández Magaña		Fecha 30/03/2016	
UNAM Facultad de Ingeniería		Secuenciador múltiple	
Vistas generales		Sección 1	
		Hoja 3/3	

8.2 Planos de detalle

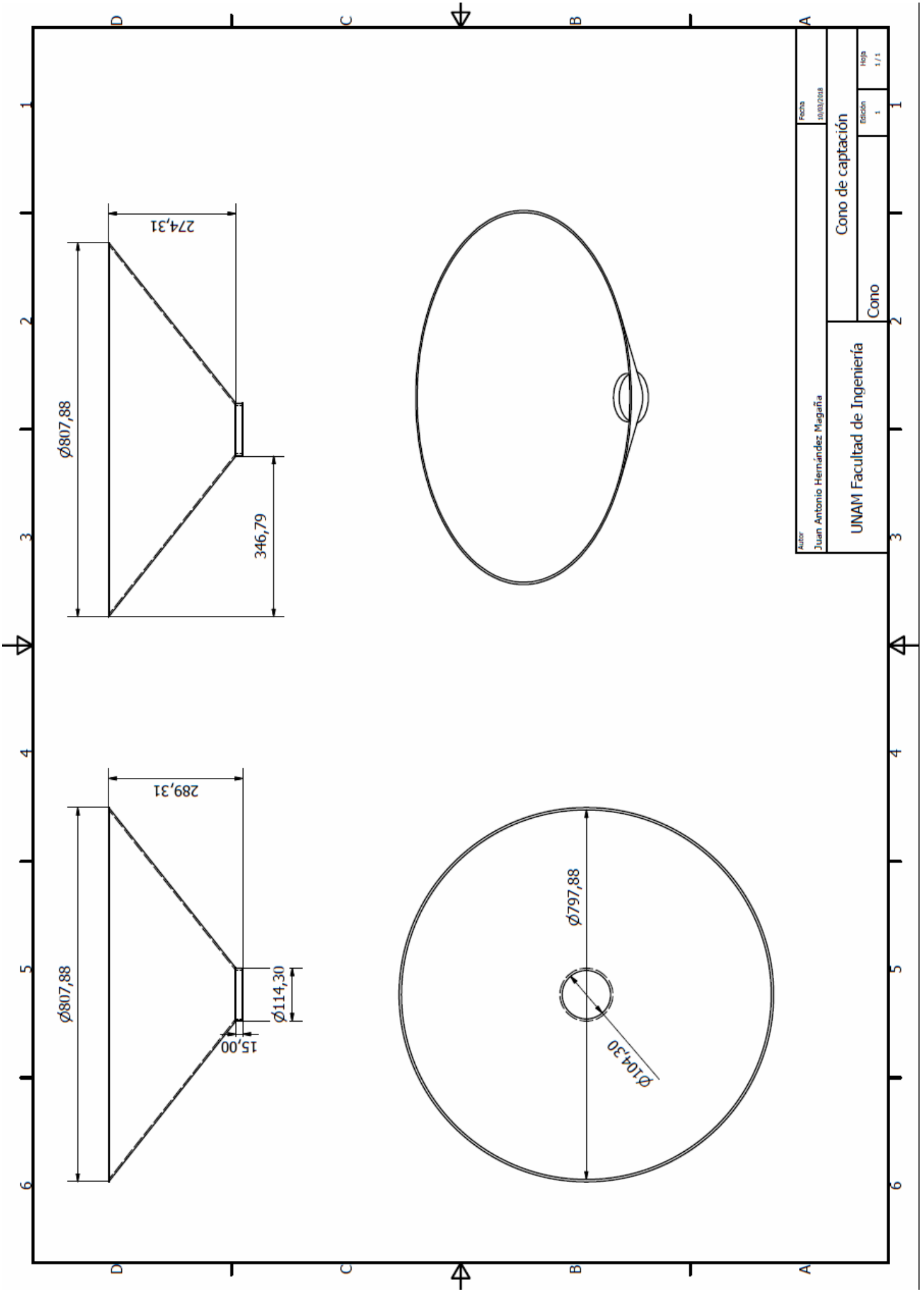
En esta sección se incluyen los planos de los componentes que se deben manufacturar, se incluyen diferentes vistas de los mismos así como sus dimensiones principales.



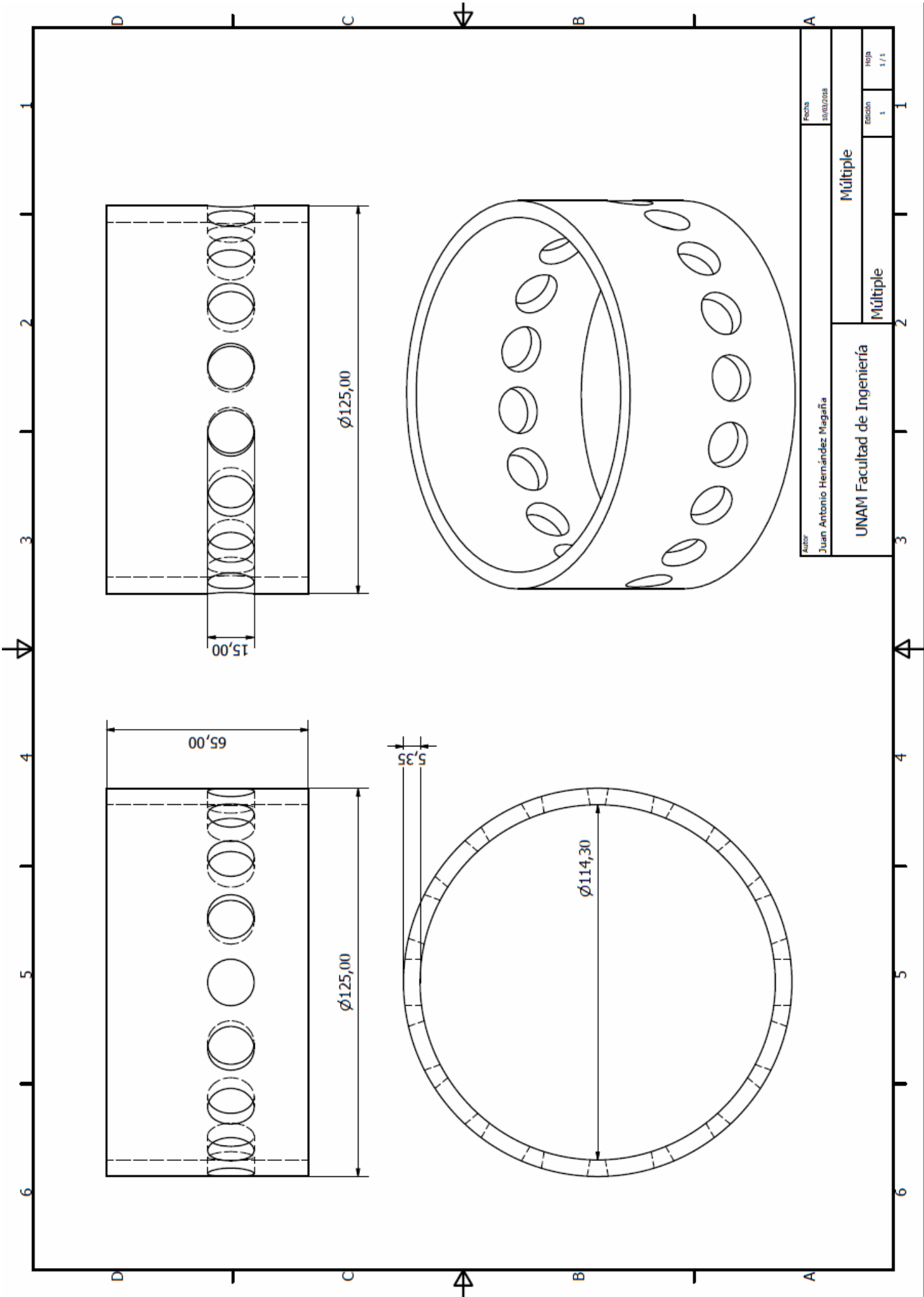
Autor Tony		Fecha 10/03/2018	
UNAM Facultad de Ingeniería		Secuenciador múltiple	
Base		Edición 1	
		Hoja 1 / 1	



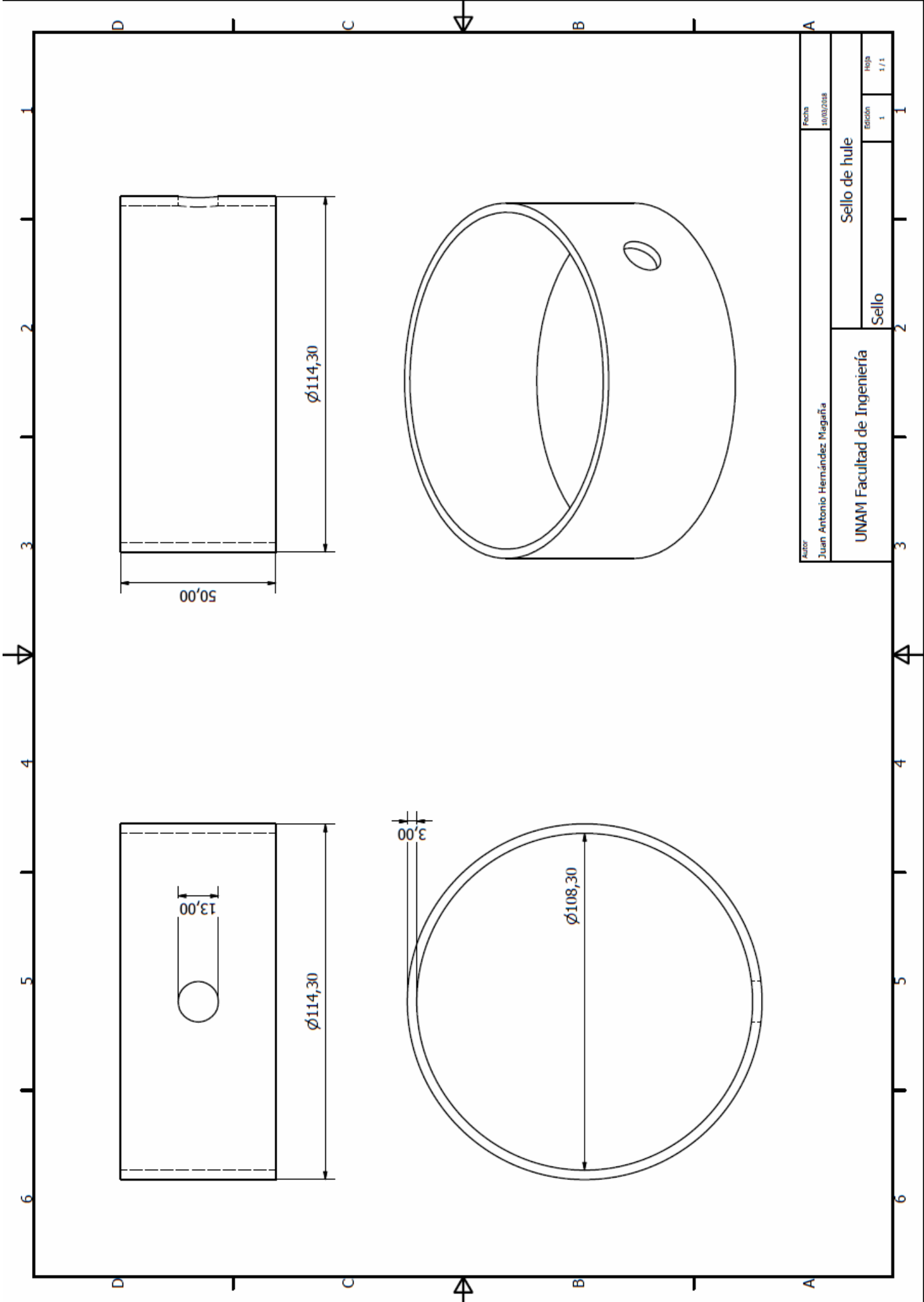
Autor Tony		Fecha subsecundaria	
UNAM Facultad de Ingeniería		Secuenciador múltiple	
Distribuidor		Edición 1	
		Hoja 1/1	



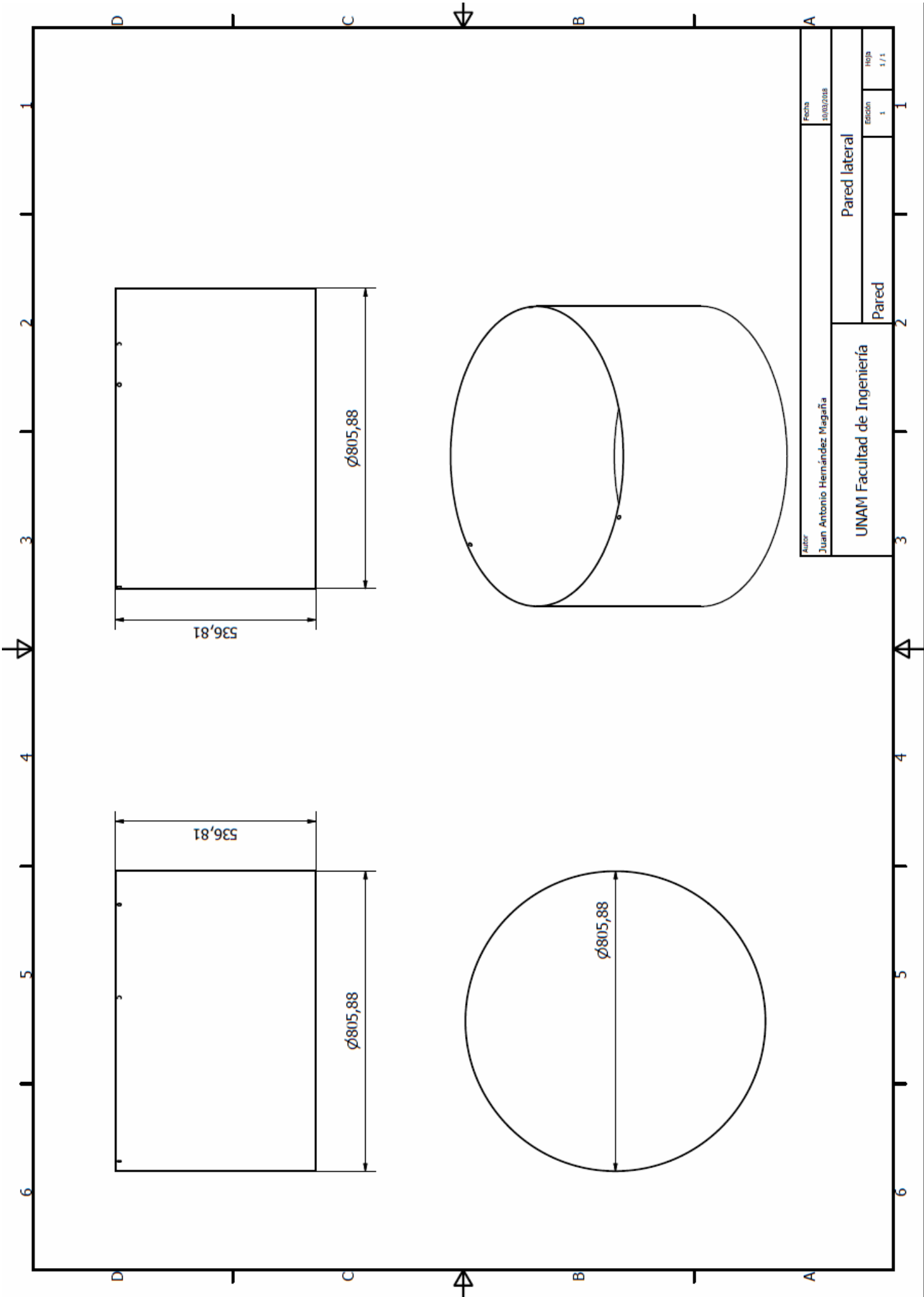
Autor Juan Antonio Hernández Magaña		Fecha 10/02/2018	
UNAM Facultad de Ingeniería		Cono de captación	
Cono		Hoja 1 / 1	



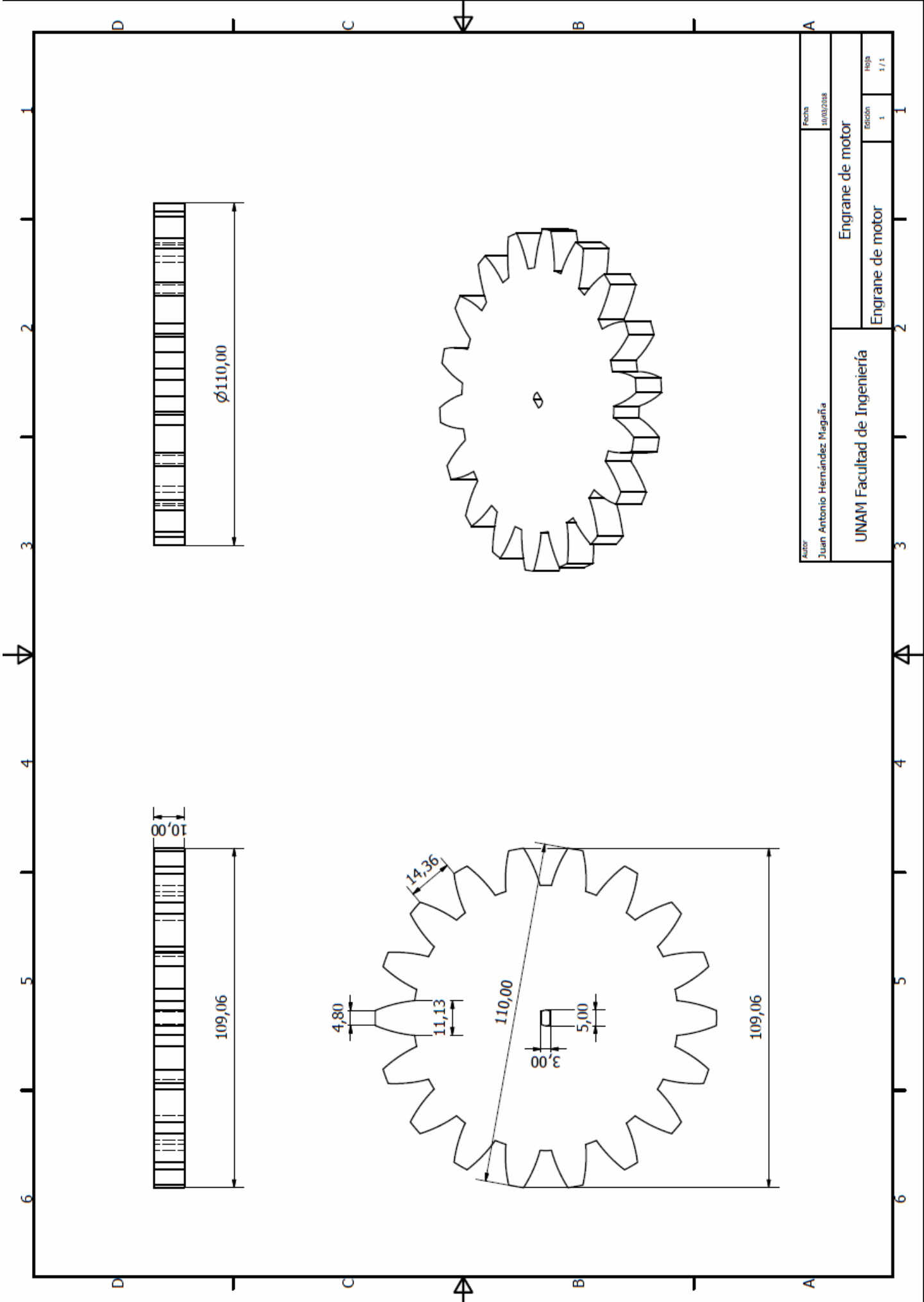
Autor		Fecha	
Juan Antonio Hernández Magaña		10/02/2018	
UNAM Facultad de Ingeniería		Múltiple	
Múltiple		Múltiple	
Edición		Hoja	
1		1/1	



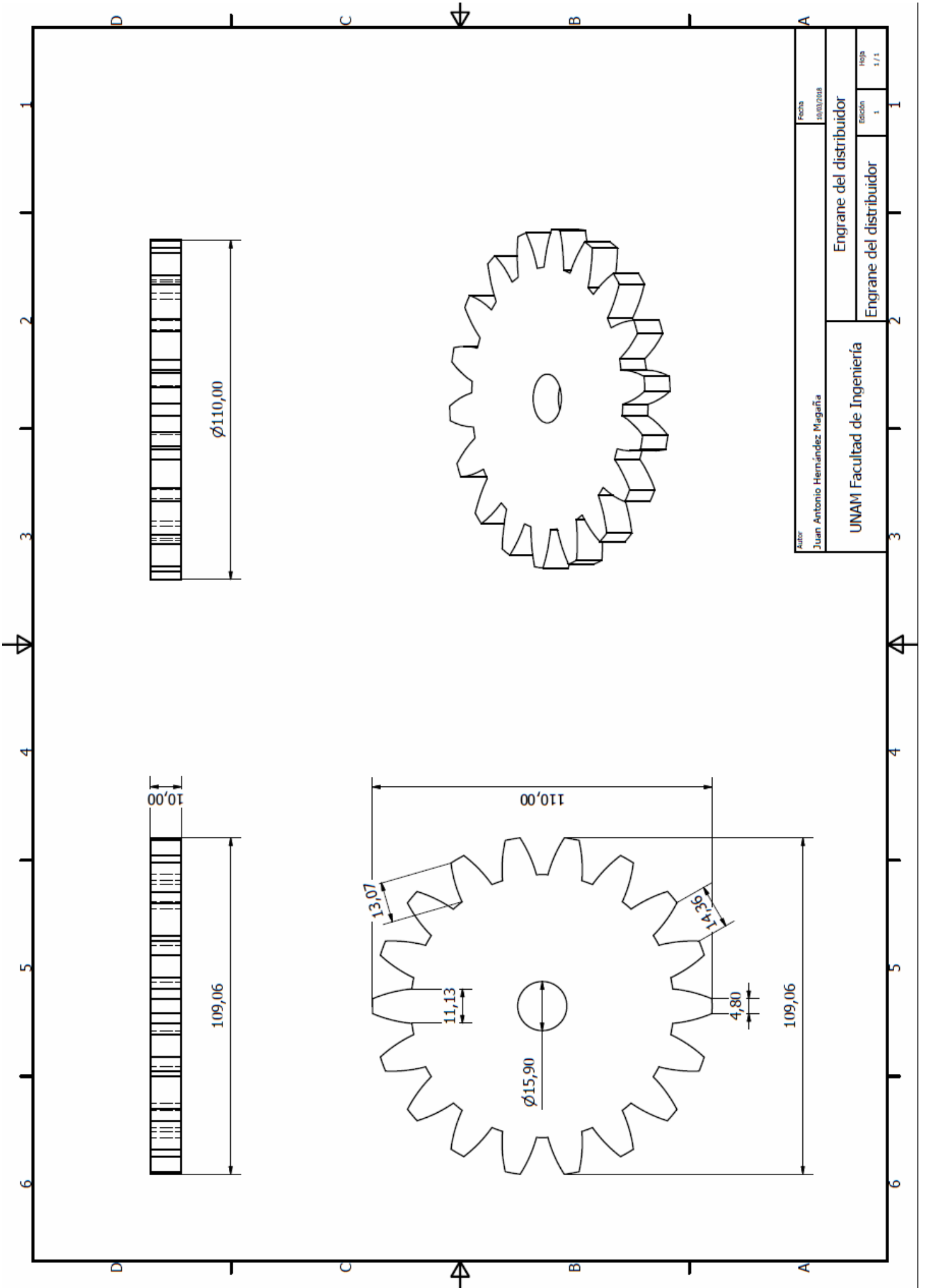
Autor		Fecha	
Juan Antonio Hernández Mugaña		30/03/2016	
UNAM Facultad de Ingeniería		Sello de hule	
Sello		Edición	
		1	
		Hoja	
		1 / 1	



Autor		Fecha	
Juan Antonio Hernández Magaña		10/02/2018	
UNAM Facultad de Ingeniería		Pared lateral	
Pared		Hoja	
1		1/1	



Autor		Fecha	
Juan Antonio Hernández Mugaña		30/03/2016	
UNAM Facultad de Ingeniería		Engrane de motor	
		Engrane de motor	
		Edición	
		1	
		Hoja	
		1 / 1	



Autor Juan Antonio Hernández Magaña		Fecha 10/02/2018	
UNAM Facultad de Ingeniería		Engrane del distribuidor	
		Engrane del distribuidor	
		Hoja 1 / 1	

8.3 Fichas técnicas de componentes

En esta sección se incluyen las fichas técnicas de los principales componentes que se pueden conseguir comercialmente.

8.3.1 Arduino UNO

Arduino Uno



Arduino Uno R3 Front

Arduino Uno R3 Back



Arduino Uno R2 Front

Arduino Uno SMD

Arduino Uno Front

Arduino Uno Back

Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

Note: The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
 - **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
 - **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
-

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the Atmega8, 168, and 328 is identical.

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins. The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available. The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data. The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

8.3.2 Recipientes de almacenamiento

065

lab consumables & labware

ISO BOTTLES - "polypropylene"



- These impact resistant, easily recyclable, leak proof and excellently thermal stable bottles are autoclavable at max. 121°C.
- Manufactured from glass-like transparent special grade polypropylene.
- Angled neck form allows the liquid to flow out without any restrictions.
- GL 45 bottle neck provides easy filling and pouring. Unique neck design with moulded pouring ring prevents drops and liquid splash.
- Cap is made from polypropylene large ridges for increased grip with self sealing lock and integral security ring.
- Unique cap inner design ensures hermetical closure and guarantees an excellent leak and contamination proof bottle.
- Embossed volume graduation on side wall enables viewing of liquid level and reproducible filling of the bottle without use of cylinders or beakers.
- Sterile bottles are produced under germ-free sterile conditions with extreme protocols or sterility control then sent to gamma irradiation for further sterilisation.

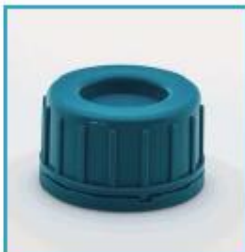
clear bottle non-sterile	clear bottle sterile	bottle volume	pack quantity
061.15.100	061.16.100	100 ml	100 pieces / pack
061.15.250	061.16.250	250 ml	100 pieces / pack
061.15.500	061.16.500	500 ml	100 pieces / pack
061.15.901	061.16.901	1000 ml	50 pieces / pack
061.15.902	061.16.902	2000 ml	50 pieces / pack



Caps are made from robust and thick polypropylene with large ridges for increased grip.



Unique neck design with moulded pouring ring prevents drops and liquid splash.



Unique design of the cap with intended top plate guarantees tight and leakproof closure.



Integral security ring of the cap ensures safe and untouched protection of the bottle content.

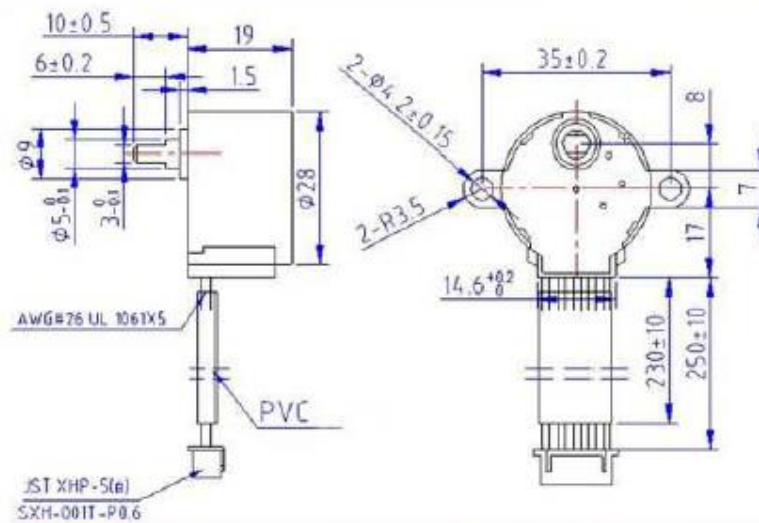
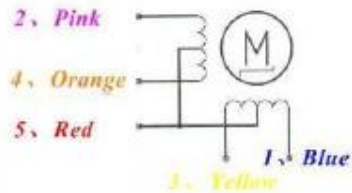
8.3.3 Motor a pasos

28BYJ-48 – 5V Stepper Motor

The 28BYJ-48 is a small stepper motor suitable for a large range of applications.



Rated voltage :	5VDC
Number of Phase	4
Speed Variation Ratio	1/64
Stride Angle	5.625°/64
Frequency	100Hz
DC resistance	50Ω±7%(25°C)
Idle In-traction Frequency	> 800Hz
Idle Out-traction Frequency	> 1000Hz
In-traction Torque	>34.3mN.m(120Hz)
Self-positioning Torque	>34.3mN.m
Friction torque	600-1200 gf.cm
Pull in torque	300 gf.cm
Insulated resistance	>10MΩ(500V)
Insulated electricity power	600VAC/1mA/1s
Insulation grade	A
Rise in Temperature	<40K(120Hz)
Noise	<35dB(120Hz, No load, 10cm)
Model	28BYJ-48 – 5V



8.3.4 Controlador de motor a pasos



ULN2002A/ ULN2003A/ ULN2004A

HIGH VOLTAGE, HIGH CURRENT
DARLINGTON TRANSISTOR ARRAYS

Description

The ULN2002A, ULN2003A and ULN2004A are high voltage, high current Darlington arrays each containing seven open collector common emitter pairs. Each pair is rated at 500mA. Suppression diodes are included for inductive load driving, the inputs and outputs are pinned in opposition to simplify board layout.

Device options are designed to be compatible with common logic families:

- ULN2002A (14-25V PMOS)
- ULN2003A (5V TTL, CMOS)
- ULN2004A (6-15V CMOS, PMOS)

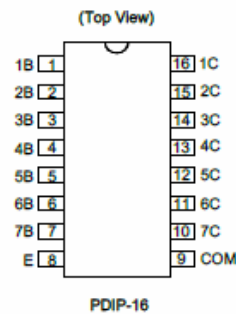
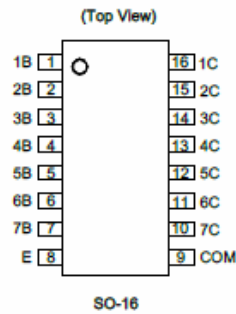
These devices are capable of driving a wide range of loads including solenoids, relays, DC motors, LED displays, filament lamps, thermal print-heads and high-power buffers.

The ULN2002A, ULN2003A and ULN2004A are available in both a small outline 16-pin package (SO-16) and PDIP-16 package.

Features

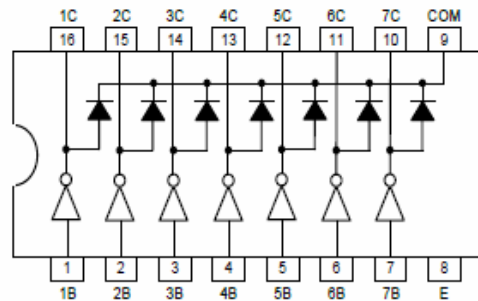
- 500mA Rated Collector Current (Single Output)
- High Voltage Outputs: 50V
- Output Clamp Diodes
- Inputs Compatible with Popular Logic Types
- Relay Driver Applications
- "Green" Molding Compound (No Br, Sb)
- **Totally Lead-Free & Fully RoHS Compliant (Notes 1 & 2)**
- **Halogen and Antimony Free. "Green" Device (Note 3)**

Pin Assignments



- Notes:
1. No purposely added lead. Fully EU Directive 2002/95/EC (RoHS) & 2011/65/EU (RoHS 2) compliant.
 2. See http://www.diodes.com/quality/lead_free.html for more information about Diodes Incorporated's definitions of Halogen- and Antimony-free, "Green" and Lead-free.
 3. Halogen- and Antimony-free "Green" products are defined as those which contain <900ppm bromine, <900ppm chlorine (<1500ppm total Br + Cl) and <1000ppm antimony compounds.

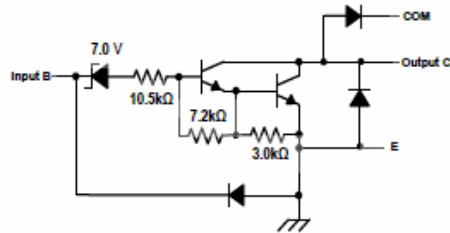
Connection Diagram



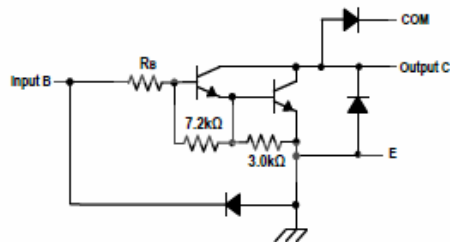
Pin Descriptions

Pin Number	Pin Name	Function
SO-16/PDIP-16		
1	1B	Input Pair 1
2	2B	Input Pair 2
3	3B	Input Pair 3
4	4B	Input Pair 4
5	5B	Input Pair 5
6	6B	Input Pair 6
7	7B	Input Pair 7
8	E	Common Emitter (Ground)
9	COM	Common Clamp Diodes
10	7C	Output Pair 7
11	6C	Output Pair 6
12	5C	Output Pair 5
13	4C	Output Pair 4
14	3C	Output Pair 3
15	2C	Output Pair 2
16	1C	Output Pair 1

Functional Block Diagram



ULN2002A



ULN2003A: $R_B = 2.7k$
ULN2004A: $R_B = 10.5k$

ULN2003A, ULN2004A

Absolute Maximum Ratings (Note 4) (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Rating	Unit	
V _{CC}	Collector to Emitter Voltage	50	V	
V _R	Clamp Diode Reverse Voltage (Note 5)	50	V	
V _I	Input Voltage (Note 5)	30	V	
I _{CP}	Peak Collector Current	500	mA	
I _{CK}	Output Clamp Current	500	mA	
I _{RE}	Total Emitter Current	-2.5	A	
θ _{JA}	Thermal Resistance Junction-to-Ambient (Note 6)	SO-16	63.0	°C/W
		PDIP-16	50.0	
θ _{JC}	Thermal Resistance Junction-to-Case (Note 7)	SO-16	12.0	°C/W
		PDIP-16	15.0	
T _J	Junction Temperature	+150	°C	
T _{STG}	Storage Temperature	-65 to +150	°C	

- Notes:
- Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only. Functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
 - All voltage values are with respect to the emitter/substrate terminal E, unless otherwise noted.
 - Maximum power dissipation is a function of T_{J(max)}, θ_{JA} and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is P_D = (T_{J(max)} - T_A)/θ_{JA}. Operating at the absolute maximum T_J of +150°C can affect reliability.
 - Maximum power dissipation is a function of T_{J(max)}, θ_{JC} and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is P_D = (T_{J(max)} - T_C)/θ_{JC}. Operating at the absolute maximum T_J of +150°C can affect reliability.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
V _{CC}	Collector to Emitter Voltage	—	50	V
T _A	Operating Ambient Temperature	-40	+105	°C

Electrical Characteristics (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

ULN2002A								
Symbol	Parameter	Test Figure	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit	
V _{I(ON)}	On State Input Voltage	6	V _{CE} = 2V, I _C = 300mA	—	—	13	V	
V _{CE(SAT)}	Collector Emitter Saturation Voltage	5	I _I = 250μA, I _C = 100mA	—	0.9	1.1	V	
			I _I = 350μA, I _C = 200mA	—	1	1.3		
			I _I = 500μA, I _C = 350mA	—	1.2	1.6		
V _F	Clamp Forward Voltage	8	I _F = 350mA	—	1.7	2	V	
I _{CEX}	Collector Cut-off Current	1	V _{CE} = 50V, I _I = 0	—	—	50	μA	
		2	V _{CE} = 50V, T _A = +105°C, I _I = 0, V _I = 6V	—	—	500		
I _{I(OFF)}	Off State Input Current	3	V _{CE} = 50V, I _C = 500μA	50	65	—	μA	
I _I	Input Current	4	V _I = 17V	—	0.82	1.25	mA	
I _R	Clamp Reverse Current	7	V _R = 50V	T _A = +105°C	—	—	100	μA
				—	—	—	50	
C _I	Input Capacitance	—	V _I = 0, f = 1MHz	—	—	25	pF	

Electrical Characteristics (Cont.) (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

ULN2003A							
Parameter	Test Figure	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit	
V _{I(ON)}	On State Input Voltage	V _{CE} = 2V	I _C = 200mA	—	—	2.4	V
			I _C = 250mA	—	—	2.7	
			I _C = 300mA	—	—	3	
V _{CE(SAT)}	Collector Emitter Saturation Voltage	I _I = 250μA, I _C = 100mA	I _I = 350μA, I _C = 200mA	—	0.9	1.1	V
			I _I = 500μA, I _C = 200mA	—	1	1.3	
			I _I = 500μA, I _C = 350mA	—	1.2	1.6	
V _F	Clamp Forward Voltage	I _F = 350mA	—	1.7	2	V	
I _{CEX}	Collector Cut-off Current	V _{CE} = 50V, I _I = 0	—	—	50	μA	
		V _{CE} = 50V, T _A = +105°C, I _I = 0	—	—	100		
I _{I(OFF)}	Off State Input Current	V _{CE} = 50V, I _C = 500μA	50	65	—	μA	
I _I	Input Current	V _I = 3.85V	—	0.93	1.35	mA	
I _R	Clamp Reverse Current	V _R = 50V	T _A = +105°C	—	—	100	μA
			—	—	—	50	
C _I	Input Capacitance	V _I = 0, f = 1MHz	—	15	25	pF	
ULN2004A							
Parameter	Test Figure	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit	
V _{I(ON)}	On State Input Voltage	V _{CE} = 2V	I _C = 125mA	—	—	5	V
			I _C = 200mA	—	—	6	
			I _C = 275mA	—	—	7	
			I _C = 350mA	—	—	8	
V _{CE(SAT)}	Collector Emitter Saturation Voltage	I _I = 250μA, I _C = 100mA	I _I = 350μA, I _C = 200mA	—	0.9	1.1	V
			I _I = 500μA, I _C = 200mA	—	1	1.3	
			I _I = 500μA, I _C = 350mA	—	1.2	1.6	
V _F	Clamp Forward Voltage	I _F = 350mA	—	1.7	2	V	
I _{CEX}	Collector Cut-off Current	V _{CE} = 50V, I _I = 0	—	—	50	μA	
		V _{CE} = 50V, T _A = +105°C, I _I = 0, V _I = 8V	—	—	100		
I _{I(OFF)}	Off State Input Current	V _{CE} = 50V, I _C = 500μA	50	65	—	μA	
I _I	Input Current	V _I = 5V	—	0.35	0.5	mA	
I _R	Clamp Reverse Current	V _R = 50V	T _A = +105°C	—	—	100	μA
			—	—	—	50	
C _I	Input Capacitance	V _I = 0, f = 1MHz	—	15	25	pF	

Electrical Characteristics (Cont.) (@T_A = -40°C to +105°C, unless otherwise specified.)

ULN2003A							
Parameter	Test Figure	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit	
V _{I(ON)}	On State Input Voltage	V _{CE} = 2V	I _C = 200mA	—	—	2.7	V
			I _C = 250mA	—	—	2.9	
			I _C = 300mA	—	—	3	
V _{CE(SAT)}	Collector Emitter Saturation Voltage	I _I = 250μA, I _C = 100mA	—	0.9	1.2	V	
		I _I = 350μA, I _C = 200mA	—	1	1.4		
		I _I = 500μA, I _C = 350mA	—	1.2	1.7		
V _F	Clamp Forward Voltage	I _F = 350mA	—	1.7	2.2	V	
I _{CEX}	Collector Cut-off Current	V _{CE} = 50V, I _I = 0	—	—	100	μA	
I _{I(OFF)}	Off State Input Current	V _{CE} = 50V, I _C = 500μA	30	65	—	μA	
I _I	Input Current	V _I = 3.85V	—	0.93	1.35	mA	
I _R	Clamp Reverse Current	V _R = 50V	—	—	100	μA	
C _I	Input Capacitance	V _I = 0, f = 1MHz	—	15	25	pF	

Switching Characteristics (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A						
Parameter	Test figure	Min	Typ	Max	Unit	
t _{PLH}	Propagation Delay Time, Low to High Level Output	9	—	0.25	1	μs
t _{FHL}	Propagation Delay Time, High to Low Level Output	9	—	0.25	1	μs
V _{CH}	High Level Output Voltage after Switching	9 (V _S = 50V, I _O = 300mA)	V _S -20	—	—	mV

Switching Characteristics (@T_A = -40 to +105°C, unless otherwise specified.)

ULN2003A						
Parameter	Test figure	Min	Typ	Max	Unit	
t _{PLH}	Propagation Delay Time, Low to High Level Output	9	—	1	10	μs
t _{FHL}	Propagation Delay Time, High to Low Level Output	9	—	1	10	μs
V _{CH}	High Level Output Voltage after Switching	9 (V _S = 50V, I _O = 300mA)	V _S -50	—	—	mV

Parameter Measurement Circuits

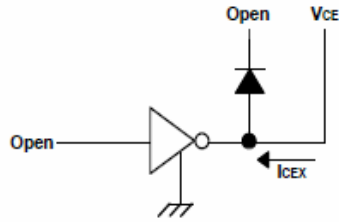


Fig.1 IcEX Test Circuit

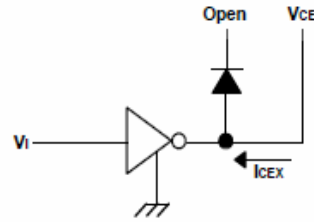


Fig.2 IcEX Test Circuit

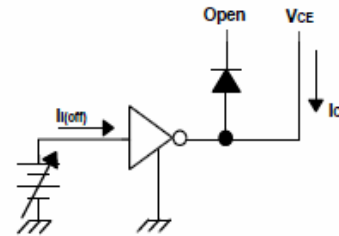


Fig.3 Ii(on) Test Circuit

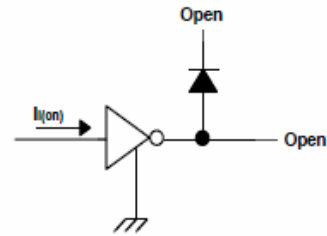


Fig.4 Ii Test Circuit

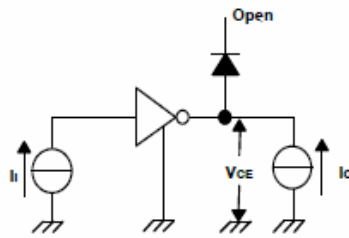


Fig.5 hFE, VCE(sat) Test Circuit

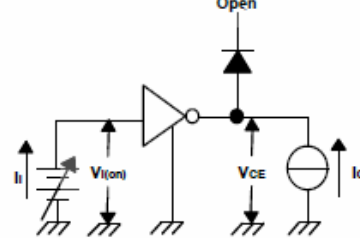


Fig.6 Vi(on) Test Circuit

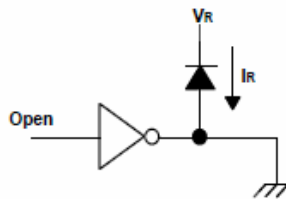


Fig.7 Ir Test Circuit

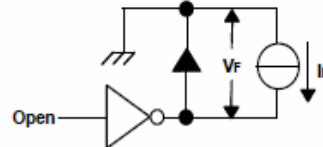


Fig.8 Vf Test Circuit

Parameter Measurement Circuits (Cont.)

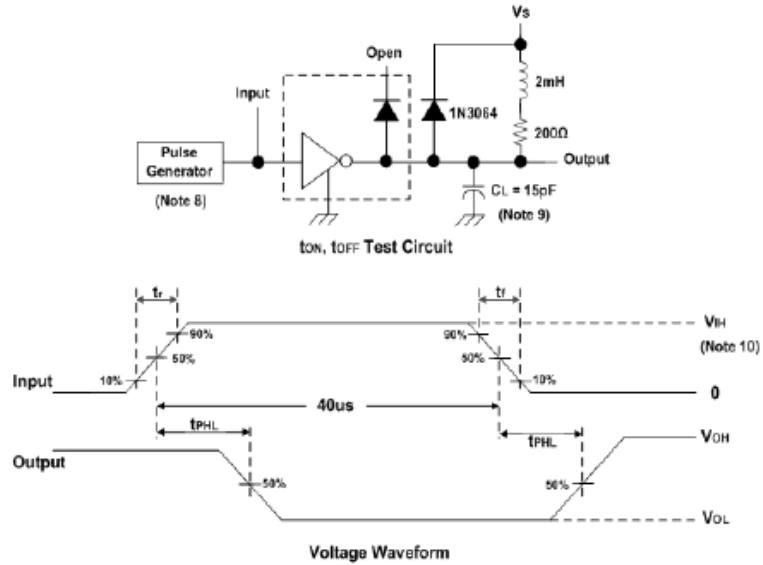
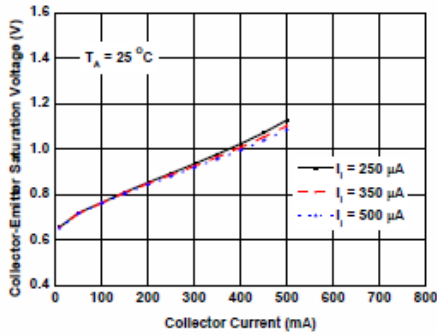


Fig. 9 Latch-Up Test Circuit and Voltage Waveform

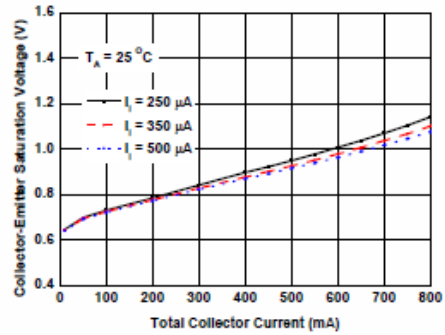
- Notes:
- 8. The pulse generator has the following characteristics: Pulse Width = 12.5Hz, output Impedance 50Ω, tr = 5ns, tr = 10ns.
 - 9. CL includes probe and jig capacitance.
 - 10. For testing the ULN2002A, VIL = 13V; for the ULN2003A, VIL = 3V; for the ULN2004A, VIL = 6V.

Typical Performance Characteristics

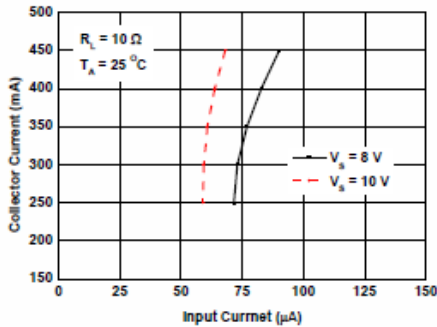
Collector-Emitter Saturation Voltage vs. Collector Current (One Darlington)



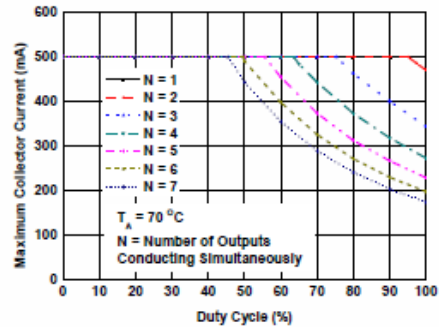
Collector-Emitter Saturation Voltage vs. Collector Current (Two Darlington in Parallel)



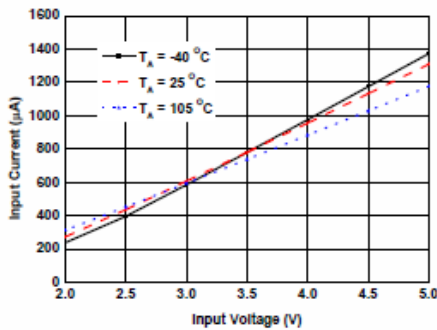
Collector Current vs. Input Current



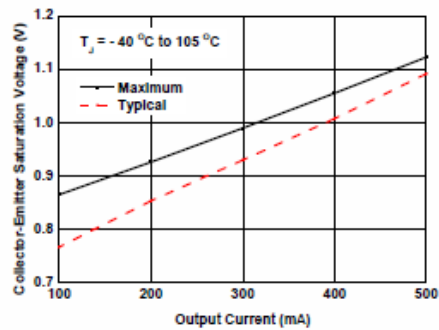
Maximum Collector Current vs. Duty Cycle



Input Current vs. Input Voltage

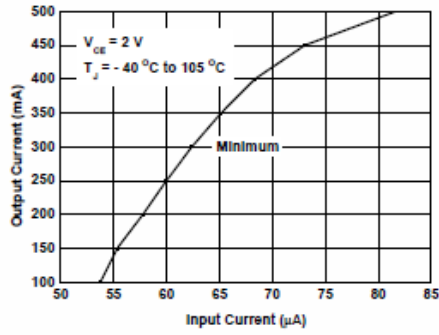


Collector-Emitter Saturation Voltage vs. Output Current

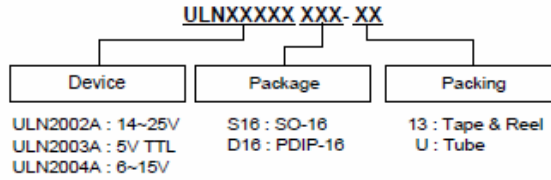


Typical Performance Characteristics (Cont.)

Output Current vs. Input Current



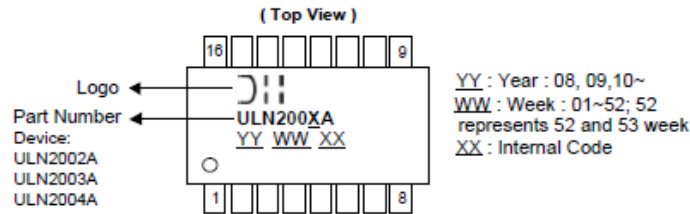
Ordering Information



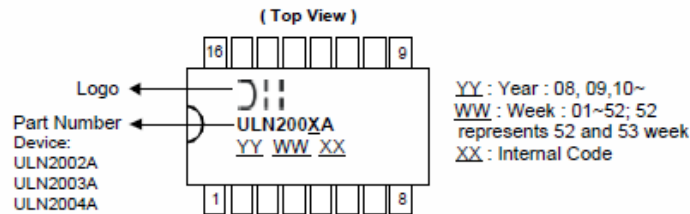
Part Number	Package Code	Package	13" Tape and Reel		Tube	
			Quantity	Part Number Suffix	Quantity	Part Number Suffix
ULN2002AS16-13	S16	SO-16	2,500/Tape & Reel	-13	NA	NA
ULN2003AS16-13	S16	SO-16	2,500/Tape & Reel	-13	NA	NA
ULN2004AS16-13	S16	SO-16	2,500/Tape & Reel	-13	NA	NA
ULN2002AD16-U	D16	PDIP-16	NA	NA	25/Tube	-U
ULN2003AD16-U	D16	PDIP-16	NA	NA	25/Tube	-U
ULN2004AD16-U	D16	PDIP-16	NA	NA	25/Tube	-U

Marking Information

(1) SO-16



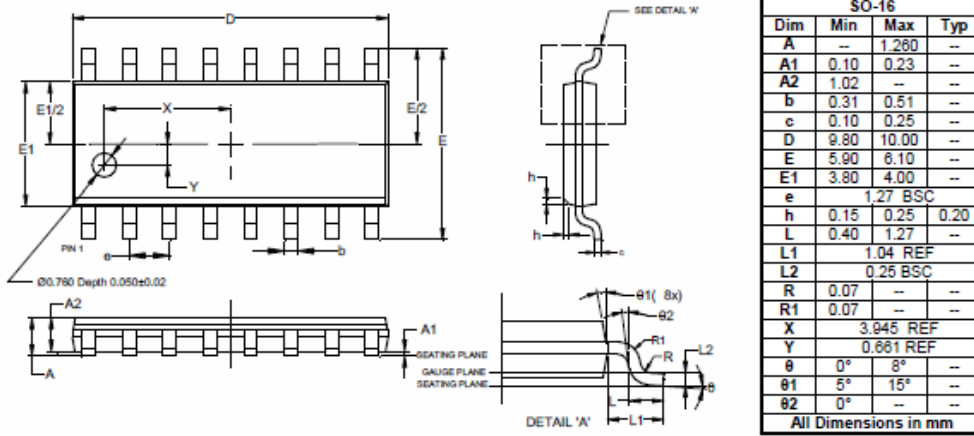
(2) PDIP-16



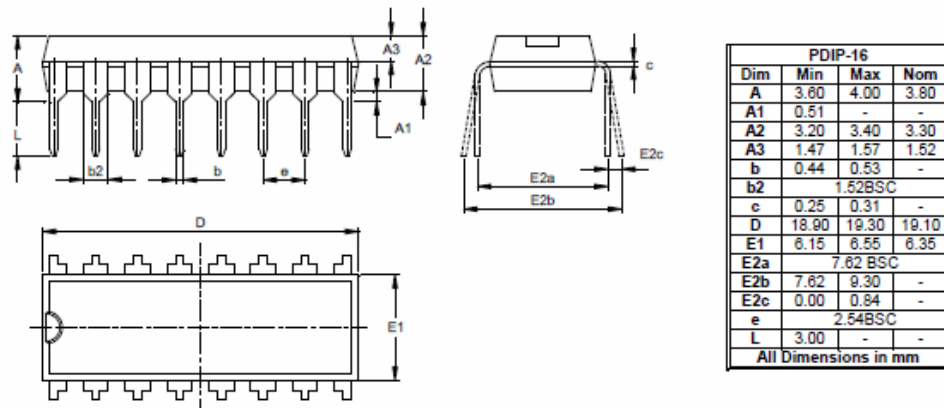
Package Outline Dimensions

Please see <http://www.diodes.com/package-outlines.html> for the latest version.

(1) Package Type: SO-16



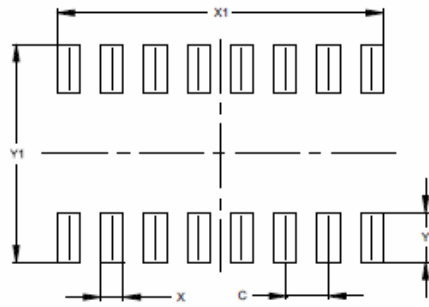
(2) Package Type: PDIP-16



Suggested Pad Layout

Please see <http://www.diodes.com/package-outlines.html> for the latest version.

(1) Package Type: SO-16



Dimensions	Value (in mm)
C	1.270
X	0.670
X1	9.560
Y	1.450
Y1	6.400

IMPORTANT NOTICE

DIODES INCORPORATED MAKES NO WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, WITH REGARDS TO THIS DOCUMENT, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (AND THEIR EQUIVALENTS UNDER THE LAWS OF ANY JURISDICTION).

Diodes Incorporated and its subsidiaries reserve the right to make modifications, enhancements, improvements, corrections or other changes without further notice to this document and any product described herein. Diodes Incorporated does not assume any liability arising out of the application or use of this document or any product described herein; neither does Diodes Incorporated convey any license under its patent or trademark rights, nor the rights of others. Any Customer or user of this document or products described herein in such applications shall assume all risks of such use and will agree to hold Diodes Incorporated and all the companies whose products are represented on Diodes Incorporated website, harmless against all damages.

Diodes Incorporated does not warrant or accept any liability whatsoever in respect of any products purchased through unauthorized sales channel. Should Customers purchase or use Diodes Incorporated products for any unintended or unauthorized application, Customers shall indemnify and hold Diodes Incorporated and its representatives harmless against all claims, damages, expenses, and attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized application.

Products described herein may be covered by one or more United States, international or foreign patents pending. Product names and markings noted herein may also be covered by one or more United States, international or foreign trademarks.

This document is written in English but may be translated into multiple languages for reference. Only the English version of this document is the final and determinative format released by Diodes Incorporated.

LIFE SUPPORT

Diodes Incorporated products are specifically not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the express written approval of the Chief Executive Officer of Diodes Incorporated. As used herein:

A. Life support devices or systems are devices or systems which:

1. are intended to implant into the body, or
2. support or sustain life and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

B. A critical component is any component in a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or to affect its safety or effectiveness.

Customers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their life support devices or systems, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of Diodes Incorporated products in such safety-critical, life support devices or systems, notwithstanding any devices- or systems-related information or support that may be provided by Diodes Incorporated. Further, Customers must fully indemnify Diodes Incorporated and its representatives against any damages arising out of the use of Diodes Incorporated products in such safety-critical, life support devices or systems.

Copyright © 2017, Diodes Incorporated

www.diodes.com

CR Series Electric Capacitive Type

Electric capacitive type proximity sensor

■ Features

- Sensing of iron, metal, plastic, water, stone, wood etc.
- Long life cycle and high reliability
- Integrated surge protection circuit
- Integrated reverse polarity protection circuit (DC type)
- Easy to adjust of the sensing distance with sensitivity adjuster
- Red LED status indication
- Easy to control of level and position



⚠ Please read "Caution for your safety" in operation manual before using.

■ Type

○ DC 3-wire type

Appearances	Model
M18	CR18-8DN
	CR18-8DP
	CR18-8DN2 *
M30	CR30-15DN
	CR30-15DP
	CR30-15DN2 *

○ AC 2-wire type

Appearances	Model
M18	CR18-8AO
	CR18-8AC
M30	CR30-15AO
	CR30-15AC

/ mark can be customized.

■ Specifications

Model	CR18-8DN CR18-8DP CR18-8DN2	CR30-15DN CR30-15DP CR30-15DN2	CR18-8AO CR18-8AC	CR30-15AO CR30-15AC
Sensing distance	8mm	15mm	8mm	15mm
Hysteresis	Max. 20% of sensing distance			
Standard sensing target	50×50×1mm (Iron)			
Setting distance	0 to 5.6mm	0 to 10.5mm	0 to 5.6mm	0 to 10.5mm
Power supply (Operating voltage)	12-24VDC (10-30VDC)		100-240VAC (85-264VAC)	
Current consumption	Max. 15mA		Max. 2.2mA	
Leakage consumption	—		Max. 2.2mA	
Response frequency(*1)	50Hz		20Hz	
Residual voltage	Max. 1.5V		Max. 20V	
Affection by Temp.	±10% Max. for sensing distance at 20°C within temperature range of -25 to 70°C			
Control output	Max. 200mA		Max. 5 to 200mA	
Insulation resistance	Min. 50MΩ (at 500VDC megger)			
Dielectric strength	1500VAC 50/60Hz for 1 minute			
Vibration	1mm amplitude at frequency of 10 to 55Hz in each of X, Y, Z directions for 2 hours			
Shock	500m/s ² (50G) in X, Y, Z direction for 3 times			
Indicator	Output operation indicator (Red LED)			
Ambient temperature	-25 to 70°C (at non-freezing status)			
Storage temperature	-30 to 80°C (at non-freezing status)			
Ambient humidity	35 to 95%RH			
Protection circuit	Surge protection circuit, Reverse polarity protection circuit		Overload & Short protection circuit	
Protection	IP66 (IEC standard)	IP65 (IEC standard)	IP66 (IEC standard)	IP65 (IEC standard)
Cable	φ4×3P, 2m		φ4×2P, 2m	
Material	CR18 Series ☞ Case and nut : PA6, General cable (Black) : Polyvinyl chloride (PVC) CR30 Series ☞ Case and nut : Nickel-plated brass, Washer : Nickel-plated steel, Sensing part : Heat-resistant ABS, General cable (Black) L. Polyvinyl chloride (PVC)			
Unit weight	Approx. 72g	Approx. 212g	Approx. 63g	Approx. 220g

*(*1) The response frequency is the average value. The standard sensing target is used and the width is set as 2 times of the standard sensing target, 1/2 of the sensing distance for the distance.

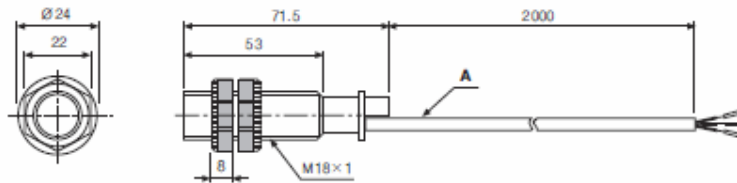
- (A) Photo electric sensor
- (B) Fiber optic sensor
- (C) Door/Area sensor
- (D) Proximity sensor**
- (E) Pressure sensor
- (F) Rotary encoder
- (G) Connector/Socket
- (H) Temp. controller
- (I) SSR/Power controller
- (J) Counter
- (K) Timer
- (L) Panel meter
- (M) Tacho/Speed/Pulse meter
- (N) Display unit
- (O) Sensor controller
- (P) Switching power supply
- (Q) Stepping motor & Driver & Controller
- (R) Graph of Logic panel
- (S) Field network device
- (T) Protection stoppage mode & replacement

CR Series

Dimensions

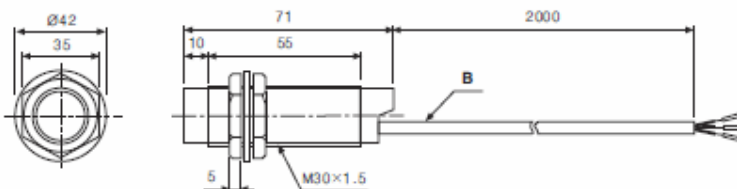
●CR18-8D□

●CR18-8A□



●CR30-15D□

●CR30-15A□

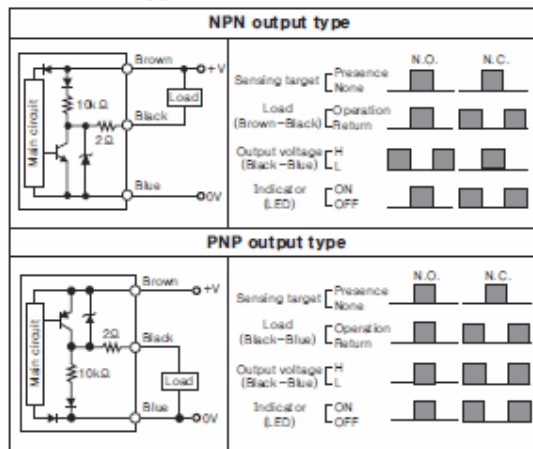


※*A* type : ϕ 4, 2 cores / ϕ 4, 3 cores (Conductor cross section: 0.3mm², Insulator diameter: ϕ 1.25)
 ※*B* type : ϕ 5, 2 cores / ϕ 5, 3 cores (Conductor cross section: 0.3mm², Insulator diameter: ϕ 1.25)

(Unit: mm)

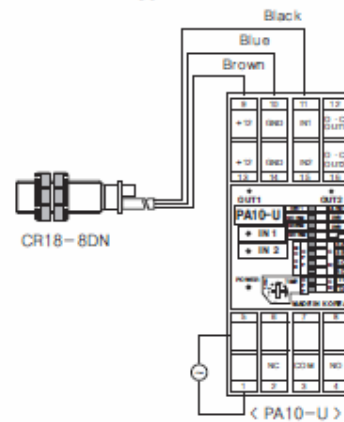
Control output diagram

DC 3-wire type

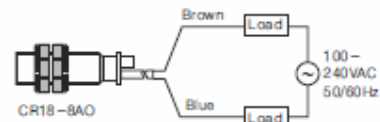


Connections

DC 3-wire type



AC 2-wire type



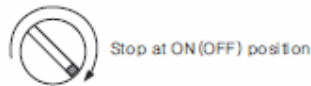
※The load can be connected to either wire.

Electric Capacitive Type

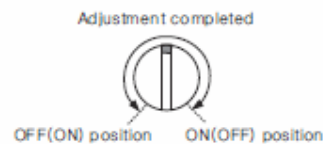
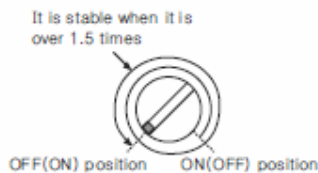
■ Sensitivity adjustment

Please turn potentio VR to set sensitivity as below procedure.

- 1 Without a sensing object, turn the potentio VR to the right and stop at the proximity sensor is ON(OFF).
- 2 Put the object in right sensing position, turn the potentio VR to the left and stop at the proximity sensor is OFF(ON).



- 3 If the difference of the number of potentio VR rotation between the ON(OFF) point and the OFF(ON) point is more than 1.5 turns, the sensing operation will be stable.
- 4 If it is set in sensitivity adjustment position of potentio VR at center between 1 and 2, sensitivity setting will be completed.



※ When there is distance fluctuation between proximity sensor and the target, please adjust 2 at the farthest distance from this unit.

※ Turning potentio VR toward clockwise, it will be max. and turning toward counter clockwise, it will be min. the number of adjustment should be 15 ± 3 revolution and if it is turned to the right or left excessively, it will not stop, but it idles without breakdown.

※ () is for Normally closed type.

■ Grounding

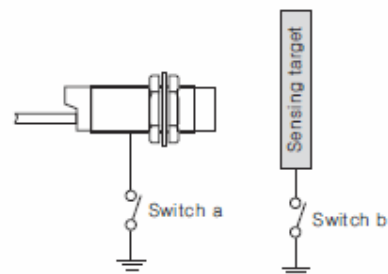
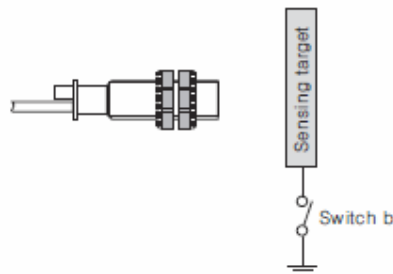
The sensing distance will be changed by grounding status of capacitive proximity sensor and the target [50×50×1mm (Iron)]. Please check the material when installing it on panel.

● CR18 Series

Ground condition (Switch b)	ON	OFF
Operating distance (mm)	8	4

● CR30 Series

Ground condition	Switch a	ON	OFF	ON	OFF
	Switch b	ON	ON	OFF	OFF
Operating distance (mm)		15	18	6	6

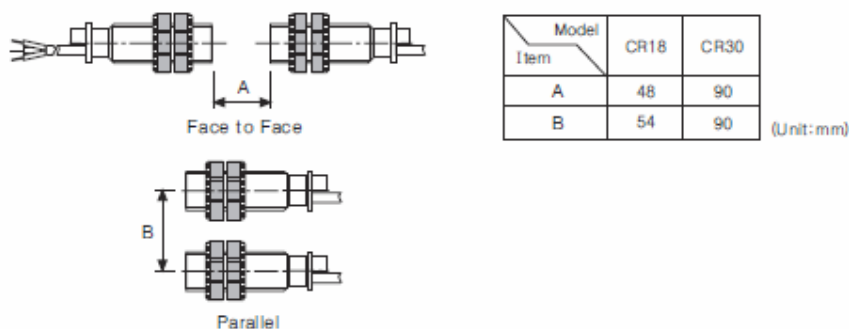


- (A) Photo electric sensor
- (B) Fiber optic sensor
- (C) Door/Axis sensor
- (D) Proximity sensor**
- (E) Pressure sensor
- (F) Rotary encoder
- (G) Connector/Socket
- (H) Temp. controller
- (I) SSR/Power controller
- (J) Counter
- (K) Timer
- (L) Panel meter
- (M) Tacho/Speed/Pulse meter
- (N) Display unit
- (O) Sensor controller
- (P) Switching power supply
- (Q) Stepping motor & Driver & Controller
- (R) Graph of Logic panel
- (S) Field network device
- (T) Production stoppage mode & replacement

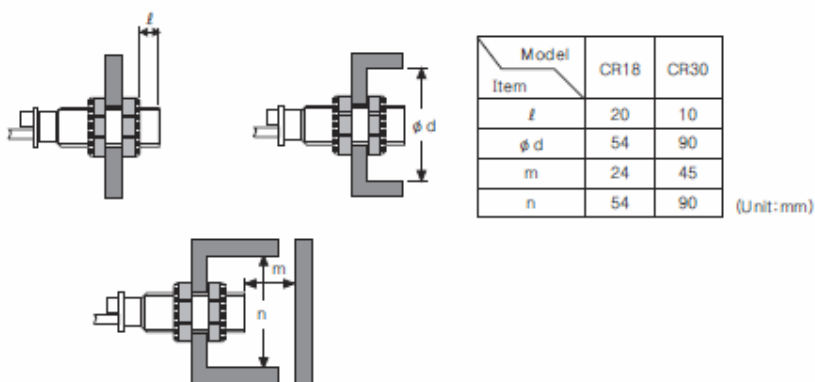
CR Series

■ Mutual-interference & Influence by surrounding metals

When several proximity sensors are mounted close to one another a malfunction of the sensor may be caused due to mutual interference. Therefore, be sure to provide a minimum distance between the two sensors as below chart indicates.



When sensors are mounted on metallic panel, you must prevent the sensors from being affected by any metallic object except target. Therefore, be sure to provide a minimum distance as below chart indicates.



■ Materials

○ Materials of sensing targets

Sensing distance may be different by electrical characteristic of sensing target (conductivity, non dielectric constant) and status of water absorption, size etc.

○ Effect by high frequency electrical field

It may cause malfunction by machinery which generate high frequency of electrical field such as a washing machine etc.

○ Surrounding environment

There is water or oil on surface of sensing part, it may cause malfunction.

If the bottle for sensing of level is coated by oil etc., it may cause malfunction.

Especially, 15mm type has high sensitivity for induced objects, please be careful of waterdrops.

○ Oil

Do not let the oil or oil liquid is flowed into the sensor, the case is made by plastic.

8.4 Instrucciones de ensamblaje

En esta sección se incluye un manual elaborado como guía para el ensamblaje del dispositivo.

Secuenciador múltiple para el muestreo de agua de lluvia

Instrucciones de ensamblaje



Juan Antonio Hernández Magaña

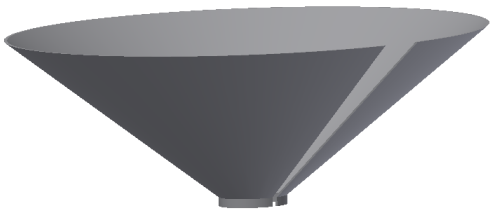
Componentes

El Secuenciador múltiple para el muestreo de agua de lluvia está integrado por los siguientes componentes:

1. Cono de captación (1)
2. Múltiple (1)
3. Distribuidor (1)
4. Sello de hule (1)
5. Flecha del distribuidor (1)
6. Balero (1)
7. Tubos de alimentación (18)
8. Codos (18)
9. Adaptador macho (18)
10. Adaptador para insertar (18)
11. Recipientes de almacenamiento con tapa (18)
12. Tuercas para niveladores (3)
13. Niveladores (3)
14. Base (1)
15. Pared lateral (1)
16. Sensor capacitivo (1)
17. Motor a pasos (1)
18. Controlador del motor (1)
19. Controlador Arduino (1)
20. Cables para conexión (1 juego)
21. Flecha del distribuidor (1)
22. Fuente de poder 5V (1)

Ensamblado

Paso 1

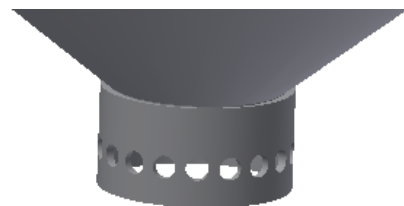


El cono de captación se encuentra en forma de desarrollo plano, por lo que se debe realizar el doblado y pegar las aristas de los extremos para formar el cono.

De igual forma la pared lateral se encuentra en forma de láminas planas, por lo que se debe pegar las aristas de los extremos para formar la pared de un cilindro.

Paso 2

Realizar la unión del múltiple con el cono, esta unión se realiza pegando ambas partes, pues formarán a partir de este momento una sola pieza. La parte de abajo del cono entra en la parte superior del múltiple de forma exacta, colocar sellador entre ambas y dejar secar.



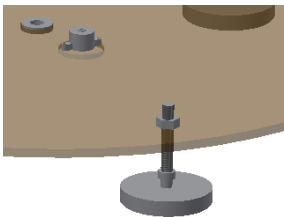
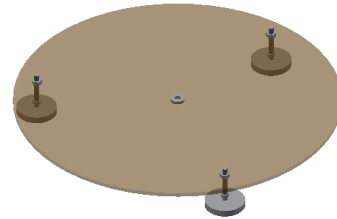


Paso 3

Pegar el sello de hule y la flecha al distribuidor. El sello debe adherirse al distribuidor y pegarse con sellador para formar una sola pieza. Verificar que esta pieza gire con un poco de resistencia dentro del múltiple. La flecha se coloca en la parte de abajo del distribuidor, también debe pegarse con sellador.

Paso 4

Realizar el ensamblaje de la tapa inferior o base. Se deben fijar las tuercas para los niveladores de manera que coincidan con los orificios en la orilla de la base. Además se debe fijar el balero en la ranura del centro de la base. Los niveladores se colocarán en cada una de las tuercas.



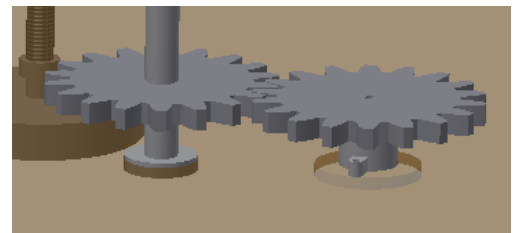
Paso 5

Realizar las conexiones del controlador Arduino con el motor y el sensor y fijar el motor a la base en el lugar indicado en la base.

Las conexiones se harán siguiendo los diagramas de conexión anexos. El motor se fija a la base con los tornillos incluidos en el motor.

Paso 6

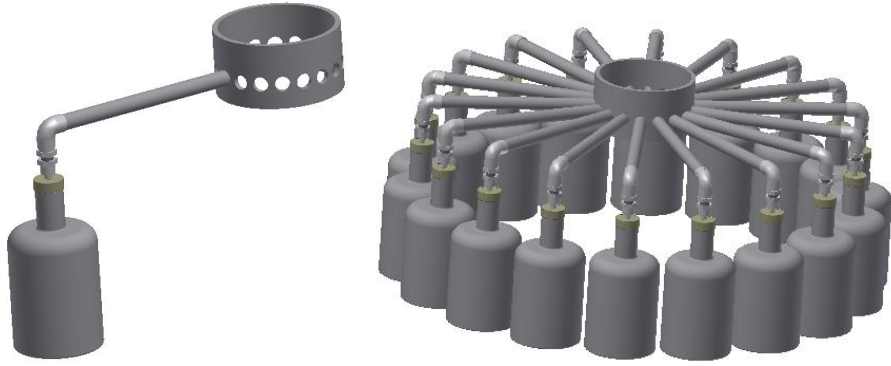
Acoplar los engranes. El engrane del motor se acopla en la flecha del mismo de manera directa. El engrane del distribuidor se acopla a la flecha del mismo en donde tiene libertad para deslizarse, para colocarlo a la altura adecuada se debe acoplar la flecha en el balero hasta el fondo y deslizar el engrane hasta que se acople perfectamente con el engrane del motor, una vez en su posición debe ser fijado. Colocar el sensor en el lugar señalado en la flecha.



Paso 7

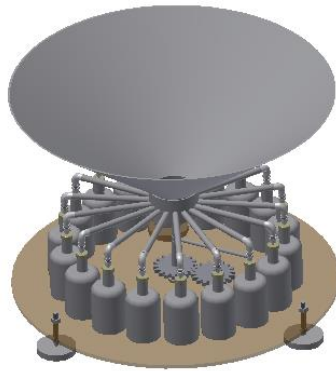


Ensamblar los recipientes y tuberías. En cada una de las perforaciones del múltiple debe fijarse un tubo de PVC, al otro extremo de los tubos se deben fijar los codos orientados hacia abajo, en el otro extremo de cada codo se debe fijar un adaptador macho. Por otra parte las tapas de los recipientes han sido modificadas para permitir la inserción del adaptador insertable, insertar los adaptadores en las tapas y colocar las tapas en los frascos. El adaptador insertable se enrosca en el adaptador macho para poner a funcionar el dispositivo, cuando se extraen las muestras se coloca un tapón macho en el adaptador insertable.



Paso 8

Realizar el ensamble final. Acoplar nuevamente la flecha del distribuidor en el balero, posteriormente colocar el múltiple con la tubería pero sin las botellas, una vez colocado enroscar cada una de las botellas, estas deben descansar en la base pero el tubo del múltiple no debe estar muy doblado, debe estar lo más horizontalmente posible. Una vez colocadas todas las botellas girar la flecha hasta colocar el sensor frente a una de ellas.

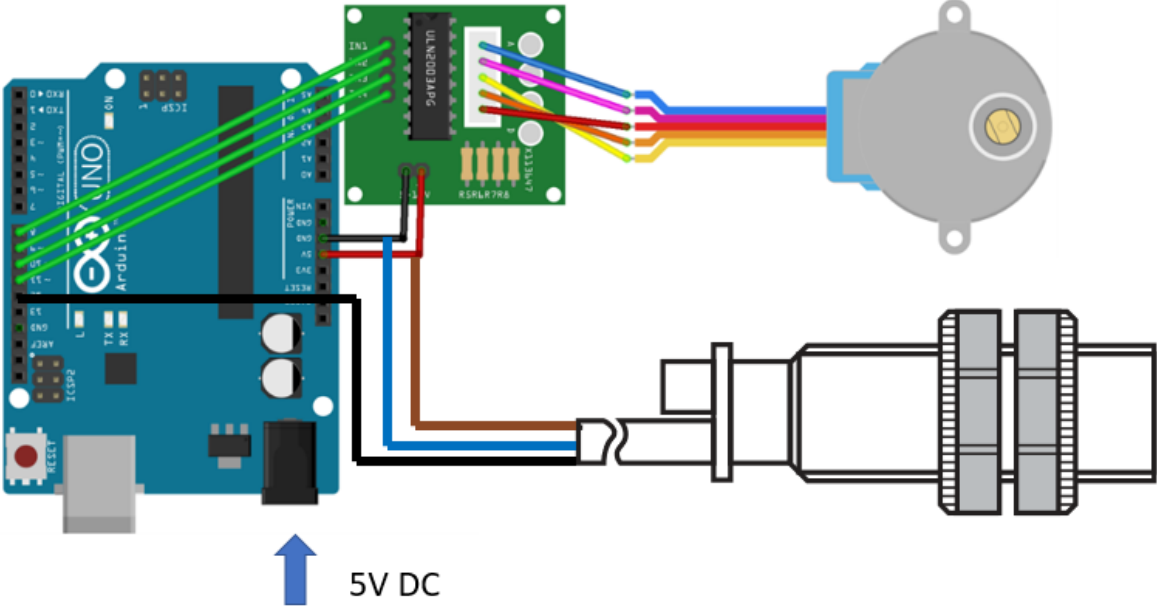


Paso 9

Colocación de la pared lateral. Finalmente se debe colocar la pared lateral, la cual se ensambla por la parte externa de la base y por debajo del cono y se fija a través de pernos ubicados en la base.



Diagrama de conexión Sensor capacitivo y motor a pasos



8.5 Presupuesto

En esta sección se realiza un presupuesto estimado de los componentes del dispositivo, con precios comerciales de marzo 2018.

Secuenciador múltiple			
Componente	Cantidad	Precio unitario	Importe
Lámina de policarbonato	2	\$ 866.00	\$ 1,732.00
Pegamento para policarbonato	1	\$ 129.00	\$ 129.00
Distribuidor impresión 3d	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Tubo PVC 1/2 X 6m	1	\$ 35.00	\$ 35.00
Codos 90° 1/2	18	\$ 3.00	\$ 54.00
Adaptador para insertar 1/2	18	\$ 6.50	\$ 117.00
Adaptador macho 1/2	18	\$ 2.50	\$ 45.00
Frascos para laboratorio	18	\$ 47.00	\$ 846.00
Motor a pasos	1	\$ 200.00	\$ 200.00
Controlador ULN2003a	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Sensor capacitivo	1	\$ 150.00	\$ 150.00
Jumpers para conexión	1	\$ 40.00	\$ 40.00
Tuercas 1/2	3	\$ 460.00	\$ 1,380.00
Niveladores 100 mm	3	\$ 25.00	\$ 75.00
Engranajes (corte laser)	2	\$ 300.00	\$ 600.00
Controlador Arduino UNO	1	\$ 400.00	\$ 400.00
Eliminador 5V	1	\$ 160.00	\$ 160.00
Balero de bolas	1	\$ 70.00	\$ 70.00
Total			\$ 6,558.00

8.6 Manual de operación

En esta sección se incluye un manual para la operación del dispositivo, considerando su ensamble, la forma de utilizarlo y de obtener las muestras y algunos posibles problemas durante su operación.

Secuenciador múltiple para el muestreo de agua de lluvia

Manual de operación



Juan Antonio Hernández Magaña

Generalidades

El secuenciador múltiple para el muestreo de agua de lluvia es un dispositivo que ha sido diseñado para obtener diferentes muestras a partir de una tormenta de manera automática.

Para su funcionamiento requiere una conexión de 127 V o bien una batería de 5 V de larga duración.

Es un dispositivo de uso exterior y no requiere de protección al colocarse a la intemperie.

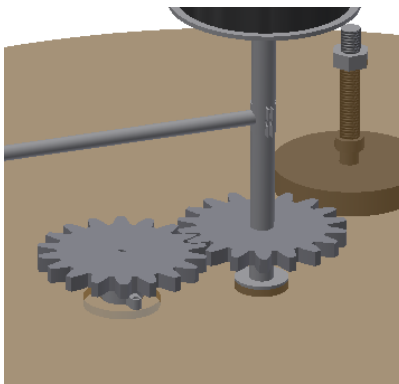
Ensamblaje

Para lo referente al ensamblaje pieza por pieza consultar las instrucciones de ensamblaje. En este documento se tratarán aquellas piezas que durante la operación del dispositivo se requiere ensamblar y desensamblar.

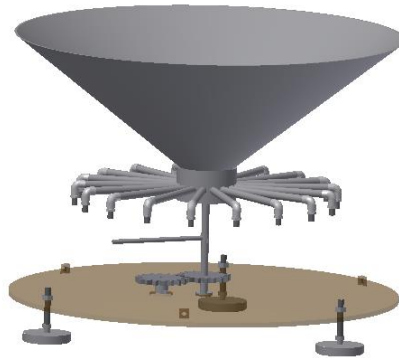
El dispositivo en su funcionamiento cotidiano se divide en 5 principales conjuntos:

- Conjunto Cono de captación-Múltiple
- Conjunto Distribuidor-Flecha
- Conjunto Base del dispositivo
- Conjunto Recipientes de almacenamiento
- Pared lateral

Para utilizar el dispositivo se debe ensamblar la flecha del conjunto Distribuidor-Flecha en el balero central del conjunto Base del dispositivo, verificando el correcto ensamble de los engranes en cada uno de ellos.



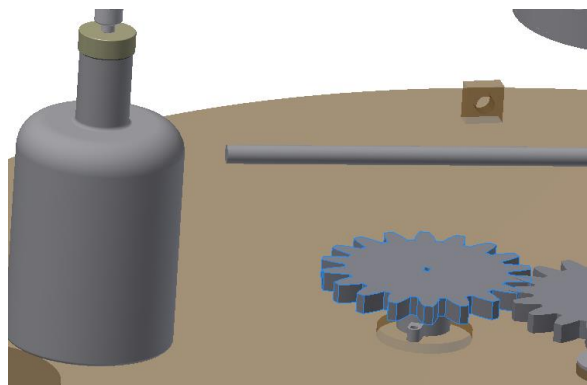
Posteriormente se ensambla el conjunto Cono de captación-Múltiple con el Conjunto Distribuidor-Flecha insertando el múltiple en el distribuidor.



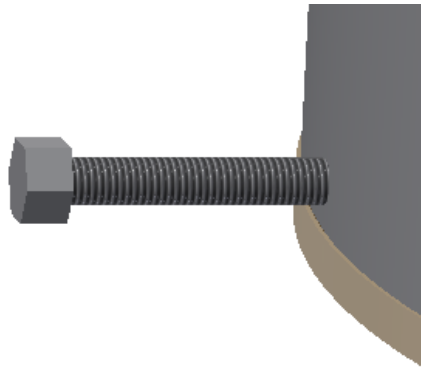
Después, se ensamblan cada uno de los recipientes de almacenamiento a las tuberías provenientes del múltiple a través de las roscas en los extremos de cada parte.



Es importante señalar que el sensor colocado en la flecha del distribuidor debe estar apuntando exactamente al frente de alguna botella.



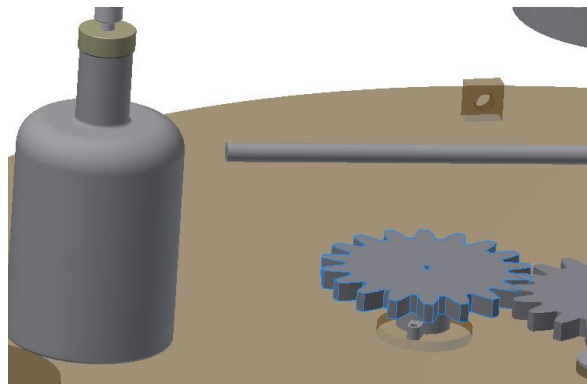
Finalmente se coloca la pared lateral colocando los pernos de sujeción con la Base.



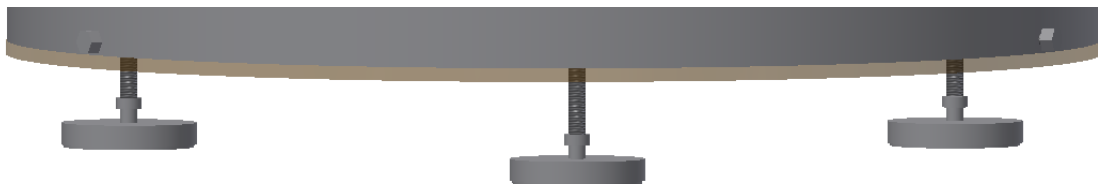
Preparación previa a la lluvia

El dispositivo funciona de manera automática, por lo que se requieren pocas atenciones a su operación, la más importante de ellas es asegurar el suministro de energía eléctrica, a través de un eliminador de corriente de 127V a 5V conectado al suministro eléctrico, o bien a través de una batería.

Otro punto importante que ya fue señalado previamente pero que es fundamental para el correcto funcionamiento del dispositivo es verificar que el sensor incorporado se encuentre apuntando directamente a una de las botellas, de lo contrario no se realizará la toma de muestras.



El dispositivo puede ser colocado en casi cualquier superficie, recomendándose más las superficies planas y abiertas al cielo, una vez seleccionado el lugar que ocupará, se debe corroborar la nivelación del dispositivo, ajustando de ser necesario los niveladores en la parte baja de la base para lograr una posición adecuada.

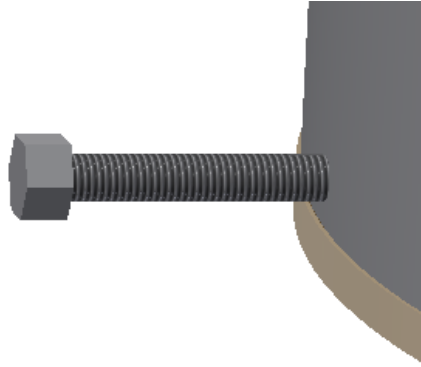


Durante la lluvia el dispositivo realizará el muestreo de manera automática, no es necesario intervenir en ese proceso.

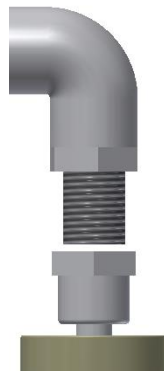
Recolección de muestras

Una vez terminada la lluvia, se deben recolectar las muestras, para esto es necesario desmontar parte del dispositivo.

Primero se debe retirar la pared lateral quitando los pernos de sujeción con la base.



Posteriormente se deben desacoplar los recipientes de las tuberías del múltiple desenroscando los componentes.



Para asegurar la preservación de las muestras colocar un tapón macho en cada botella y posteriormente llevarlas al laboratorio.



Preparación para un nuevo evento

Una vez que se han obtenido las muestras, el dispositivo está listo para volver a funcionar, únicamente hay que reensamblar los recipientes de almacenamiento la tapa, verificando la correcta posición del sensor.

Revisión y mantenimiento

Para el correcto funcionamiento del dispositivo y para asegurar una mayor vida útil es necesario llevar a cabo algunas acciones de prevención (revisiones) y mantenimiento.

Las siguientes revisiones pueden realizarse cada vez que se desensamble el dispositivo para la extracción de muestras.

1. Revisar la superficie de captación.
El cono de captación debe estar libre de basura, polvo u otro material, como prevención puede realizarse una limpieza con el cono desmontado utilizando agua y posteriormente desinfectado con un paño con alcohol.
2. Revisar el sellado del distribuidor con el múltiple.
El distribuidor debe entrar de manera exacta en el múltiple y debe girar con un poco de resistencia, si gira libremente o se siente que existe juego entre estas dos partes, es necesario cambiar el sello.
3. Revisar el acoplamiento de la flecha en el balero.
Estas dos piezas deben embonar perfectamente, si existe juego la flecha se desbalanceará y afectará el sellado, de ser así es necesario cambiar la flecha.
4. Revisar el rodamiento del balero.
El balero debe girar libremente al estar totalmente desacoplado de la flecha, de no ser así es necesario lubricarlo o reemplazarlo.
5. Revisar el acoplamiento de los engranes.
Los dientes de los dos engranes deben acoplarse casi de manera exacta, si se observa juego, es necesario ajustar un poco la posición del motor, o bien cambiar los engranes, pues de ellos depende la correcta posición y el llenado de los recipientes.
6. Revisar las conexiones.
No deben presentarse indicios de fugas o goteos en las diferentes conexiones y tuberías, en caso de ser así sellar la fuga o cambiar el componente.
7. Revisar el cableado
EL cableado debe estar en buenas condiciones, revisar posibles roturas, adelgazamientos, partes rasgadas, etc. Y de ser necesario reemplazar el cable dañado.
8. Revisar los niveladores
Estos deben de girar de forma libre en su tuerca y la parte de goma no debe tener grandes desgastes.

Adicionalmente se debe hacer una prueba operativa periódicamente con el fin de verificar el funcionamiento del dispositivo:

- En esta prueba, se desmontará la pared lateral con el fin de observar el movimiento al interior del dispositivo.

- Con el dispositivo conectado, verter agua en el cono de captación y observar si al momento de llegar al nivel de 500 ml en los frascos el sistema se mueve, de no ser así verificar si lo hace antes o después en cada uno de los frascos.
- Al momento de girar observar el comportamiento de la flecha y los engranes con el fin de detectar atrasos, “brincos” o deslizamientos. El movimiento debe ser suave y constante.
- Observar el chorro de agua cayendo en los recipientes, si el comportamiento es similar en todos nos indica una buena sincronización, si se detectan diferencias notables existe un error en el posicionamiento.
- Verificar al tacto la temperatura del motor, el sensor, los controladores, fuente de poder o batería y cableado, de notarse calentamiento excesivo en estos componentes pudiera ser necesario reemplazarlos.
- Observar que no existan fugas o goteos, de ser así verificar si es posible sellar la fuga o se requiere cambiar el componente afectado.

Problemas comunes

Solo se llena un frasco

Posibles causas

Sensor no funciona o se encuentra mal posicionado.

Solución

Desensamblar la pared lateral, revisar la alineación del sensor y colocarlo viendo exactamente al frente de una de las botellas, conectar el dispositivo y vaciar agua por el cono de captación, si al llenarse la botella el sistema no gira para comenzar a llenar una nueva botella, colocar el dedo en la punta del sensor si aún no gira el sensor o algún otro componente electrónico no funciona si esta vez gira el sensor está mal calibrado.

La superficie interna de la base tiene agua

Posibles causas

El sello está dañado

Solución

Se debe despegar el sello del distribuidor y reemplazarse.

Solo se llenan algunos frascos

Posibles causas

Existe un mal posicionamiento interno del distribuidor.

Solución

Revisar el ensamble de los engranes, de notarse holgura ajustar el motor para eliminarla. Realizar una prueba operativa y detectar atrasos, brincos o deslizamientos en el movimiento del distribuidor.

9 Conclusiones

Al revisar el estado del arte del muestreo de agua de lluvia, se encontró un gran interés por parte de los investigadores en el tema, pues resulta, para todas las investigaciones relacionadas con lluvia ácida, contaminación atmosférica, aprovechamiento pluvial, entre otras, una necesidad primordial el realizar muestreos de agua de lluvia; para realizar sus muestreos los investigadores han hecho uso de dispositivos creados por ellos, métodos de captación directa y de algunas tecnologías disponibles en el mercado, sin embargo no se encontró indicio de un aparato que permitiera obtener diferentes muestras de una sola lluvia, sino aparatos totalizadores ya sea de una tormenta o de la acumulación de varios días.

En la revisión de las dos alternativas de secuencia de muestreo, se encontraron notables diferencias al muestrear utilizando intervalos de tiempo y volúmenes o lámina de lluvia, dentro de las principales diferencias se encontró que en el muestreo por intervalos se obtendrían muestras con poca cantidad de lluvia, lo cual impide la realización de muchas pruebas de laboratorio que requieren un volumen mínimo para llevarse a cabo, mientras que en el muestreo por lámina de lluvia siempre se obtienen muestras con un volumen determinado suficiente para la realización de las pruebas; otra notable diferencia es que en el muestreo por intervalos de tiempo se tiene una especie de pluviógrafo analógico pues se observa el comportamiento de la lluvia con el paso del tiempo, lo cual es útil al momento de querer empatar información con el monitoreo atmosférico que presenta resultados en series de tiempo, en el muestreo por lámina de lluvia no se tiene esta observación, sin embargo los controladores electrónicos permiten llevar un registro de los tiempos de llenado de cada muestra, lo que permite homologar las muestras con series temporales. Analizando las diferencias entre los dos métodos, se decidió optar por el muestreo por lámina de lluvia al ser el método que más ventajas tenía y que permitiría adaptarse mejor a las necesidades de los investigadores.

En el desarrollo de este trabajo se conceptualizaron cuatro alternativas diferentes, siendo la más conveniente la del prototipo denominado secuenciador múltiple por tener un diseño más cómodo para su transporte, adaptabilidad para colocarse en diferentes lugares, solucionar de manera sencilla y eficiente el tema del hermetismo de las muestras y permitir su elaboración con materiales de más sencilla adquisición.

Se diseñó el dispositivo dividiéndolo en sistemas que realizaban acciones específicas y que en conjunto cumplían el objetivo del dispositivo, esta división permitió una mejor conceptualización y un diseño más detallado y completo de cada uno de los componentes, así como de las uniones, conexiones y diferentes relaciones entre ellos. Se utilizaron principios geométricos básicos y ayudas de diseño proporcionadas por el software Inventor de Autodesk en el caso del sistema de transmisión para el diseño de los engranes que lo componen. El diseño se basó también en el uso de piezas ya existentes, cosa que facilitará la adquisición de componentes y su ensamblaje.

El software Inventor de Autodesk fue una herramienta de gran ayuda, pues permitió realizar una simulación de los componentes y del dispositivo completo, así como de cada uno de los sistemas, esta simulación permitió llevar a cabo algunas consideraciones en el diseño de algunos componentes y fue fundamental en la visualización de espacios para el diseño de otros, siendo un caso excepcional el sistema de transmisión donde el software permitió diseñar de forma muy sencilla los engranes que lo componen.

En este trabajo se presentan además de los puntos expuestos anteriormente, los documentos que sirven como versión final del dispositivo, planos, instructivos, manuales, fichas técnicas, que permitirán materializar el dispositivo.

10 Bibliografía

- Angeles Corte, M. E. (1999). *Crecimiento de Amaranthus hypochondriacus L. en función de la calidad del agua de lluvia en la región oeste del Valle de México*. UNAM.
- Arias Hernández, L. A., Fuentes Galván, M. L., Ortiz Medel, J., & Carreño Aguilera, G. (2017). Estudios preliminares de la Calidad del agua de lluvia en la Ciudad de Guanajuato, Gto. Guanajuato, México: UPC. Departament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2117/108668>
- Bedoya-Montoya, C. M., & Medina-Restrepo, C. A. (2016). El concreto elaborado con aguas lluvia como aporte ambiental desde la construcción. *Concrete Prepared with Rain Water as an Environmental Contribution from the Construction.*, 25(41), 31–39. <https://doi.org/10.19053/01211129.4135>
- Bolton, W. (2010). *Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* (4a ed.). México: Alfaomega Grupo Editor.
- Breña Puyol, A. F., & Breña Naranjo, J. A. (2005). *Frecuencia de valores extremos en Hidrología* (Primera). México: Universidad de Colima.
- Calheiros, H. C., Gomes, M. R., & Anco Estrella, P. M. (2014). Calidad de las aguas meteóricas en la ciudad de Itajubá, Minas Gerais, Brasil. *Ambiente E Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 9(2), 17–35. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1329>
- Cetinkut, S. (2007). *Mecatrónica* (Primera). México: Grupo Editorial Patria.
- CONAGUA. (2016). Estadísticas del Agua en México, Edición 2016. *Publicaciones Estadísticas Y Geográficas. SINA*, 275. <https://doi.org/978-968-817-895-9>
- Doria Argumedo, C. J. (2017). Metales pesados (Cd, Cu, V, Pb) en agua lluvia de la zona de mayor influencia de la mina de carbón en La Guajira, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 46(2), 37. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v46n2.60533>
- Fonseca Duarte, A., Gioda, A., Ziolli, R., & Duó, D. (2013). Contaminación atmosférica y deposición húmeda en la Amazonia Brasileña. *Revista Cubana de Salud Publica*, 39(4), 627–639.
- Khan, M. N., & Sarwar, A. (2014). Chemical composition of wet precipitation of air pollutants: A case study in Karachi, Pakistan. *Atmosfera*, 27(1), 35–46. [https://doi.org/10.1016/S0187-6236\(14\)71099-9](https://doi.org/10.1016/S0187-6236(14)71099-9)
- Kozhevnikov, S. N., Yesispenko, Y. I., & Raskin, Y. M. (1970). *Mecanismos (Descripción de más de 2000 mecanismos utilizados en la mayoría de ramas de la industria)* (Tercera). Barcelona: Gustavo Gili S.A.
- Lara, E. R., Guardiola, R. M., Vásquez, Y. G., Rentería, I. B., Álvarez, H. B., Echeverría, R. S., ... Kahl, J. (2010). Chemical composition of rainwater in northeastern México. *Atmosfera*, 23(3), 213–224.
- León, A; Córdoba, J; Carreño, U. (2016). Revisión del estado del arte en captación y aprovechamiento de aguas lluvias en zonas urbanas y aeropuertos. *Tecnura*, 20(50), 141–153. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a10>
- Mabie, H. H., & Reinholtz, C. F. (1998). *Mecanismos y dinámica de maquinaria*. (F. R. Pérez

- Vázquez, Ed.) (Segunda). México: Limusa.
- Moore, D. S. (2005). *Estadística aplicada básica* (Segunda). Madrid: Antoni Bosch.
- Musy, A., & Higy, C. (2011). *Hidrology* (Primera). New York: Routledge Taylor and Francis Group.
- Nápoles Alberro, A. (2012). *Análisis de mecanismos. Cinemática y dinámica*. (F. M. García Tomé, Ed.) (Primera). Madrid: Delta, Publicaciones Universitarias.
- Ospina, Ó., & Ramírez, H. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 125–137. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.812>
- Rojas-Valencia, M. N., Gallardo-Bolaños, J. R., & Martínez-Coto, A. (2012). Implementación y Caracterización de un Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia. *Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 15(1), 16–23. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v15n1/v15n1a2.pdf>
- Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (2006). Diseño asistido por computador. *Industrial Data*, 9(1), 8.
- Sánchez, L., Morales, J., Velásquez, H., Portillo, D., Cano, Y., Montilla, B., ... Mesa, J. (2009). Composición iónica y niveles de acidez de las lluvias en Maracaibo, Venezuela, entre 1989 y 2001. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 25(3), 169–179.
- Sánchez Pescador, J. (2015). *Simulación dinámica de mecanismos con Autodesk Inventor Professional 2014*. Escuela de Ingenierías Industriales.
- Shigley, J. E., & Uicker, J. J. (1996). *Teoría de máquinas y mecanismos*. McGraw Hill.
- Triola, M. F. (2013). *Estadística* (Decimoprim). Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
- Unfi, C., & York, N. (1976). CALIBRATION OF COLLECTION PROCEDURES FOR THE DETERMINATION OF PRECIPITATION CHEMISTRY The current studies of precipitation chemistry underway in the United States include precipitation networks operated by the U . S . Geological Survey and the En, 6(1), 241–258.