

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**“CREACIÓN DE UN NANOSATÉLITE PARA LA OBTENCIÓN DE
DATOS METEOROLÓGICOS”**

**“TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA
PROFESIONAL”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERIA MECATRONICA**

**PRESENTA:
JUAN CARLOS FLORES CABRERA**

**ASESORA INTERNA:
DRA. HAYDEÉ PATRICIA MARTÍNEZ HERNÁNDEZ**

APIZACO, TLAX. ABRIL DE 2025



Instituto Tecnológico de Apizaco
Metal-Mecánica

Apizaco, Tlaxcala, 05/diciembre/2024

Oficio No. MM-867/2024.

ASUNTO: Liberación de Proyecto para Titulación Integral.

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIV. EST. PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno (a):	JUAN CARLOS FLORES CABRERA
Carrera:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
No. De Control:	19370738
Nombre del Proyecto:	"CREACIÓN DE UN NANOSATÉLITE PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS".
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar

JORGE AGUILAR VÁZQUEZ
JEFE DEL DEPTO. METAL-MECÁNICA



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APOZACO
DEPARTAMENTO DE METAL MECÁNICA

HAYDEE PATRICIA MARTÍNEZ HERNÁNDEZ
ASESORA

c.p.- Expediente
Archivo.



Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec, Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel.
[241] 4172010 Ext. 124, e-mail: mecanica@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx





Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Apizaco, Tlaxcala, 27/noviembre/2024

FLORES CABRERA JUAN CARLOS.
EGRESADO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA.
CON NÚMERO DE CONTROL 19370738.
PRESENTE.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** cuyo tema es: **CREACIÓN DE UN NANOSATÉLITE PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS METEOROLÓGICOS.** conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar 2 USB del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excellencia en Educación Tecnológica.
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

ISRAEL JORGE SÁNCHEZ SÁNCHEZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CRRG/rls



Av. Instituto Tecnológico No. 418, San Andrés Ahuashuatepec, Municipio de Tzompantepec, Tlaxcala, Mex. C.P. 90491 Tel.
[241] 4172010 Ext304, e-mail: dep@apizaco.tecnm.mx | apizaco.tecnm.mx



Agradecimientos

Agradezco a mis padres

Por su apoyo incondicional, por siempre apoyarme en mi educación, por darme las herramientas para seguir adelante, gracias, Isabel y Juan Carlos por ser mis padres y por todo su apoyo en toda mi educación.

Agradezco a mis hermanos

Siempre estuvieron cuando les pedía ayuda les estoy agradecidos por siempre ayudarme cuando lo necesitaba gracias, Andy, Mary, Lalo.

Agradezco a mis amigos

Que me brindaron parte de su conocimiento para seguir creciendo en mi formación académica Jeremías, Lalo, Gerardo, Lupita, gracias por ser mis amigos.

Agradezco a mi tutora

Le agradezco de corazón por darme la confianza y la oportunidad para trabajar con ella en este proyecto por siempre creer en mí, por darme ánimos, a nunca darme por vencido en este proyecto que sin duda marco mi vida gracias Dr. Haydee.

INDICE

Introducción.....	6
Capítulo 1 Generalidades del proyecto.....	7
1.1 Planteamiento del problema.....	7
1.1.1 Justificación.....	8
1.1.2 Solución a implementar.....	8
1.2 Objetivos generales y específicos.....	9
1.2.1 Objetivos Generales.....	9
1.2.2 Objetivos Específicos.....	9
1.3 Marco Teórico.....	10
1.3.1 Alcances.....	11
1.3.2 Limitaciones.....	11
1.3.3 Información general de los satélites meteorológicos.....	12
1.3.4 Parámetros que miden los satélites meteorológicos.....	13
1.3.5 Tipos de satélites.....	16
1.3.6 Tipos de orbitas en los que trabajan los satélites y su funcionamiento.....	18
1.3.7 Como se crean algunos de los fenómenos meteorológicos más importantes.....	22
1.3.8 Importancia de los satélites meteorológicos en México.....	28
Capítulo 2 Información general del satélite.....	31
2.1 Definición general del funcionamiento de los nano-satélites (Cube-sat).....	31
2.1.1 Parámetros que medirá el nanosatélite (Cube-sat).....	32
2.2 Componentes electrónicos a utilizar.....	34
2.3 Ventajas y Desventajas de los cube-sats.....	37
2.4 Diseño del satélite en software de diseño 3D (Fusión 360)	39
2.4.1 Estructura de las piezas y características específicas.....	40
2.4.2 Ensamble de las piezas por separado.....	45
Capítulo 3 Pruebas de funcionamiento de los componentes electrónicos.....	47
3.1 Diagrama de sensores electrónicos.....	52
3.2 Ensamblaje físico del satélite con sensores.....	55
Conclusiones.....	59

INTRODUCCIÓN

Antes que todo debemos explicar que hace y que es un satélite un satélite existen dos tipos de satélites naturales y artificiales, los satélites artificiales son creados por el ser humano pueden por ejemplos de comunicación, de observación astronómica en cambio los naturales no creados por el ser humano y cito un satélite natural es un cuerpo no hecho por el ser humano que órbita alrededor de otro en el espacio visto de otros puntos de vista la tierra y la luna son ejemplos de satélites naturales. El primero porque se mueve alrededor del sol, el segundo porque órbita alrededor de la tierra. En la actualidad el uso de satélites artificiales a crecido exponencialmente y en gran medida como por ejemplo satélites de comunicaciones, meteorológicos, observación de la tierra, navegación, astronómicos, estaciones espaciales (ISS International Space Station), los satélites no ayudan en gran medida en nuestra sociedad para muchas tareas cotidianas como transporte de productos, ubicación GPS, pero lo que nos interesa son los satélites meteorológicos estos se convirtieron en satélites de suma importancia en nuestra sociedad con ellos podemos tener un panorama más completo y detallado de las condiciones climáticas que pasan todos los días en nuestro planeta.

Capítulo I

GENERALIDADES DEL PROYECTO

Para este proyecto es crucial poner en claro todos los puntos importantes, que nos plasmaran la importancia de este proyecto, y los motivos por los cuales se quiere lograr la construcción de un nanosatélite.

1.1 Planteamiento del problema

Los satélites artificiales son un pilar importante para nuestra sociedad en especial los satélites meteorológicos estos no ayudan a tener información muy importante y precisa del planeta sobre su estado climático esto a su vez nos ayuda a prevenir catástrofes, pero el uso de esta tecnología incluso en la actualidad tiene sus desventajas como.

- Sus costos de operación al usar instrumentos de medición con la mejor tecnología son muy caros de hacer y enviar a la órbita.
- Cobertura limitada incluso con todos los satélites meteorológicos en operación actualmente pueden cubrir amplias áreas geográficas pueden estar en ciertos casos limitada por regiones remotas o bajo condiciones climáticas extremas.
- Interferencias electromagnéticas y tormentas solares esto afecta en ciertos casos a la lectura de datos daña a los sensores e interfiere con la lectura de este mismo al punto de tener datos imprecisos y dudosos.
- Tiempo de respuesta al momento de obtener datos de los satélites meteorológicos pueden tomar tiempo al obtener estos datos 30 min como mínimo en este tiempo puede ser suficiente para estar preparados para ciertas catástrofes climáticas como huracanes Tsunamis etc.
- Los cambios drásticos del clima afectan a muchas personas como agricultores, investigadores, personas de las ciudades, áreas pesqueras etc., por lo que tener un monitoreo constante de estas áreas con el uso de nanosatélites, nos proporcionaría datos en un lapso de tiempo más corto sino que casi al instante de áreas específicas, que se requieran estudiar y obtener datos meteorológicos para prevenir la formación de lluvias torrenciales que afectaran a los cultivos, a las zonas pesqueras, además de ayudar a los investigadores a recabar datos importantes para sus campos de estudio con nanosatélites a un bajo costo.

1.1.2 JUSTIFICACIÓN

Como sabemos el estudio del clima en la actualidad tiene un gran impacto en nuestra sociedad nos ayuda a pronosticar tormentas, lluvias fuertes, y esto nos ayuda a minimizar los riesgos que ciertas catástrofes pueden crear y además que los satélites o equipo meteorológico que se usa se tiene que traer desde el extranjero y son muy caros.

Aclarado este punto la creación de un nanosatélite nos ayudara a un monitorear áreas geográficas específicas de manera continua y con mayor frecuencia. Esto permite una observación más detallada de los patrones climáticos locales y regionales.

1.1.3 Solución a implementar

La creación de un nanosatélite cubesat es una propuesta que busca crear satélites a bajo costo para la investigación del clima con el uso de componentes electrónicos de fácil acceso y placas de desarrollo esto con el fin de tener una opción viable y más accesible para los campos de investigación meteorológica.

Potencial de realizar un gran despliegue de varios nanosatélites que cubran un área más grandes y específicas para recolectar más datos de interés.

Estos cubesat tiene un peso menor a 1kg, este peso puede variar a uno más grande dependiendo de las necesidades del usuario, además de contar con una forma cubica fácil de fabricar y desmontar, lo cual facilita su producción en caso de sufrir daños y que se pueda reparar.

1.2 OBJETIVOS (GENERALES Y ESPECIFICOS)

1.2.1 Objetivos Generales

Diseñar y construir un nanosatélite meteorológico como un proyecto académico, que permita a estudiantes y profesores adquirir experiencia práctica en ingeniería espacial y meteorología, mientras se recolectan datos útiles para la comunidad universitaria y científica.

1.2.2 Objetivos Específicos

Fomentar el aprendizaje práctico:

- Proveer a los estudiantes una experiencia interdisciplinaria que abarque diseño, integración, pruebas y operación de nanosatélites.
- Facilitar la comprensión de conceptos avanzados en áreas como dinámica orbital, sensores remotos y sistemas de comunicación.

Diseñar un nanosatélite adaptado a las capacidades universitarias:

- Seleccione componentes y tecnologías enormes y accesibles para instituciones educativas.
- Optimizar el diseño para cumplir objetivos meteorológicos específicos como la medición de temperatura, humedad y presión atmosférica.

Implementar metodologías educativas:

- Desarrollar módulos de enseñanza basados en el proyecto del nanosatélite para incluir en cursos de ingeniería, ciencias de la Tierra y tecnología.
- Promover la colaboración entre estudiantes de diferentes disciplinas, como ingeniería mecánica, electrónica y ciencias ambientales.

Recolectar y analizar datos meteorológicos:

- Integrar instrumentos que permitan recopilar información sobre variables atmosféricas relevantes para estudios locales y regionales.
- Procesar y compartir los datos recolectados con la comunidad universitaria para proyectos de investigación y desarrollo.

1.3 MARCO TEORICO

Uno de los problemas a solucionar con este proyecto es poder crear nanosatélites a costos accesibles para cualquier área de investigación como en este caso sería en el área meteorológica este proyecto si llega a completarse satisfactoriamente tiene el potencial de implementarse en muchas áreas de la investigación.

Se investigará a fondo todo relacionado a los satélites desde tipos de satélites, su funcionamiento de operación material que se usan para crearlos se mostraran sus subcategorías, que tipos de sensores usan y que parámetros de medición son necesarios para obtener una lectura exacta y precisa se realizarán cálculos de medición para mostrar en las pantallas y generar hojas de cálculo con los datos obtenidos de los sensores.

Los conocimientos que son fundamentales para este proyecto son electrónica digital, analógica, esto para que se entiendan con mayor claridad que sensores se están utilizando y porque, además de que es esencial tener conocimiento para poder reparar los componentes en caso de una falla ya sea por un evento climático, mala conexión, o desperfecto de fábrica, programación en c++ es el lenguaje que usaremos para programar los microcontroladores. Arduino esto por su cómoda interfaz con el usuario además de ser uno de los lenguajes más fáciles de entender lo cual lo presentara ningún problema, si se requiere modificar los parámetros de lectura de los sensores para que registren parámetros específicos, además entre más precisos y exactos sean los sensores mejor se genera un resultado con el estado del clima, programación de interfaces esto es crucial para usar los diferentes componentes electrónicos físicamente para interactuar con ellos para configurarlos.

Conocimientos de física serán fundamentales para que, los satélites puedan ser lanzados adecuadamente en el ángulo adecuado esto debido a la fuerza gravitatoria del planeta por que como sabemos no es lo mismo lanzar un objeto en un ángulo de 90° que de 45° esto puede ser casi innecesario para muchos, pero es fundamental y crucial si queremos desplazar cualquier tipo de dispositivo al espacio y para que este funcione y de los mejores resultados se tiene que lanzar con mucha precisión así que tanto la velocidad inicial es muy indispensable para que todo salga bien. Diseño de estructuras como sabemos las condiciones de la atmosfera van cambiando constantemente con más altitud se tenga, gracias a esto el diseño y creación de una estructura que soporte las deformaciones de la atmosfera, humedad, fríos, calor, rayos solares, impactos de cualquier proyectil entre muchas variables que puedan dañar la estructura, por esto mismo se debe tener mucho cuidado y una gran importancia fabricar la mejor estructura para soportar todas las condiciones ambientales posibles.

1.3.1 ALCANCES

Monitoreo global accesible: Los nanosatélites pueden ofrecer una cobertura global de la atmósfera y los fenómenos meteorológicos, permitiendo una mejor vigilancia del clima, especialmente en áreas remotas o de difícil acceso.

Recolección de datos en tiempo real: Estos satélites pueden proporcionar datos en tiempo real sobre temperaturas, niveles de humedad, viento, y otros parámetros atmosféricos, lo que es crucial para la predicción meteorológica y el estudio de fenómenos climáticos extremos.

Costo reducido: El uso de nanosatélites permite realizar investigaciones a un costo mucho más bajo que con satélites tradicionales, lo cual es beneficio para universidades y organismos con presupuestos limitados.

1.3.2 LIMITACIONES

Vida útil limitada: Los nanosatélites generalmente tienen una vida útil más corta en comparación con los satélites más grandes, lo que puede restringir el tiempo de recopilación de datos.

Capacidad de carga limitada: Debido a su pequeño tamaño, la cantidad de instrumentos y sensores que pueden transportar es reducida, lo que limita la cantidad y precisión de los datos que pueden recopilar.

Problemas de comunicaciones: La transmisión de datos puede ser limitada debido a restricciones en la potencia de la señal y la capacidad de los sistemas de comunicación, lo que puede afectar la calidad y frecuencia de los datos transmitidos.

Desafíos en la cobertura: Aunque los nanosatélites pueden cubrir áreas globales, su capacidad para ofrecer resolución espacial y temporal similar a los satélites grandes puede ser insuficiente para algunos tipos de observaciones meteorológicas de alta resolución.

1.3.3 Información general de los satélites meteorológicos

El nanosatélite o en este caso de la categoría cubesat, como para todas las estaciones climáticas terrestres, espaciales en su mayoría, tienen sensores en común que registraran datos similares, para diferentes propósitos, se tiene que tener muy en claro las diferencias más importantes entre un nanosatélite en comparación de un satélite de tamaño convencional.

Los satélites meteorológicos tienen demasiados parámetros que registrar, que son muy importantes para tener un análisis más preciso además de que tienen como principal funcionamiento de observar, monitorear y analizar las condiciones atmosféricas y climáticas de la Tierra. La información recopilada es crucial para la meteorología, la climatología y la gestión de desastres los usos más importantes son:

Predicción del tiempo

Nos ayuda a proporcionar datos en tiempo real sobre fenómenos meteorológicos que nos ayudaran a emitir alertas tempranas de fenómenos extremos (Huracanes, Tornados, Olas

Observación de la atmosfera

Miden parámetros como temperatura, humedad, presión y vientos en diferentes capas atmosféricas, estas nos ayudaran a estudiar los patrones climáticos globales.

Monitoreo de océanos

Nos ayudara a observar la temperatura superficial del océano, corrientes marinas, altura de las olas y niveles de salinidad.

Estudio del cambio climático

Monitorean concentraciones de gases de efecto invernadero (como CO₂ y Metano) y cambios en el albedo terrestre. Los beneficios de estudiar el cambio climático es que nos ayudaran a que detectan tendencias de calentamiento global, ayudan a evaluar los impactos del cambio climático en los ecosistemas y las actividades humanas.

Monitoreo de la cubierta de hielo y nieve

Miden la extensión y el espesor de capas de hielo en los polos, glaciares y nieve en montañas. Los beneficios son para analizar el derretimiento de glaciares y su impacto en el nivel del mar, evalúan el impacto del cambio climático en ecosistemas polares.

Gestión de desastres naturales

Detectaran y monitorean fenómenos como incendios forestales, erupciones volcánicas y sequías. Proveen información para coordinar respuestas rápidas para atender a los desastres naturales para que las personas, se movilicen lo más pronto posible, y minimizar los daños que fueron causadas con los diversos desastres.

Agricultura y seguridad alimentaria

Proporcionaran datos sobre humedad del suelo, radiación solar y precipitación, estos datos nos ayudaran en gran medida en optimizar el riego y los tiempos de siembra, además de predecir sequías o heladas que puedan afectar cultivos.

Observación global y continua

Los satélites meteorológicos tienen cobertura global, lo que permite monitorear continuamente áreas remotas o de difícil acceso. Los beneficios de este punto nos permitirán detectar patrones climáticos y atmosféricos a escala global, será de gran ayudar tener un registro de los estudios de las diferentes áreas que se estudian y se observan, para tener datos detallados.

1.3.4 Parámetros que miden los satélites meteorológicos

Al igual que los satélites meteorológicos de gran tamaño y los nanosatélites estos tienen sensores que recolectan, datos en común para tener lecturas, más exactas y tener un pronóstico que sea lo más confiable meteorológicamente, aquí se tendrá una lista detallada de los parámetros su funcionamiento, y cuál es el sensor que mide este parámetro.

Temperatura del aire

La temperatura del aire en la superficie, que es un factor clave en la meteorología y el clima, para medirlo se utiliza termómetros electrónicos o sensores de temperatura o en este caso DHT11, DHT22, LM35, estos sensores por su fácil accesibilidad. Conocer la temperatura del aire, ayudar a identificar cambios climáticos y tendencias a largo plazo. Es fundamental para predecir olas de calor y olas de frío, lo que permite emitir alertas tempranas para la población. Se usa para calcular índices de sensación térmica y evaluar el impacto en la salud humana y los ecosistemas, es fundamental en la agricultura.

Humedad Relativa

Mide la cantidad de vapor de agua presente en el aire en comparación con la cantidad máxima que podría contener una temperatura específica, se utiliza sensores como higrómetros y sensores como el SHT31, AM2302, DHT11, DHT22, estos sensores son perfectos para medir la humedad relativa la gran diferencia está en la precisión de cada uno y el rango que están midiendo unos tienen un rango más alto de medición y otros tienen rangos para temperaturas más bajas, el cual utilizar o es el mejor dependerá de las condiciones en las que vamos a someter el satélite. Calcular la humedad relativa nos ayuda a predecir lluvias, niebla, y tormentas en la salud afecta en la sensación térmica, y el confort humano, debido a que una humedad alta puede intensificar la sensación de calor.

Es clave en la agricultura ya que los niveles bajos pueden provocar estrés hídrico en las plantas, mientras que los niveles altos pueden favorecer el crecimiento de los hongos o plagas, en los cultivos.

Presión atmosférica

Nos ayuda a medir la fuerza que ejerce el aire sobre la superficie terrestre, la mediremos usando barómetros digitales como lo son el BMP180, BMP280, BME680, estos sensores son perfectos para registrar, la presión atmosférica debido a su tamaño compacto y su versatilidad, el modelo de sensor que utilizaremos dependerá en gran medida de los límites que vamos a someter el satélite, además de que cada uno tiene rangos diferentes de medición unos son más altos que otros, y viceversa.

Calcular la presión atmosférica es fundamental cuando sucede un descenso rápido de la presión indica la llegada de tormentas, huracanes o frentes fríos, un aumento de la presión generalmente está asociado con climas estables y despejados, es un dato fundamental para predecir cambios en el clima y para la aviación, ya que afecta la altitud y la densidad del aire.

Velocidad y dirección del viento

Es la rapidez y orientación del movimiento del aire de la atmosfera, se mide utilizando anemómetros para la velocidad y veletas para la dirección del viento. Nos ayuda a predecir tormentas y ciclones, monitorear condiciones para aviación o energía eólica, además de que tiene un uso para conocer la dispersión de contaminantes, ya que la dirección del viento indica hacia donde viajarán partículas o gases peligrosos. Precipitación (lluvia, nieve, granizo). Es la cantidad de agua que cae desde la atmosfera en forma de lluvia, nieve o granizo es fundamental en muchas áreas para conocer los ciclos del agua en diferentes áreas geográficas, en zonas agrícolas es fundamental conocer estos datos, sequías, problemas de presas, inundaciones.

Radiación Solar

Es la cantidad de energía solar que llega a la superficie del planeta tierra, se mide utilizando piranómetros para medir la radiación global y sensores UV para la radiación ultravioleta, es clave para el desarrollo para la agricultura y la fotosíntesis de las plantas.

Se utiliza en el diseño de sistemas de energía solar para estimar la producción energética nos permite evaluar la intensidad de la radiación UV ayudando a prevenir enfermedades de la piel.

Temperatura superficial del suelo y del agua

Es la temperatura en la superficie terrestre y en cuerpos de agua como lagos y océanos es importantes tener un registro de como el incremento de la temperatura en los océanos y ríos está empeorando cada vez más y tener un registro detallado de cuanto está incrementando. Se utilizan sensores infrarrojos y termómetros de contacto

Nos permiten analizar el balance de energía en la tierra y el calentamiento global, lo usamos en la agricultura para estimar la temperatura del suelo y saber mejor cuales son los mejores cultivos para cosechar, es crucial en la monitorización de incendios forestales, ya que ayuda a detectar zonas de alto riesgo.

Concentración de CO₂ y otros gases

Son la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmosfera, es importante tener un registro detallado de la concentración de gases en el planeta, para medir los gases se utilizan sensores de gases, los más comunes para este proyecto serían los sensores MQ los cuales son para medir gases y tienen una gran variedad de estos sensores. Es importante medir los gases porque es fundamental para estudiar el cambio climático y la contaminación. Ayuda a monitorear la calidad del aire en zonas urbanas e industriales, se usa en la predicción de efectos climáticos extremos causados por el aumento de gases contaminantes.

Índices de visibilidad

La claridad del aire y la distancia máxima a la que se pueden observar objetos la forma en cómo se miden estos sensores es por medio son sensores ópticos y láser, para que sirven nos ayudaran a la seguridad en el espacio aéreo. Permite detectar niebla, smog y contaminación atmosférica. Es útil en la gestión de incendios forestales al evaluar la dispersión del humo.

1.3.5 Tipos de satélites

Satélites de comunicación

Son en su mayoría los satélites que más utilizamos, por sus enormes aplicaciones en la actualidad, transmisión de datos, Telecomunicaciones telefónicas, Televisión, estos satélites se encuentran normalmente en una órbita geoestacionaria esto significa que, permanecerán en una órbita fija alrededor del planeta.



Fig.1 Satélite Thales Alenia Space

Fuente: Thales Alenia Space

Satélites de observación de la tierra

Creados principalmente con fines de monitoreo del planeta, para tener más información de la superficie terrestre esto incluye los satélites meteorológicos y de observación ambiental. Estos nos proporcionaran datos cruciales para el monitoreo del clima, y la gestión de desastres y la investigación científica.

Satélites de navegación

Estos satélites nos ayudan en diferentes áreas, las más relevantes son la localización (GPS, GLONASS, GALILEO), las cuales nos permitirán tener la ubicación precisa en un punto de la tierra específico de un dispositivo, son fundamentales en la navegación, como en zonas marítimas, y áreas.

Satélites científicos

Unos de las categorías de satélites más relevantes en muchos aspectos son la investigación de la física, astronomía, biología y climatología. Nos proporcionaran datos cruciales para comprender el universo y la estructura de la tierra desde una perspectiva más amplia.



Fig. 2 Satélite MetOp-B listo para ser encapsulado
Fuente: The European Space Agency

Satélites de reconocimiento

Son de uso militar uno de los tipos de satélites más avanzados en cuestión de tecnología estos, siempre están en vanguardia en tecnología con los equipos más sofisticados, además proporcionan información estratégica y de inteligencia, son fundamentales para la vigilancia y el monitoreo de áreas específicas en la tierra.

Satélites de telecomunicaciones móviles

Su importancia es fundamental en la actualidad nos ayudan a tener una comunicación con nuestros dispositivos inteligentes, para enviar mensajes de texto, información a lugares al otro extremo del planeta sin ningún problema.

1.3.6 Tipos de orbitas en los que trabajan los satélites y su funcionamiento

Conocer las orbitas es muy crucial para cual tipo de lanzamiento espacial, la órbita determinará el tipo de cobertura que tendrá, el satélite, como si será geoestacionario, helio síncronas, elípticas, polares, etc. Esto determinara las condiciones a las que estará sometido el satélite y los datos que se podrán obtener y la precisión de estos además de que la transmisión de estos datos será muy diferente, dependiendo de la altitud a la que se encuentre transmitiendo el satélite. Son muy importantes también considerar el ángulo de su plano respecto a la superficie terrestre.

Órbita terrestre baja (LEO)

Estas órbitas terrestres son las más bajas se mueven a una altitud aproximada de 160-1500km sobre la superficie de la tierra. Tienen un periodo orbital coroto de entre 90 y 120min, lo que significa que pueden dar una vuelta al planeta tierra hasta 16 veces al día. Esto los hace especialmente adecuados para todo tipo de teledetección observación terrestre alta resolución e investigación científica, esto debido a su rápida transmisión de datos.

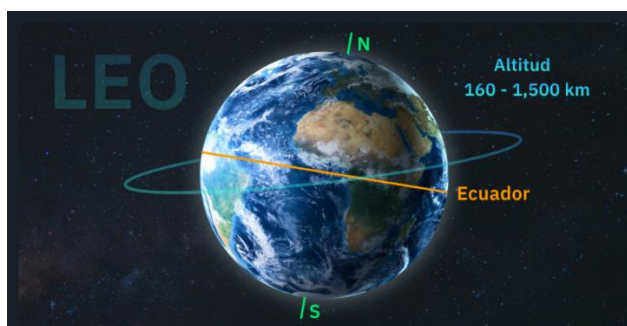


Fig. 3 Órbita terrestre (LEO)

Fuente: EOS Data Analytics

Órbita terrestre media (MEO)

Se encuentran en las órbitas terrestres bajas y la geoestacionaria normalmente están entre los 5000 km y 20000 km. La navegación de a convertido en uno de los principales servicios de los satélites (MEO) el cual nos brinda información muy precisa para transmitir datos de localización terrestre la gran mayoría de dispositivos electrónicos que usamos actualmente tienen un GPS integrado en espacial para las telecomunicaciones. El tiempo de orbita es de aproximadamente de 2hrs a 12hrs esto ofrece una cobertura media y velocidad de transmisión de datos. Comparados con los de órbita baja.

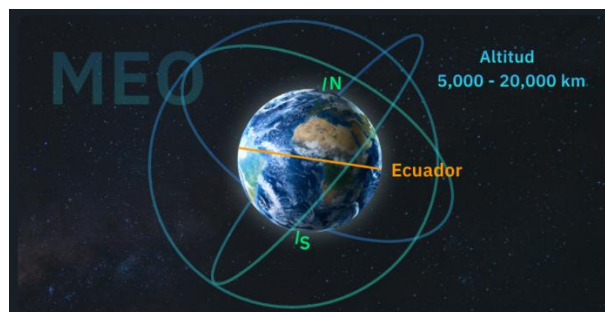


Fig. 4 Órbita terrestre (MEO)

Fuente: EOS Data Analytics

Órbitas Geoestacionaria (GEO)

Se encuentra a 35,786Km sobre la superficie terrestre, precisamente sobre el ecuador, actualmente está categoría de satélites, tienen una gran cobertura en comparación a los anteriores mencionados. Tres satélites (GEO) lanzados de forma estratégica son más que suficientes para tener cobertura mundial. La rotación de estos satélites es similar al de la tierra dan un giro a la órbita del planeta en 23hr y 56min, esto es un gran avance tecnológico, permitiendo que las telecomunicaciones con estos satélites GEO sean perfectas para usarlos en servicios de comunicación como la televisión los teléfonos y el monitoreo y observación de patrones de nubes que son útiles para calcular la velocidad del viento.

También tienen un uso en sectores de metrología para monitorear áreas específicas del planeta y generar patrones de su desarrollo, sin embargo, todas estas aplicaciones tienen una gran desventaja, que es su retardo de transmisión de datos por la gran distancia con la tierra.

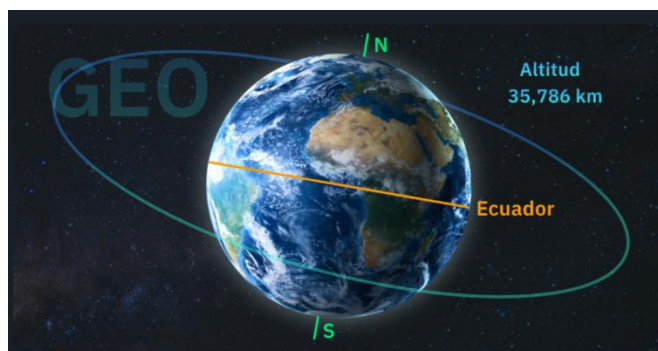


Fig. 5 Órbita terrestre (GEO)
Fuente: EOS Data Analytics

Órbita helio síncronos (SSO)

Estos satélites atraviesan de polo Norte a polo Sur en altitudes de 600km a 800km sobre la tierra también llamados satélites helio síncrono debido a su posición siempre obtendremos datos de estos satélites con una buena iluminación debido a que siempre estarán en zonas en las que el sol siempre ilumina a la tierra.

Esto los hace ideales para la observación de la Tierra y la monitorización del medioambiente, la enorme ventaja es que al no estar en una altitud muy grande esto permite, a los investigadores tener un registro más detallado de los eventos climáticos que pasan como por ejemplos, la deforestación, prevenir incendios forestales, inundaciones y pronosticar ciclones entre otras cosas, como el monitoreo del cambio climático.

La ventaja son que al estar ubicados a una órbita muy baja no pueden cubrir una gran cantidad de área del planeta por lo que se necesita una gran cantidad de estos satélites para cubrir un área mayor de espacio terrestre.

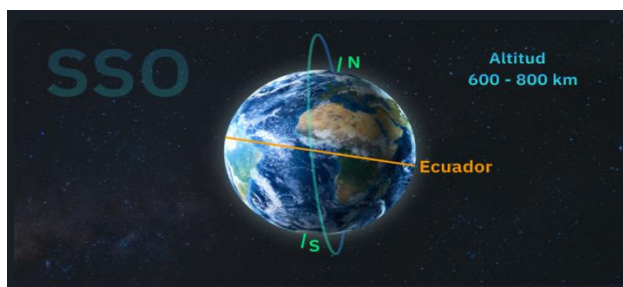


Fig. 6 Órbita terrestre (SSO)
Fuente: EOS Data Analytics

Órbita de transferencia geoestacionaria (GTO)

Son los satélites más frecuentes que usamos se usan para pasar de una órbita de transición a la geoestacionaria. No todos los satélites están en una órbita fija siempre pueden moverse a otra para distintos propósitos, los Falcon 9 son los que más utilizan estos satélites, los cohetes que transportan cargas útiles a la órbita geoestacionaria la dejan en órbitas de transferencia, que son puntos intermedios en el camino hacia su posición final.

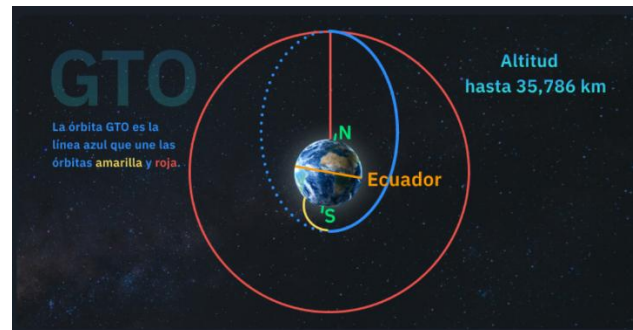


Fig. 7 Órbita terrestre (GTO)
Fuente: EOS Data Analytics

1.3.7 Como se crean algunos de los fenómenos meteorológicos más importantes

Existen un gran número de fenómenos climáticos que están sucediendo todos los días, en el planeta tierra no podemos señalar que unos son más importantes que otros, pero si se puede tener una lista de los más frecuentes que los satélites detectan, conocer los patrones de formación de estos fenómenos se ha vuelto muy importante por diferentes motivos, proteger las zonas de producción de comida, salvaguardar las áreas pesqueras, proteger áreas verdes como lo son los bosques u donde abunde la vegetación, y proteger la vida de especies animales y humanas los fenómenos más frecuentes serian.

Huracanes/Ciclones/Tifones

Son tormentas tropicales extremadamente fuertes con vientos de más de 119km/h acompañadas de lluvias intensas y mareadas ciclónicas para referirse a los huracanes usar como referencia el atlántico y el pacífico nororiental. Los ciclones se usa el océano indico y pacifico sur, el tifón se toma como referencia el pacífico noroeste. Se generan principalmente en aguas cálidas de 26°C o más lo que provoca evaporación y crea una zona de baja presión, además de que la rotación de la tierra tiene que ver mucho esto debido a la gran velocidad de rotación de la tierra provoca que los vientos comiencen a girar en espiral. Con el tiempo la tormenta se intensifica y puede convertirse en un huracán /ciclón/tifón. Los principales problemas de estos eventos climáticos son las inundaciones, deslaves, daños a la infraestructura y perdida de vida animales y humanas.

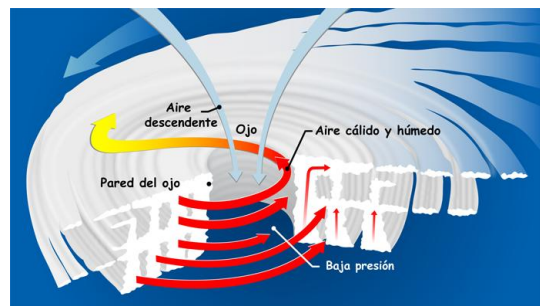


Fig. 8 Como se forma un Huracán
Fuente: Nasa Ciencia Space Planet

Tormentas Eléctricas

Son nubes provocadas por las tormentas también llamados científicamente cumulonimbos que producen rayos, truenos, fuertes vientos y lluvias intensas, la formación de estos eventos meteorológicos se crean cuando el aire cálido y húmedo ascienden rápidamente, la condensación del vapor de agua genera cargas eléctricas que se descargan como rayos. Tienen un impacto muy feroz en la naturaleza provocando incendios, cortes de energía, además de ser propensas a convertirse en tornados o granizo.

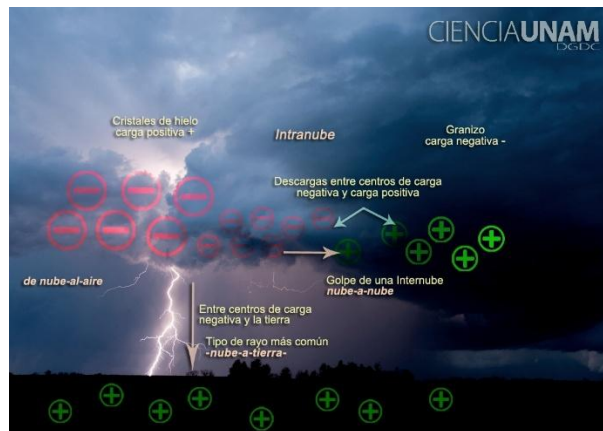


Fig. 9 Como se crean las Tormentas Eléctricas
Fuente: Ciencia UNAM (Universidad Autónoma de México)

Tornados

Son vórtices de aire giratorios de alta velocidad que tocan el suelo y causan gran destrucción las principales causas de su formación se generan cuando el aire caliente y húmedo choca con aire frío y seco. La diferencia de vientos en altura crea una corriente rotatoria, que puede intensificarse y tocar el suelo, el daño de los tornados es muy vasto estos pueden arrancar árboles, destruir casas y lanzar objetos a gran distancia.

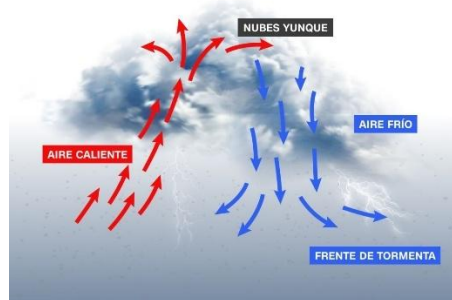


Fig. 10 Como se crean una tormenta
Fuente: CNN Clima y Tormentas

Inundaciones

Ocurren cuando cantidades significativas de agua, cubren desproporcionadamente grandes zonas de tierra como lo son las áreas urbanas, ciudades u poblados aledaños la causa principal de su formación son las lluvias extremas y prolongadas, deshielos acelerados, esto provoca que al existir un excedente de agua el sistema del drenaje no soporte la enorme cantidad de agua y se dañen significativamente. El mayor impacto que tiene las inundaciones es que afecta en gran medida a los cultivos afectando en su totalidad los cultivos que se llegan a inundar, daños en la infraestructura, desplazamiento de personas, daño en la fauna local.

Nevadas

Es la precipitación de cristales de hielo cuando la temperatura es lo suficientemente baja. Ocurre cuando la humedad en el aire se congela y forma copos de nieve, se necesita una temperatura de 0°C o menos en la atmósfera y en la superficie terrestre. Las consecuencias de este tipo de eventos de la naturaleza si son de los más fuertes en cuestión de daños afectan a la vegetación, pueden bloquear carreteras, provocar avalanchas, y en ocasiones generar pérdidas de energía en las ciudades.

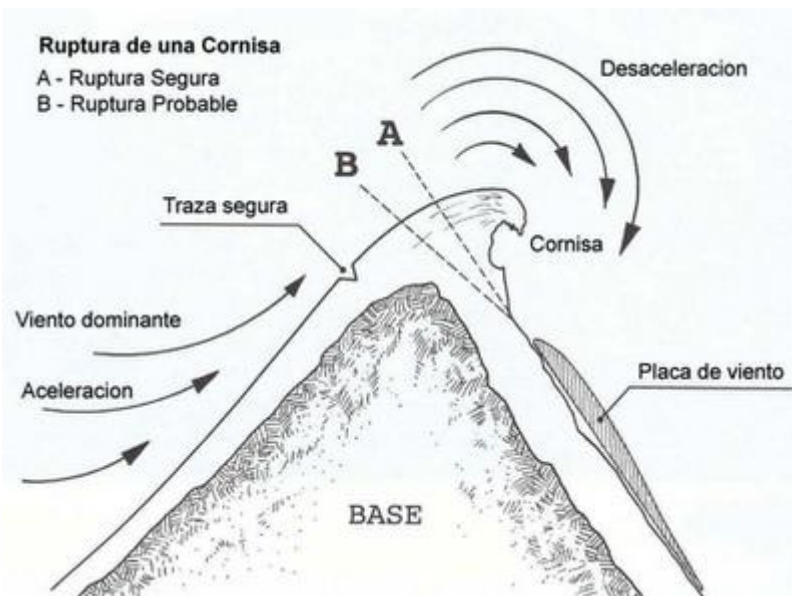


Fig.11 Como se crean una Nevada

Fuente: Ciclos de la nieve

Sequias

Estos son provocados por largos periodos sin lluvia estos afectan a las, zonas verdes provocando sequias, hambruna, incendios forestales y escasez de agua. Estas son provocadas por la falta de lluvia por largos periodos de tiempo, aumento de la evaporación de agua por las altas temperatura y deforestación y sobreexplotación del agua.

Niebla

La niebla es una nube muy baja que reduce la visibilidad y se forma cerca del suelo, su formación se produce cuando el aire húmedo entra en contacto con una superficie fría, el vapor de agua se condensa en pequeñas gotas suspendidas en el aire. Los efectos de la niebla pueden ser nula visibilidad en las carreteras provocando accidentes de tránsito, problemas de visibilidad en los aeropuertos provocando retrasos inesperados y en algunos casos accidentes.

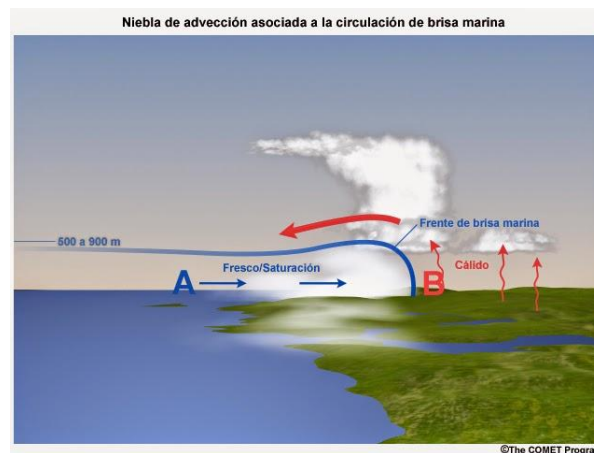


Fig. 12 Como se crea la niebla

Fuente: Rioja nieblas por que y como se crean

Olas de calor

Son periodos prolongados con temperaturas extremadamente altas las causas de su formación se producen cuando un sistema de alta presión atrapa el calor en la superficie, la falta de viento y lluvias mantiene el calor acumulado. Su impacto afecta la salud humana, dañan cultivos y aumentan el riesgo de incendios forestales

Monzones

Son vientos estacionales que traen fuertes lluvias en verano y sequencia en invierno las causas principales de su formación son por que se generan por la diferencia de temperatura entre el océano y la tierra. En verano el aire caliente de la tierra atrae vientos húmedos del océano provocando lluvias intensas. Su impacto es muy severo ocasionando inundaciones en verano y en invierno pueden provocar sequias.

Tsunamis

Son grandes olas oceánicas provocadas por un desplazamiento masivo de agua, las causas de su formación en su mayoría por terremotos submarinos, algunos pueden originarse por huracanes y ciclones intensos, erupciones volcánicas submarinas, deslizamientos de tierra submarina. El impacto de los tsunamis en su mayoría ocasiona pérdidas significativas en las zonas donde se presentan como lo son que inundan ciudades costeras y destruyen la infraestructura, y dañan las zonas habitacionales de las personas y afecta en su mayoría las zonas u hogares de los animales.



Fig. 13 Como se crean los tsunamis

Fuente: UNAM Olas del Tsunami

1.3.8 Importancia de los satélites meteorológicos en México

Aquí es fundamental aclarar la importancia y el enorme impacto de los satélites en nuestro país, lo cruciales que se volvieron para nosotros y de que como cambiaron nuestra sociedad tal como la conocemos, en varias áreas de la ciencia e ingeniería, como la necesidad de los satélites se a vuelto cada vez más indispensable en áreas como los son las telecomunicaciones, el internet, el entretenimiento, estudio del planeta tierra, astronomía, astrofísica.

Son se suma importancia en la prevención y alerta temprana de huracanes y tormentas tropicales México tiene costas en el océano pacífico y el golfo de México por lo que está altamente expuesto a huracanes en este caso son fundamentales y de gran importancia los satélites meteorológicos nos permiten monitorear la formación de ciclones tropicales desde su origen en los océanos, con esto se puede alertar a las zonas que se verán afectadas con el impacto de estos fenómenos climáticos. Además de predecir la trayectoria y evolución con modelos meteorológicos. Un ejemplo fue en el 2015, con el huracán Patricia, el más fuerte registrado en el Pacífico, fue monitoreado por satélites como GOES-13 y GOES-15 esto ayudo en gran medida a prevenir una tragedia y la pérdida de miles de personas al evacuarlas y dar los mensajes de alerta correspondientes.

En México gran parte del norte centro de la república Mexicana sufre sequías recurrentes, con la ayuda de los satélites ayudan a medir la humedad del suelo y detectar regiones en riesgo de sequía, monitorear la temperatura de la superficie para identificar olas de calor, optimizar el uso del agua en la agricultura, lo cual es de suma importancia tener un registro de las zonas, más afectadas por estos cambios climáticos tan bruscos, estos datos nos permiten elaborar planes de control y responder lo más rápido posible para que los daños de las sequias no sean tan graves.

Como ejemplo en el año 2021-2022 en el extremo norte de México fue detectada una gran sequia por los satélites SMAP y MODIS lo cual movilizo a las agencias correspondientes a manejar los recursos hídricos.

La Detección de incendios forestales como es bien conocido en México se enfrentan incendios en estaciones secas, especialmente en Chihuahua, Durango, Guerrero, y la Península de Yucatán, aquí los satélites ayudan a conocer el origen de los incendios, y poder extinguirlos cuando todavía está la posibilidad antes de que se salgan de control, y se conviertan en un incendio forestal masivo fuera de control y que destruya todo a su paso, los sensores térmicos de los satélites que están transmitiendo en tiempo real la información son de gran utilidad, los satélites Aqua (MODIS) y Terra (GOES-16) han sido clave en la detección de incendios en México.

La predicción de lluvias e inundaciones en muchas zonas de México las extremas lluvias afectan a los cultivos debido a que el exceso de lluvia destroza los cultivos, inunda la tierra lo que provoca que sea muy difícil cultivar y ciudades debido a que el sistema del drenaje no tiene la capacidad para soportar grandes cantidades de flujo de agua, esto provoca inundaciones severas en las calles, afectando a la infraestructura, carreteras, edificios, entre otros. En el 2020 Tabasco sufrió inundaciones terribles, pero gracias a los satélites Sentinel-1 que fueron de gran ayuda monitoreando las zonas afectadas con una gran precisión para coordinar las evacuaciones.

Impacto en la agricultura y seguridad todo México en su mayoría tiene zonas de cultivos de granos de maíz entre otros cultivos por lo que monitorear la humedad del suelo y salud de los cultivos, así como tener un registro detallado de los cultivos de su desarrollo y obtener cultivos de una calidad superior. Predecir heladas o sequías que tienen el potencial de afectar la producción agrícola afectando, potencialmente hectáreas de cultivo si no se tiene cuidado esto significa pérdidas económicas, como problemas para abastecer a muchos poblados y ciudades que son dependientes de los campos de cultivo. Algunos de los satélites que son de gran ayuda e importancia para el monitoreo de zonas agrícolas en México y gracias a su ayudado para mejorar las cosechas son los satélites Landsat y Sentinel-2.

Pero sin duda alguna el sector que nos llama la atención y es fundamental para este proyecto son los satélites dedicados para la observación del cambio climático en México, como el monitoreo del derretimiento de glaciares en el Pico de Orizaba y Popocatepetl, análisis del aumento del nivel del mar en costas mexicanas, esto solo son algunos de aspectos de observación de los satélites meteorológicos, detectar tormentas eléctricas, frentes fríos que afectarían a toda la población en México. El monitoreo del cambio climático es el resultado de la observación de los puntos anteriormente mencionados, es el conjunto de todos estos datos que podemos conocer con una gran precisión obteniendo un historial de estos datos para generar patrones de la destrucción de factores de la naturaleza u provocados por el ser humano.

Los satélites clave que monitorean México

Sería el GOES-16 y EGOES-18(EE. UU) estos monitorean en tiempo real las tormentas y huracanes.

El Sentinel-1 y Sentinel-2(europeo), se usa principal para el monitoreo de las sequias, incendios forestales y las inundaciones.

El Landsat 8 y 9 (EE. UU) principalmente para el uso del agricultura y estudio del suelo y la erosión de este.

El SMAP (NASA) encargado para registrar las sequias y la humedad de ciertas áreas geográficas y obtener datos detallados de esas áreas.

Dicho en otras palabras, los satélites meteorológicos salvan vidas y protegen la economía de México, permitiendo tomar decisiones basadas de datos para reducir los daños por desastres naturales.

CAPITULO II

INFORMACIÓN GENERAL DEL SATELITE

2.1 Definición general del funcionamiento de los nano-satélites(cube-sat)

El nano-satélite que se está diseñando y fabricando pertenece a la categoría cube-sat esto quiere decir que la estructura, del mismo serán de unas dimensiones cubicas más específico de 10cmx10cmx10cm, cual es el propósito de usar este tipo de satélites, tiene la ventaja de ser más espaciosos en su interior para colocar más sensores electrónicos.

Al ser una estación de monitoreo meteorológico se implementaran sensores específicos y que, a criterio de la información adquirida con anterioridad considero que serían, los más adecuados y de suma relevancia, es aspectos de versatilidad, costo en el mercado y fácil adquisición, en caso de ser necesario cambiar algún sensor en específico, por motivos de algún desperfecto.

Al ser un prototipo de un nanosatélite (cube-Sat) se fabricará en impresión 3D, esto por sus ventajas de manufactura, y que nos proporciona una ventaja si se encuentra algún, problema en el diseño este puede ser corregido y se podrá volver a imprimir, al ser diseñado en software CAD en este caso será fusión 360 esto por su gana de herramientas de diseño y simulaciones para entender las propiedades mecánicas de las piezas, el uso de los simuladores 3D es muy importante, podremos darnos cuenta de muchas fallas al momento de manufacturar en las simulaciones y en los diseños de la pieza, además de contar con los cálculos sobre la estructura y las propiedades mecánicas de estas mismas, para conocer y tener en cuentas las ventajas del material que se va a imprimir.

Para los componentes electrónicos se diseñaran en programas de simulaciones de circuitos electrónicos para realizar las simulaciones correspondientes, para reducir la menor cantidad de recursos posibles y que se diseñen circuitos electrónicos con las dimensiones, correspondientes del interior del satélite, se realizaran pruebas de tarjetas PCB caseras, para posteriormente mandar a fabricar las tarjetas electrónicas correspondientes, en esta etapa del proyecto se tendrán cálculos del consumo de los componentes, que se usaran en las pruebas, así como notas con los puntos importante de cómo usar cada tarjeta PCB para que el usuario no tenga, ningún problema la manipularlo.

2.1.1 Parámetros que medirá el nanosatélite (Cube-sat)

Con la información recabada anteriormente los sensores que seleccione en mi punto, de vista son de los más relevantes e indispensables, para este nano-satélite meteorológico, estos parámetros son los que el sensor estará enfocado en registrar y transmitir, y considero que son perfectos para el tamaño y objetivo del satélite.

Gases (Niveles de Monóxido de Carbono, Niveles de hidrogeno, Niveles de Gas LP)

Es importante conocer los niveles de aire en la atmosfera, entender los niveles de ciertos gases por ejemplos los más usuales como el Co₂, Hidrogeno, estos datos pueden ser de interés para varios tipos de experimentos además de conocer las concentraciones de estos gases en periodos de tiempo muy extensos y generar un registro detallado de como estos están en aumento u descenso dependiendo de las necesidades de los investigadores, en este caso es crucial para los eventos meteorológicos

Niveles de Humedad y Temperatura en la atmosfera

Como en cualquier estación de monitoreo del clima es fundamental y crucial e, indispensable conocer en cualquier momento la temperatura y humedad del ambiente, esto no puedo fallar es fundamental para calcular cualquier tipo de fenómeno climático que, este a punto de surgir. Estos dos parámetros están ligados entre si, dicho de otra manera, a medida que la temperatura va aumentando, la humedad disminuye y viceversa si la humedad aumenta la temperatura disminuye.

La humedad es la unidad de medida que indica la cantidad de vapor de agua en el aire, y la humedad relativa mide la cantidad de agua existente en el agua en relación con la cantidad máxima de vapor de agua.

Presión Barométrica

Es la fuerza que se ejerce la atmosfera de la tierra su medida es en milímetros de mercurio (mmHg) esto quiere decir que entre mayor sea la altura menos será la presión barométrica que se ejercerá, los niveles a los que estamos acostumbrados rondan los 160 mmHg, monitorear la presión barométrica es crucial para el monitoreo climatológico, como por ejemplo una presión baja es asociada con lluvias, fríos y niebla.

Presión alta es indicio de buen clima, días soleados y temperaturas agradables, las variaciones de presión drásticas provocan que el aire caliente se eleva y la presión baje, mientras que el aire frio baje y la presión suba.

Movimiento, aceleración y rotación

Este no es un parámetro que sea necesario del todo para monitoreo meteorológico, pero es muy importante para controlar la orientación y estabilidad del satélite. El acelerómetro y giroscopio pueden ayudar a medir la inclinación y la velocidad de rotación del satélite, esto nos ayuda a mantener la alineación de sensores como cámaras o instrumentos de medición atmosférica, monitoreo de vibraciones y golpes, cual estación de monitoreo meteorológico que sea desplegada a una altitud cual quiera, estará expuesta a experimentar vibraciones muy fuertes, se puede usar la registrar datos sobre los impactos sufridos en la estructura,

Apoyo a la navegación y comunicaciones, si el nanosatélite necesita orientar una antena o un panel solar hacia un punto específico nos puede proporcionar la posición actual y ajustarlo si es necesario.

2.2 Componentes electrónicos a utilizar

MQ-7 Detector de Monóxido de Carbono

Este sensor pertenece a la gama de sensores MQ, que se especializan, en la detección de diferentes gases, en este caso detecta las PPM del monóxido de carbono esto quiere decir que por cada millón de partículas en el rango de detección del sensor una de esas será de monóxido de carbono este sensor tiene 4 pines los cuales son 1 alimentación a 5v, 1 de GND, 1 entrada analógica, 1 entrada digital, no consume mucha energía el sensor tiene un tamaño compacto es perfecto para detectar gases de monóxido de carbono e instalarlo en los espacios reducidos del satélite el rango que posee este sensor es de 20 a 200 ppm además de tener integrado un potenciómetro para, ajustar la sensibilidad del sensor, tiene una baja conductividad baja cuando el aire es limpio.

MQ-8 Detector de hidrogeno

Pertenece a la gama de sensores MQ este se caracteriza por detectar ppm de hidrogeno específicamente concentraciones desde los 100 a 10000 ppm. Posee una salida analógica, digital, lo más adecuado es usar la entrada analógica, su funcionamiento es mediante un sensor electro-químico que varia su resistencia al estar en contacto con el hidrogeno en el aire sus características más relevantes serian, que tiene un voltaje de alimentación de 5v, un consumo de 800 mW, tiene 4 pines, (alimentación, GND, entrada analógica, entrada digital).

MQ-9 Detector de Gas

Pertenece a la gama de sensores MQ especializados a la detección de gases, este específicamente, gases inflamables como el gas licuado de petróleo (GLP) y el metano (CH₄) en el aire su rango de operación de ppm esta en el rango de, 20 a 2000ppm es un muy buen rango de operación, su voltaje de operación es de 5v, soportar temperaturas, en el rango de -20°C a 50°C.

DHT11 Sensor de humedad y temperatura

Este sensor es perfecto para detectar humedad y temperatura, que tiene su pin digital en lugar de analógico a diferencia de otros sensores en el mercado que de igual manera se encargan de registrar la temperatura y humedad como es, el LM35 el DHT11 ofrece una mejor protección contra el ruido del ambiente, lo cual nos arroja datos más precisos, sobre el entorno su tamaño compacto es de gran utilidad para instalarlo en la estructura del, satélite su voltaje de funcionamiento es de 3.5v a 5.5v, solo cuenta con 3 pines alimentación, GND, entrada digital, el rango de húmeda es de 20% a 90% con un error de humedad de +- 5% detecta desde 0°C hasta los 50°C sin ningún problema, el peso es de 3gr y con dimensiones de 19mm*17mm*19mm

BMP180 Sensor de presión Barométrica

Este sensor ofrece una alta precisión, a un bajo consumo de energía, como sabes con anterioridad la presión atmosférica es la fuerza por unidad de superficies que ejerce el aire que forma la atmósfera sobre la superficie terrestre la presión atmosférica sobre el nivel del mar es de 101325 Pa. Este sensor es perfecto por sus características como tamaño muy compacto excelente para acoplar en la estructura del satélite, posee un bajo consumo de energía, con un rango de medición de 300 a 1100 hPa (Hecto Pascales), además tiene la capacidad de medir otros parámetros como lo son la altitud, temperatura y presión sobre el nivel del mar.

Trabaja con un voltaje de 3.3v a 5v DC su rango de precisión es de 300 a 1100hPa, la frecuencia de muestreo es de 120Hz, su comunicación se basa en tecnología I2C, posee 4 pines Vcc, GND, SCL, SDA

MPU6050 Acelerómetro y Giroscopio

Este sensor es para el satélite es un sistema de 6 grados de libertad que combina un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes en un integrado su función principal será la de navegación, goniometría, estabilización, el voltaje de funcionamiento es de 3.3v a 5v con un protocolo de comunicación I2C cuenta principalmente con 7 pines que, a nuestras necesidades usaremos todos los pines o no en mi caso solo se usaran 4 pines, que son VCC, GND, SCL, SDA se usara principalmente para conocer en tiempo real la posición real de la estructura del satélite.

Modulo SD

Este sensor solo tiene la función de almacenar toda la información que se este registrando de los sensores que estén, en operación toda la información que se guardara en la unidad de memoria micro SD, trabaja con un voltaje de 3.3v a 5v DC en total tiene 6 pines para este sensor si utilizaremos los 6 pines, los cuales serán Vcc, GND, CS, MOSI, CLCK, MISO,

Microcontrolador (Arduino)

El dispositivo encargado de procesar toda la información y controlarla será el microcontrolador Arduino NANO, perfecto para este proyecto por el tamaño y potencia de procesamiento de datos, puede que no sea el Arduino con la mayor cantidad de procesamiento, pero tiene la suficiente para controlar la mayoría de los sensores, que vamos a implementar, el tamaño lo hace perfecto no superando los 4.2cm*2.5cm*1cm, si se quiere más potencia de procesamiento de datos, se pueden usar placas de desarrollo más potentes como son el caso de la ESP32 u el raspberry que sin duda alguna superan con creces al Arduino en cuestión de procesamiento de datos además de versatilidad, pero como prototipo se escogió el Arduino como principal microcontrolador.

GPS

Este sensor su principal función será la de tener la posición del nano satélite en tiempo real para en cualquier caso si es desplegado el satélite y por cualquier circunstancia, u evento climático este sufre una desviación de su trayectoria el GPS, ayudara en búsqueda del mismo.

Sensor efecto Hall (magnetómetro)

Este sensor tiene el propósito de registrar los campos magnéticos de su entorno, no tiene una potencia y una precisión comparada con los satélites de gran tamaño, pero se tiene la idea que este sensor puede ser un sustituto a bajo costo para percibir algunos de los campos magnéticos de la, atmosfera se puede usar para el estudio de la ionosfera, variaciones magnéticas y clima espacial, si se combina con un giroscopio puede ser un potente sistema de navegación satelital, puede medir la radiación en las diferentes altitudes terrestres el sensor funciona con 5v DC tiene 4 pines (Vcc, GND, D0, A0).

La diferencia de usar la entrada analógica u la digital radica en la precisión que tendremos para detectar el campo magnético, en la entrada analógica, se genera una salida proporcional a la intensidad del campo magnético, empleados para medir la intensidad de un campo magnético. En la entrada digital se proporciona un valor alto en presencia de campo magnético y bajo en ausencia del mismo, son empleados para detectar la existencia de campos magnéticos.

Módulo de comunicación radio frecuencia

Para la comunicación a distancia entre el satélite y la computadora para transmitir datos usaremos antenas de radio frecuencia NRD24L01 opera en la banda de 2.4 GHz tiene un bajo costo de adquisición en el mercado lo que lo hace perfecto para este proyecto, en las especificaciones del fabricante tiene un rango de transmisión de datos de 1km, trabajaremos dentro de este rango de operación, cuenta con 8 pines lo cuales son Vcc de 3.3v, GND, CE, CSN, CCC, MOSI, MISO, IRQ. Es de suma importancia no conectar a mas de 3.3v de lo contrario el módulo sufriría daños en su integrado este módulo de comunicación es muy sensible se recomienda tratarlo con las medidas de seguridad adecuadas, esto lo recomienda el fabricante.

2.3 Ventajas y Desventajas de los Cube-sats

Ventajas

Al ser fabricado por módulos es fácil ensamblar, y de reparar las piezas que sufran algún daño en la estructura, fácil integración por módulos los cuales tienen sensores meteorológicos, antenas de comunicación y sistemas de navegación.

Costos bajos de producción lo que facilita que se creen en serie este tipo de satélites, se pueden fabricar con componentes comerciales.

Lanzamientos accesibles al ser un cubesats permite acoplarlos a los cohetes comerciales y enviarlo a orbitas bajas.

Se pueden desarrollar por universidades e instituciones pequeñas facilitando la investigación, meteorológica sin requerir enormes presupuestos.

Tiempo de desarrollo reducidos estos pueden diseñarse y lanzarse en 1 a 3 años mientras que un satélite meteorológico tradicional tarda alrededor de 10 años, si un cube sat se daña o se pierde fácilmente puede ser remplazado con otro con las mismas funciones.

Menor impacto ambiental al finalizar su misión, los cubesats en la órbita LEO se queman al reingresar a la atmósfera, evitando la acumulación de basura espacial.

Flexibilidad en misiones meteorológicas en orbitas bajas como las LEO proporcionan observaciones más detalladas en ciertas regiones geográficas

Pueden utilizarse para misiones u tareas específicas o secundarias, pueden especializarse en un solo tipo de medición y estar enfocados en transmitir datos en concreto que sean de interés para los investigadores.

Desventajas

Capacidad limitada de instrumentos no pueden llevar instrumentos meteorológicos avanzados como los satélites grandes.

Menos resolución de datos la precisión de las mediciones puede ser inferior a la de los satélites meteorológicos tradicionales.

Dificultad para transportar radares o sensores de microondas estos instrumentos, esenciales para el monitoreo de tormentas y precipitaciones requieren más espacio y potencia.

Restricciones de energía paneles solares pequeños generan menos energía, limitando el uso de sensores y sistemas de comunicación,

Autonomía limitada las baterías se descargan rápidamente, reduciendo el tiempo operativo de los instrumentos meteorológicos.

Problemas de comunicación y almacenamiento de datos al tener antenas pequeñas, la cantidad de datos que pueden enviar es limitada, en órbitas bajas pueden enviar datos cuando pasan sobre una estación receptora.

Vida útil corta generalmente es de 1 a 5 años mientras que los satélites meteorológicos tradicionales pueden durar 10 a 15 años

2.4 Diseño del satélite en software de diseño 3D (Fusión 360)

Para el modelado de las piezas de la estructura se optó por el software Fusión 360 en donde se simulaciones diferentes prototipos antes de fabricarlos, esto claro para evitar pérdidas de material innecesarias, el mismo programa tiene diversas herramientas que, nos ayudaron a simular el ensamblado completo del satélite y también podemos especificar el material del que estará fabricado, proporcionándonos datos importantes para realizar cálculos, y conocer la mecánica de los materiales del mismo satélite.

Al optar por la fabricación y diseño de un cubesats la piezas en su mayoría fueron muy similares entre si esto fue de gran ayuda, por que como se menciona en los puntos anteriores es más rápido el diseño y fabricación de los cubesats, el mayor reto fue en su interior, al ajustar cuales serian los espacios que se usarían para, las tarjetas de circuitos electrónicos, porque no todos los componentes en su totalidad, se pudieron instalar adentro de la estructura, por diversos motivos algunos de los sensores eran más grandes que otros y ocupaban un mayor espacio dentro de la estructura, pero la ventaja es que el espacio se pudo ajustar para que las placas sean fáciles de instalar, y sean fáciles de remplazar por otras tarjetas con sensores y propósitos específicos.

Un reto que si fue un muy importante, es la alimentación una fuente de alimentación que sea fácil de instalar pero a su vez no represente mucho peso para el satélite, además de proporcionar la suficiente energía para alimentar todo circuitos electrónicos cada placa PCB consumía una diferentes cantidad de energía.

Con el software también fue de gran ayuda para detectar cuales serían las características más adecuadas en cuestiones de diseño y cantidad de material con la que serian fabricadas las piezas, tenia las herramientas necesarias para proporcionar un dato importante como dureza, flexibilidad datos que fueron de utilidad para mejorar la estructura y conocer la capacidad alas que podría ser sometida la estructura completa del satélite.

2.4.1 Estructura de las piezas y características específicas

Base de Satélite

Como podemos apreciar esta primera pieza es la base del satélite es esencial su función principal es la de ser una pieza de unión de las diferentes piezas las cuales serán los pilares que serán 4, las paredes laterales igualmente 4 y la unión con el otro extremo de la base.

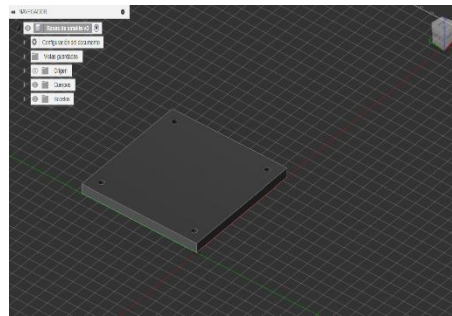


Fig. 14 Base de satélite

Las dimensiones son de 10.5cm x 10.5 cm x 0.5mm estas dimensiones, son las que me parecieron las más adecuadas para este prototipo por que serían muy rápidas de fabricar, y de remplazar, en caso de que se dañe alguna parte de la estructura. El tamaño ofrece ser compacto para almacenar en su interior los sensores que se ajusten a nuestras necesidades, la enorme ventaja de este prototipo es que son diferentes piezas que son ensambladas entre sí.

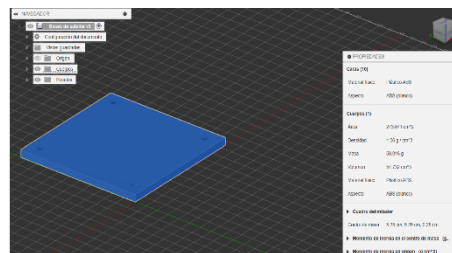


Fig. 15 Propiedades Base de Satélite

El software ofrece varias herramientas de simulación para conocer propiedades como volumen, masa, densidad, elasticidad, conductividad, incluso modulo de Young, y mas propiedades de nuestro interés, toda esta información es de suma importancia para tener en cuenta hasta que punto las estructura soportaría deformaciones significativas.

Paredes Laterales

Esta pieza que a simple vista no se observa gran complejidad de diseño es, una de las paredes del satélite encargadas, principalmente de proteger los circuitos electrónicos, de cualquier cosa del exterior que pueda dañar de alguna manera, la estructura, un concepto también asociado con estas paredes son los escudos térmicos del satélite encargados de proteger al satélite de radiación entre otras cosas.

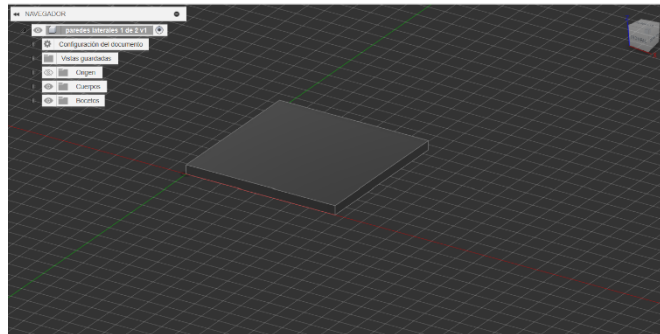


Fig. 16 Pared Lateral

Se usaran 2 paredes con estas características que serian 8cm x 8cm x 0.5mm son mas pequeñas que las dimensiones de la base anteriormente especificadas, el motivo de estas dimensiones es debido a que los pilares del satélite ocupan espacio el cual afecto en dimensiones a las paredes laterales y se tuvo que ajustar el tamaño, aquí fue importante tener en cuenta la cantidad de filamento con la que seria fabricada la pieza entre más relleno tenga soportara mejor las deformaciones a las que estará sometida.

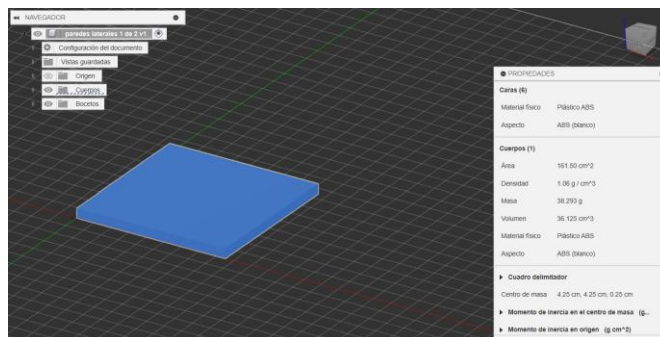


Fig. 17 Propiedades Pared Lateral

Paredes Laterales con ranuras

Estas paredes tienen una característica diferente a las anteriores como se puede notar cuenta con dos ranuras, el propósito de estas es para insertar las tarjetas PCB en ellas y que estén fijas y no se muevan durante todo el trayecto, solo se necesitan 2 de estas con las cuales el satélite estará cubierto anteriormente se especificó que necesitaríamos 2 paredes laterales y 2 de estas con ranura así formando las 4 paredes del satélite

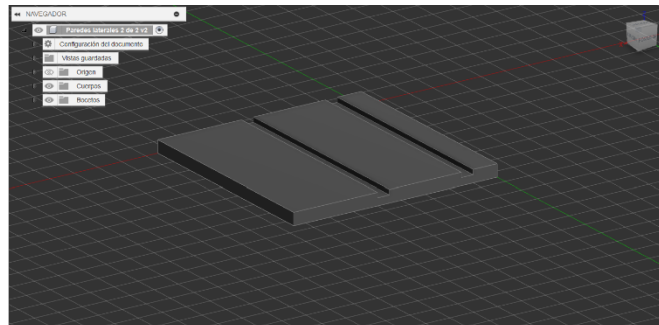


Fig. 18 Paredes Laterales con ranuras

Sus dimensiones serian de 8cm x 8cm x 0.5mm la cantidad de relleno con la que fue fabricada es del 100% esto se decidió por que las ranuras le quitan resistencia a la estructura y la vuelven más propensa a tener fracturas en la estructura, para evitar este problema aumentan la dureza y cantidad de relleno proporciona una mayor resistencia.

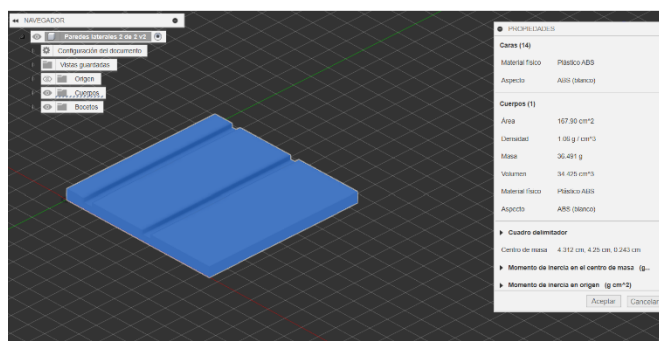


Fig. 19 Datos Paredes Laterales con Ranura

Pilares

Estos pilares tienen como propósito el de conectar todas las piezas entre si manteniendo fija la estructura, así que son de suma importancia para el satélite su forma permite, unir las bases del satélite y a su vez juntar todas las paredes, como se puede observar en la parte central superior de la pieza cuenta con un orificio de 0.2mm de diámetro la función de este es de conectar la base inferior del satélite con base superior del satélite y manteniéndolos fijos en una sola posición.

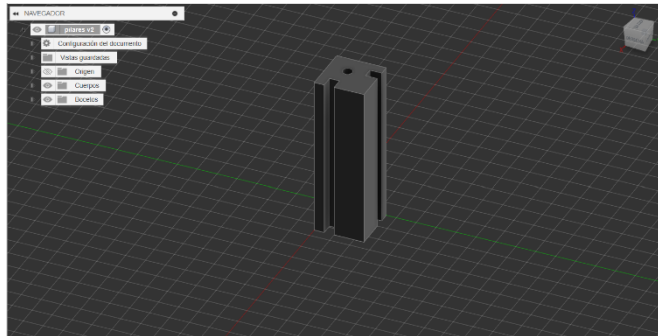


Fig. 20 Pilar del satélite

Para este punto es importante tener en cuenta la cantidad de material con, la que se fabricara la pieza para esta pieza se fabricó, con un relleno del 100% dándole una dureza muy elevada y resistencia a las deformaciones es importante considerar que, esta pieza es crucial para tener todas las demás piezas, unidas y que no se separen una de la otra así que si fue importante tener en consideración las tolerancias de las piezas, para una vez que se fabricaran están encaran sin ningún problema entre si.

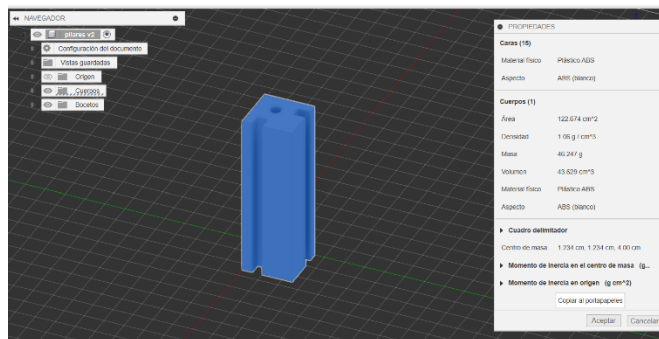


Fig. 21 Datos de Pilar

Placas Internas

Estas placas tienen la función de ser base para colocar, las placas PCB encima de estas y una vez instaladas las PCB, estas serán instaladas dentro del satélite específicamente en las ranuras que anteriormente se mencionó de las (paredes laterales Internas con ranuras). Las dimensiones de estas placas serían 9cm x 8cm x 0.5mm.

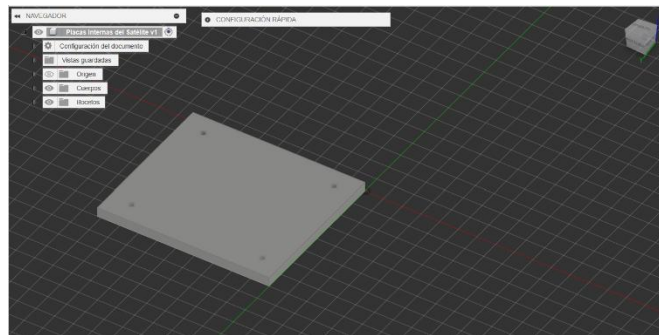


Fig. 22 Placas Internas

Se diseñaron estas placas para que los sensores estén fijos durante todo el trayecto del lanzamiento, y no sufran daños de ningún tipo como podemos observar en las placas se implementaron 4 orificios para, se pueda fijar la placa PCB, y este más asegurado se diseñó como una medida de seguridad, extra aquí la cantidad de material fue de 15%, esto por que al estar en el interior del satélite no, fue necesario fabricarlo al 100%.

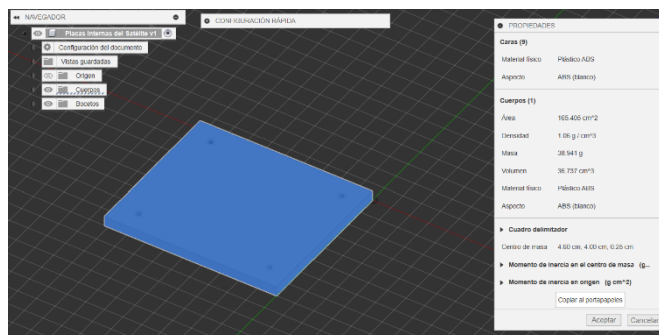


Fig. 23 Datos Placas Internas

2.4.2 Ensamble de las piezas por separado

Aquí podemos ver en la siguiente imagen la simulación del primer ensamble de las piezas que consta de la base del satélite, con los 4 pilares colocados en cada esquina de la base, en esta primera simulación se quiere plasmar lo intuitiva que puede ser el ensamblaje del satélite.

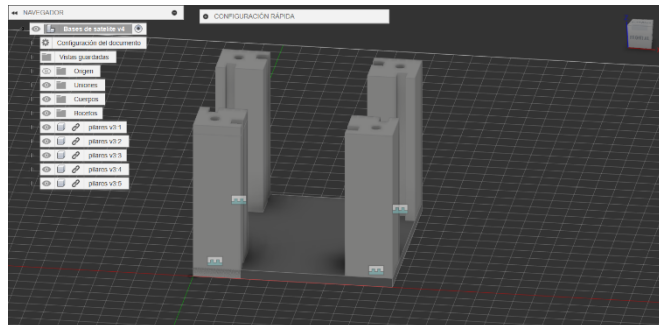


Fig. 24 Ensamble de base y pilares

Como segundo ensamble podemos observar que a los pilares se les incorporo las 4 paredes laterales, las piezas encargadas tanto proteger la estructura, como sostener las placas PCB en su interior, encajan a la perfección los pilares con las placas, tiene que estar hechas a la medida por que, de lo contrario, si tiene una tolerancia alta, tiene la posibilidad de que las vibraciones ocasionen que se puedan separar las piezas entre sí.

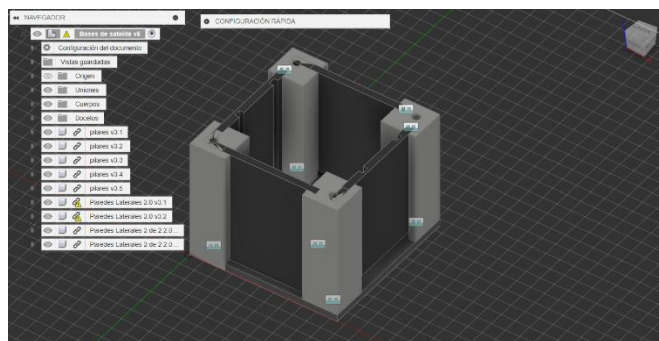


Fig. 25 Ensamble de paredes laterales.

En este ensamble se le incorpora las placas internas, encargas de llevar encima a las placas PCB, estas pueden modificarse según el tamaño de los sensores que, vayan a incorporar adentro del satélite, y acomodarlos según nuestro criterio, además de que todos los elementos como la fuente de alimentación, sensores, entre otros estén fijos a las placas y no se muevan y se desconecten.

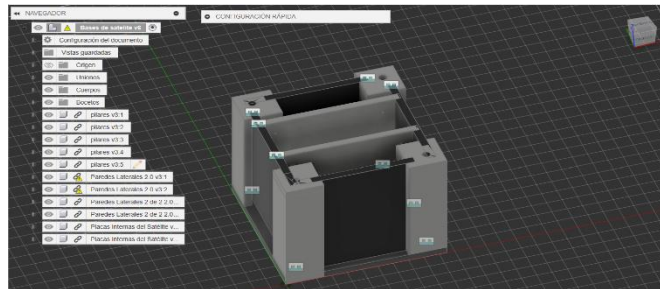


Fig. 26 Ensamble de placas internas

En este último ensamble esta total armado el satélite conformado de base, pilares, paredes, y placas internas su diseño pertenece a la categoría cube-sats, como se mencionó en los otros capítulos su diseño es más fácil de fabricar, de desmontar y en caso algún desperfecto, de alguna de las piezas se pueden remplazar fácilmente.

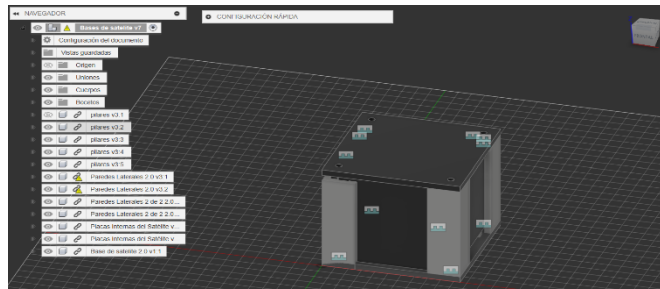


Fig. 27 Ensamble completo

Capítulo 3 Pruebas de funcionamiento de los componentes electrónicos

SENSOR DHT11 (TEMPERATURA Y HUMEDAD)

Podemos observar que el sensor está conectado a una pantalla oled para visualizar, el funcionamiento del sensor, en la primera imagen nos muestra el nivel de temperatura del ambiente, en la otra imagen podemos visualizar la humedad que es del 40%.

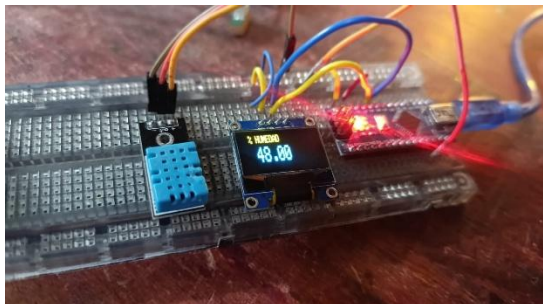


Fig. 28 Humedad

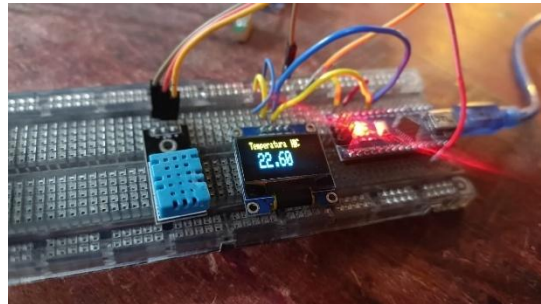


Fig. 29 Temperatura

SENSORES MQ-7(CO2), MQ-8 (H), MQ-9 (CO, CH4)

El funcionamiento de los sensores de gas MQ, se pusieron a prueba midiendo el gas del ambiente cada sensor midió su respectivo gas, los sensores se configuraron para que sean muy sensibles a estos gases, pero, esto se puede ajustar físicamente en la parte trasera, de cada sensor se puede ajustar con un desarmador, aquí se ajustó para sea visible en la pantalla oled, y se entienda como funciona el sensor.

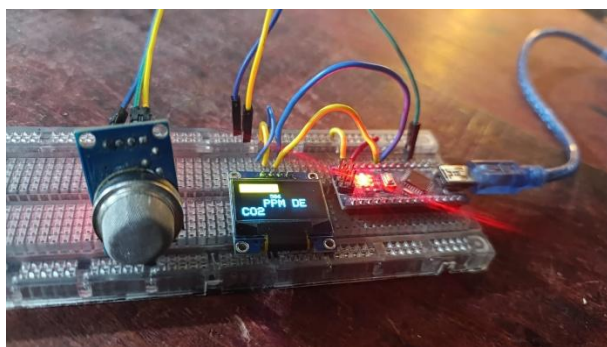


Fig. 30 MQ-7

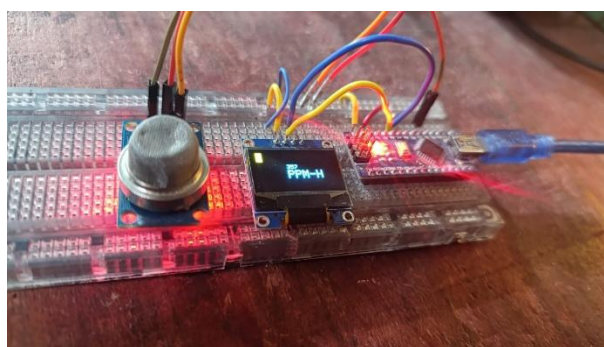


Fig. 31 MQ-8

Se puede ajustar los niveles de la pantalla las ppm son muy importante en el sensor detector de Co2 lo normal es un nivel de 400 a 450 ppm en la atmosfera pero niveles por encima de 1000 ppm suele presentar malestar leve, en el sensor de hidrogeno, entre más elevado sea el nivel de ppm no es toxico, pero si es sumamente explosivo, con los niveles de metano los niveles normales son de 1.8ppm este gas no es toxico en el ambiente, pero si es explosivo si en un área los niveles superan el 5% a 15% en volumen es de alto riesgo y muy explosivo.

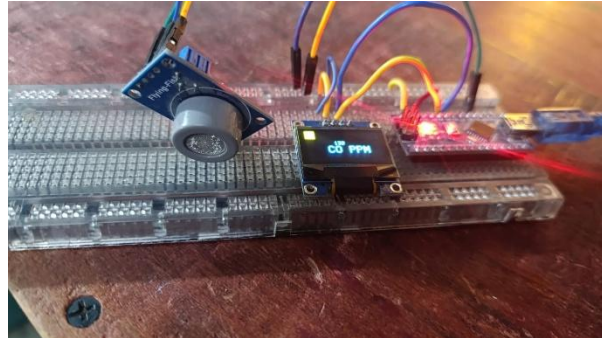


Fig. 32 MQ-9

BMP180

Los niveles de presión atmosférica son indispensables para la predicción del clima la presión de Tlaxcala es de 700 a 800 hp esto significa que, existe un clima muy estable en el estado, debemos tener en cuenta que cuando la presión aumenta se asocia con un buen clima estable y despejado, y menos lluvia, por el contrario si la presión baja es señal de clima propenso a lluvias o tormentas, si baja drásticamente, se generan los huracanes o ciclones tropicales

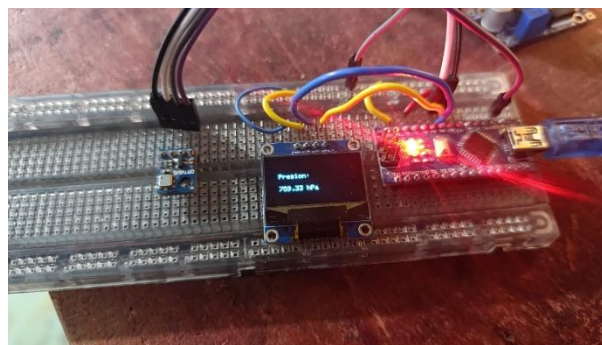


Fig. 33 Presión Barometrica

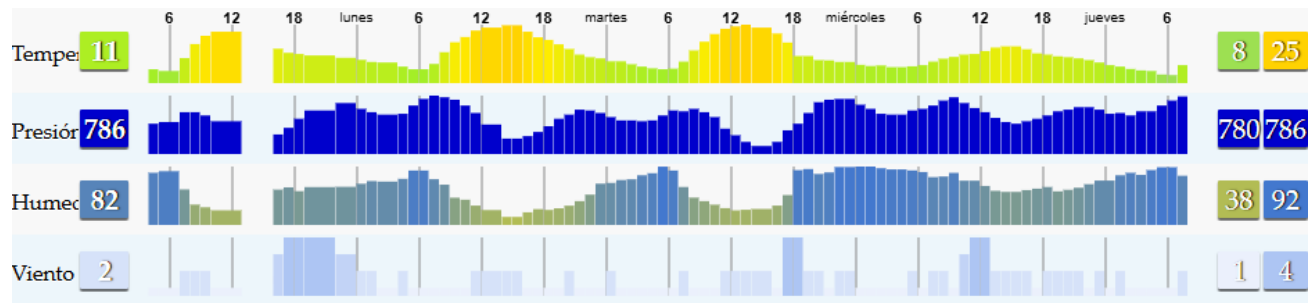


Fig. 34 Tabla del clima de Tlaxcala
Fuente: ICA de palacio de Gobierno, Tlaxcala, Tlaxcala

MPU6050

Con este sensor solo nos mostrara la posición de giro en los ejes (x,y,z) esto se deberá ajustar a nuestras necesidades, o el punto que nosotros consideremos punto de origen, el sensor nos sirve como sistema de orientación cuando este en órbita o elevación y tener en cuenta cuales es la posición de la estructura y se es necesario corregir a trayectoria.

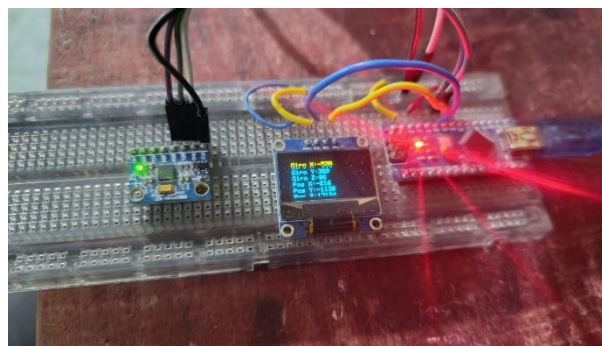


Fig. 35 Giroscopio y Acelerómetro

MODULO GPS

Con este módulo GPS su función principal, es conocer en tiempo real la posición de todo el satélite, esto es indispensable por muchas razones, con este dato podremos conocer el estado del clima y la ubicación geográfica exacta y tener un registro más detallado de las zonas que sean de nuestro interés.

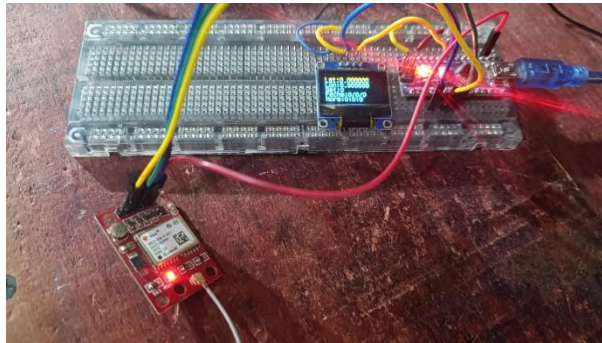


Fig. 36 GPS

MODULO DE ALMACENAMIENTO SD

Con este módulo de almacenamiento SD, su función principal es guardar todos los datos de los sensores que este en operación en este caso se guardaron los datos de los sensores BMP180, DHT11, y sensor MQ debemos tener en cuenta que entre mayor, sea la cantidad de sensores conectados al Arduino, se consumirá una mayor cantidad de procesamiento, así que al usar un Arduino nano llevar al máximo la capacidad de procesamiento, que puede soportar, puede arrojar datos inconclusos así es recomendable no sobre cargar, el Arduino con demasiados sensores para no dañarlo.

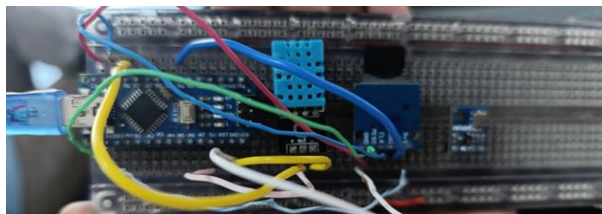


Fig. 37 MODULO SD

Para la visualización de los datos guardados se usó el monitor en serie en lugar de una pantalla OLED, esto con el fin de mostrar al mismo tiempo todos los sensores y sus parámetros que estén registrando.

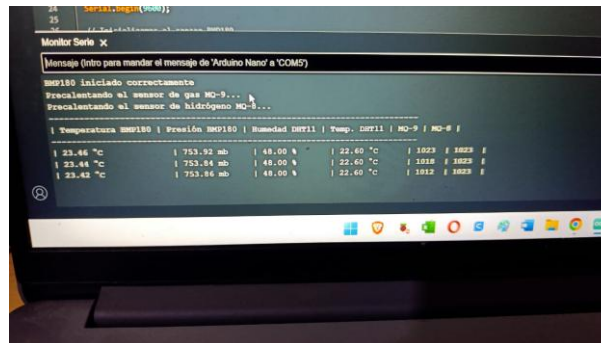


FIG. 38 DATOS ALMACENADOS

3.1 Diagrama de sensores electrónicos

Sensor DHT11

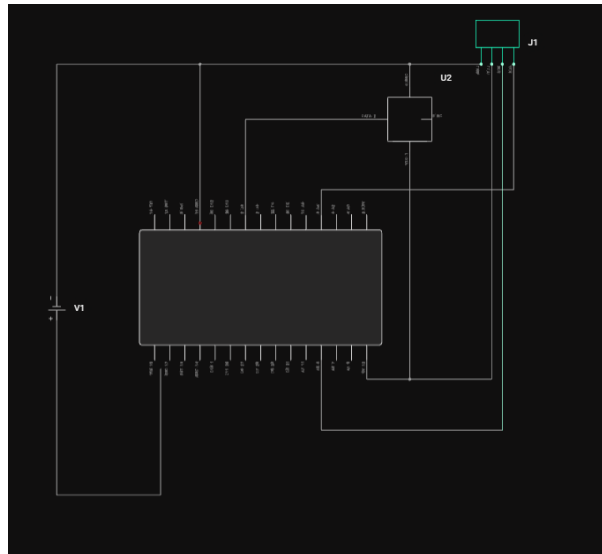


Fig. 39 Diagrama electrónico DHT11

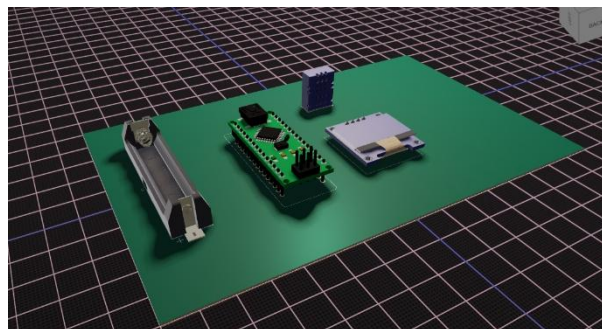


Fig. 40 Prototipo PCB DHT11

Sensor BMP180

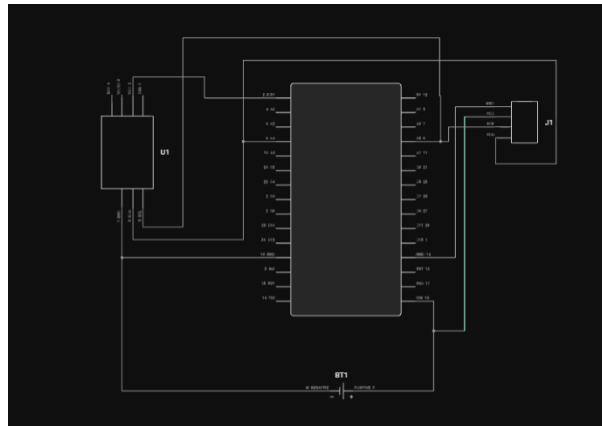


Fig. 41 Diagrama electrónico BMP180

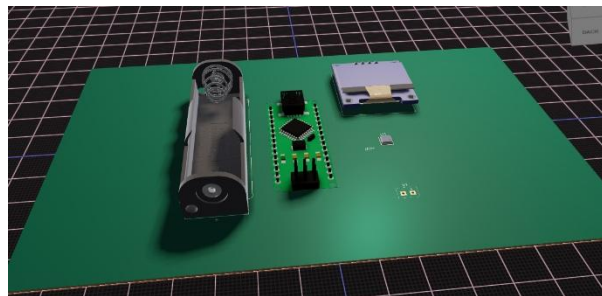


Fig. 42 Prototipo PCB BMP180

Sensor MPU6050

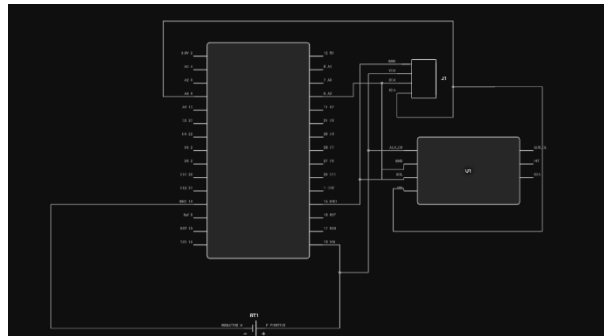


Fig. 43 Diagrama Electronico MPU6050

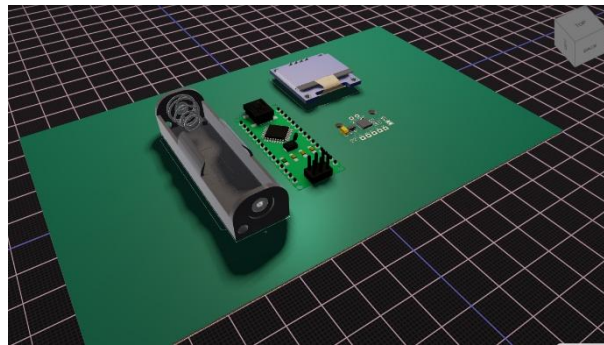


Fig. 44 Prototipo PCB MPU6050

PCB CON DIVERSOS SENSORES

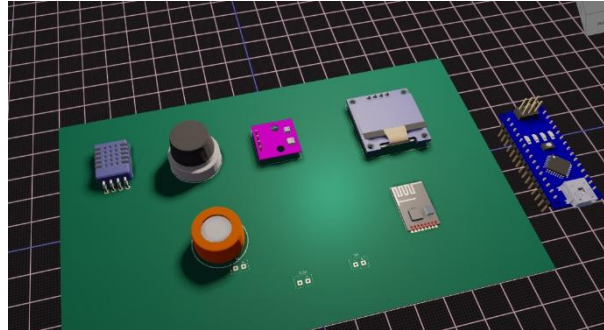


Fig. 45 Prototipo PCB con diversos sensores instalados

3.2 Ensamblaje físico del satélite con sensores



Fig. 46 Paredes laterales en 3D

Estas piezas son las paredes de los 4 costados del cube sats, el color negro se escogió para resaltar físicamente, cuando este en el ambiente y sea fácil de encontrar, el porcentaje de relleno de la pieza es del 40%, esto es importante, el porcentaje de relleno o dureza, de estas piezas determinaran la resistencia que tendrá, para soportar los impactos de cualquier objeto externo, entre mas grueso o pesado sean estas piezas, resistirán mejor los impactos, pero tendrán un mayor peso, son puntos a considerar muy importantes no pueden ser muy pesadas estas piezas, pero deben ser lo suficientemente resistentes, para resguardar, los componentes electrónicos.

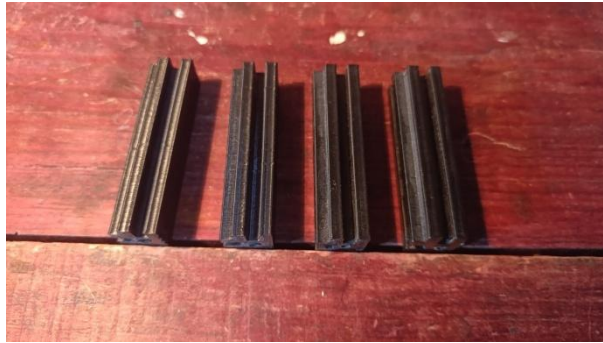


Fig. 47 Paredes laterales en 3D

Los 4 pilares tienen las mismas dimensiones y cantidad de relleno en este caso es del 60% se tomo en cuenta que, estas piezas tienen la tarea de conectar todas las piezas, unas con otras como lo son las paredes laterales, placa base y superficial del satélite, por lo tanto, deben ser lo suficientemente rígidas para tener bien sujetadas las piezas, y al mismo momento, soportar las deformaciones a las que estarán sometidas.



Fig. 48 Base y Cubierta en 3D

Estas dos placas son las superior e inferior del satélite la función de estas piezas, son de mantener sellada la estructura del satélite se escogieron dos colores para estas piezas, el color naranja y negro, con el fin de resaltar a simple vista y que, sean fáciles de encontrar cuando sea lanzado el satélite.

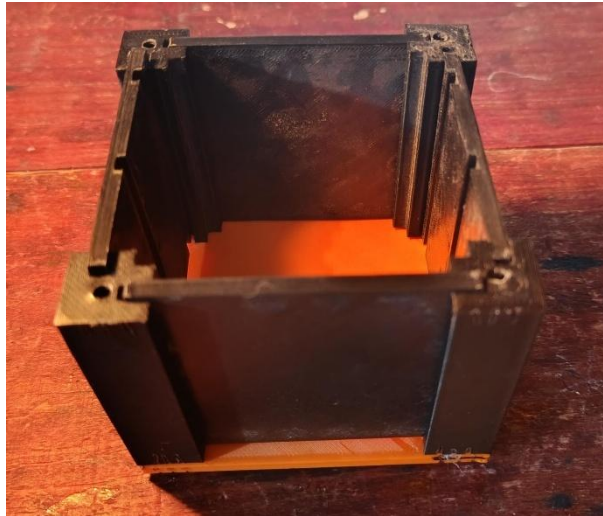


Fig. 49 Acoplamiento de base inferior, pilares y paredes laterales

Aquí podemos observar cómo están ensambladas, las paredes laterales, junto con los pilares de la estructura unidas a la base inferior.

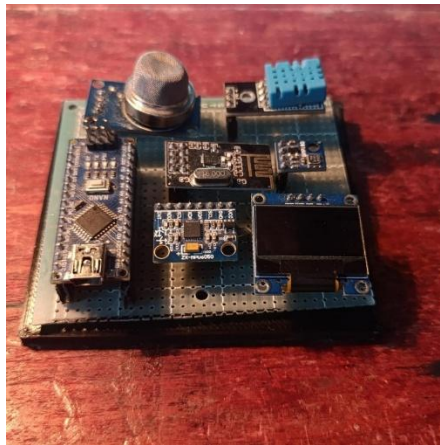


Fig. 50 Prototipo de PCB casera en soporte de placa en3D

Aquí se muestra uno de los prototipos de PCB, esta placa tiene solo 3 sensores de medición, que son el DHT11, BMP180, MQ-8 y que pueden ser visualizados con una pantalla oled, y una antena de transmisión de datos NRFT11, esta placa esta montada sobre una placa que será, instalada adentro del satélite, la placa sobre la que está colocada ayudara a mantener fija la PCB dentro del satélite.



Fig. 51 Incorporación de prototipo de PCB en el interior del satélite

Aquí podemos visualizar la instalación de la placa PCB adentro del satélite como podemos observar, la placa se mantiene fija y estable gracias, a la placa interna que sirve como base de soporte.

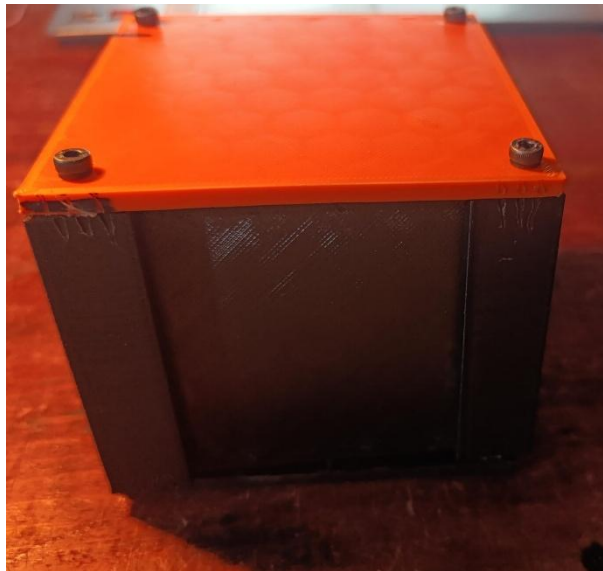


Fig. 52 Ensamblaje completo del satélite

Aquí podemos observar la estructura del satélite completamente sellada.

Conclusiones

Este proyecto resulto más desafiante de todos los aspectos posibles, al poner en práctica todos los conocimientos de toda mi especialidad, matemáticas, física, mecánica de materiales, mecánica de fluidos, programación, electrónica. Pero sin duda alguna se tuvieron buenos resultados en una nueva área en todos sentidos para mi como lo fue la creación de este nano-satélite que sin duda alguna los resultados obtenidos fueron de suma importancia.

Se llego a la conclusión de que el nano-satélite es efectivo en distancias cortas por las limitaciones de la resistencia de las piezas fabricadas en impresión 3D, estas no están diseñadas para soportar toda, las condiciones físicas alas que estaría expuesto un nano-satélite, convencional pero esto solo es el siguiente paso para seguir desarrollando y mejorando esta unidad meteorológica, para poder ser enviada con éxito a orbitas mayores, con materiales de mejor calidad diseñados para soportar todas las condiciones del espacio, y posteriormente ser puesto en órbita baja.

BIBLIOGRAFIA

Los satélites y su utilidad en nuestro día a día (María José González Bonilla, Centro Espacial Inta Torrejón, Instituto Espacial de Técnica Aeroespacial)

Tipos de Satélites y sus Órbitas y Funciones(Kateryna Sergieieva, Científica Senior en EOS Data Analytics, 25-01-2024)

**Raymond A. Serway, John W. Jewett (Física para ciencias e ingeniería) Volumen 2
Décima edición (2018)**

**R.C Hibbeler (Mecánica de materiales)
Novena edición (2018)**

Paul E. Tippens (Física, conceptos y aplicaciones) Séptima edición (2007)

<https://spaceplace.nasa.gov/hurricanes/sp/>

https://ciencia.unam.mx/leer/244/misterios_de_las_nubes_de_tormenta

<https://cnnespanol.cnn.com/2022/03/22/tornado-asi-produce-tormenta-electrica-trax>

<https://tatoo.ws/ec/p/el-ciclo-de-la-nieve/1220>

<https://blogs.larioja.com/eltiempo/2015/12/13/nieblas-en-el-valle-como-y-por-que-se-forman-cuanto-van-a-durar/>

https://www.revista.unam.mx/2021v22n5/dinamica_de_las_olas_del_tsunami/

<https://www.ubigo.net/tecnologia/tipos-satelites-artificiales/>

<https://eos.com/es/blog/tipos-de-satelites/>

