



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECÁNICA - MECATRÓNICA

DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO PARA DETERMINAR LOS TIEMPOS DE  
MANTENIMIENTO DE LAS BICICLETAS DEL SISTEMA BICIPUMA,  
CONSIDERANDO EL INTERNET DE LAS COSAS

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

**PRESENTA**  
ING. FRANCISCO MICHELL SALINAS GONZÁLEZ

  
**TUTOR PRINCIPAL**  
DR. LEOPOLDO A. GONZÁLEZ GONZÁLEZ. FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., FEBRERO-2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Dorador González Jesús Manuel  
Secretario: Dr. Espinosa Bautista Adrián  
1<sup>er.</sup> Vocal: Dr. González González Leopoldo A.  
2<sup>do.</sup> Vocal: Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.  
3<sup>er.</sup> Vocal: Dr. Rocha Cózatl Edmundo Gabriel

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE  
INGENIERÍA

**TUTOR DE TESIS:**

DR. LEOPOLDO A. GONZÁLEZ GONZÁLEZ

# Agradecimientos

Agradezco al Consejo de Ciencias y Tecnología (CONACyT) por el apoyo brindado a través de la beca otorgada durante los dos años de la maestría.

Le agradezco al personal del sistema de Bicipuma por permitirme realizar una visita a los talleres, y por permitirme recabar información sobre las bicicletas y en general del servicio para ser empleada en este trabajo de investigación.

Con especial cariño por el apoyo de mi tutor Leopoldo A. González González por su dedicación, el tiempo invertido, sus instrucciones y sugerencias que me guiaron para avanzar en el desarrollo del proyecto. También por el respeto a mis sugerencias e ideas en este trabajo.

Doy las gracias a todos los involucrados en el programa de maestría y doctorado de ingeniería, en especial al Dr. Alejandro Ramírez Reivich, por la paciencia y confianza para ayudar a resolver dudas y problemas académicos. También agradezco a la Ing. Isabel Adriana Ambriz Castro, por el constante apoyo y seguimiento de dudas en tramites escolares, y recordatorios de actividades del programa de maestría.

Al Dr. Edmundo G. Rocha Cózatl, le agradezco por su confianza para estar en el programa de ayudantía, y por ser un apoyo en momentos de duda.

Gracias a mis padres que fueron parte importante para continuar con mis estudios de posgrado y por creer en mí.

Gracias a mis amigos y compañeros que me han prestado su apoyo moral y académico en el desarrollo de este proyecto. Con especial mención a Esperanza Elizabeth Mendoza Solís y Alejandro Ruiz Esparza Rodríguez

# 1 Índice

1	Problemática, objetivos e hipótesis .....	1
1.1	Problemática .....	1
1.2	Objetivos .....	1
1.3	Hipótesis.....	1
2	Introducción .....	2
3	Estado del Arte .....	3
4	La bicicleta.....	5
4.1	Desgaste o deterioro de componentes de la bicicleta.....	7
4.2	Mantenimiento .....	9
4.2.1	El mantenimiento de las bicicletas.....	11
4.3	Instrumentación y monitoreo .....	12
5	Internet de las cosas (IoT) .....	13
5.1	Sistema Internet de las cosas.....	15
5.1.1	VPS.....	15
5.1.2	WEB HOSTING .....	16
5.1.3	Base de datos .....	17
5.1.4	BROKER MQTT.....	18
5.1.5	Dispositivo .....	19
6	Desarrollo del dispositivo.....	22
6.1	Identificación de las necesidades.....	22
6.2	Especificaciones .....	25
6.3	Generación de conceptos.....	26
6.4	Selección de conceptos .....	27
6.5	Ubicar sensores.....	32
6.6	Arquitectura del dispositivo.....	34
6.7	Tarjeta electrónica .....	36
7	Experimentos .....	40
7.1	Orientación de la bicicleta.....	40
7.1.1	El MPU 6050.....	41
7.2	Ejemplares.....	41
7.3	Variables.....	41
7.4	Pruebas.....	43

7.4.1	Nomenclatura para las pruebas .....	44
7.5	Resultados .....	45
7.5.1	Graficas de experimentos .....	47
8	Mantenimiento predictivo con MATLAB.....	56
8.1	Adquisición de datos .....	57
8.2	Preprocesamiento de datos .....	58
8.3	Indicadores de Condición .....	62
8.3.1	Extracción de características .....	62
8.3.2	Ranquin de características .....	65
9	Trabajo a futuro .....	72
9.1	Desarrollo en la página web y sus complementos.....	72
9.2	Diseño del dispositivo .....	73
9.3	Manejo de base de datos .....	73
9.4	Inteligencia Artificial.....	74
9.5	Sistema modular .....	75
10	Conclusiones.....	76
11	Referencias.....	77
12	Anexos .....	79
12.1	Anexo 1.....	79
12.2	Anexo 2.....	81
12.3	Anexo 3.....	82

# 1 Problemática, objetivos e hipótesis

## 1.1 Problemática

En ciudad universitaria de la UNAM, la demanda del servicio bicipuma aumenta semestre a semestre, como consecuencia, el desgaste y deterioro en las bicicletas se acelera, la calidad del servicio disminuye. Al considerar que el servicio cuenta aproximadamente con 1000 unidades con una posible demanda de una población de alrededor de 217808 estudiantes de licenciatura (2019-2020) [6]. En consecuencia, los mantenimientos aumentarán requiriendo mayor personal y horas de trabajo, así mismo los costos relacionados al mantenimiento también se elevarán para los futuros semestres.

Además de que el sistema bicipuma se piensa extender el servicio, como programa piloto en Juriquilla (alrededor de 25 unidades), León (aprox. 70 unidades) y Sisal (con 95) [19].

## 1.2 Objetivos

- Identificar las variable y métodos de medición para determinar los tiempos de mantenimiento para las bicicletas del sistema bicipuma
- Diseñar un dispositivo para el envío de información de las bicicletas a los módulos de mantenimiento

### **Metas u objetivos particulares**

- Construir un dispositivo para medir las vibraciones de las bicicletas
- Almacenar la información en una base de datos
- Comunicación con una estación para envío de información de la bicicleta
- Comprobación experimental sobre el desgaste y uso recibido, de acuerdo a impactos, distancia recorrida y tiempo de uso.

## 1.3 Hipótesis

Instrumentar las bicicletas del sistema bicipuma adquirirá información útil para conocer el estado de condición de las bicicletas (Buena condición o condición degradada) a través de medir señales que indiquen deterioro o desgaste de sus componentes. Para así indicar si es adecuado realizar mantenimiento o que continúen en servicio.

Un sistema de internet de las cosas brinda la opción de recolectar y procesar la información de las bicicletas cuando están en servicio. Con el conocimiento de dicha información se busca encontrar los tiempos de mantenimiento (mantenimiento predictivo), para ayudar a evitar accidentes por el uso de bicicletas en mal estado, disminuir costos inherentes de reparaciones; al prolongar la vida útil de las bicicletas.

## 2 Introducción

Los sistemas de préstamos masivos de bicicletas como Bicipuma de la UNAM, enfrentan diversas complicaciones que van desde la logística para el suministro de las unidades en puntos de mayor afluencia, disponibilidad de lugares de estacionamiento para bicicletas en buen estado y las que necesitan reparación, además de la acumulación de bicicletas inservibles como basura. El aumento de las bicicletas en mal estado o condición no operable, provoca que los usuarios disminuyan el uso del sistema y/o el aumento de accidentes. Donde el equipo de mantenimiento es uno de los puntos a reforzar, dado que la cantidad de bicicletas supera por mucho al personal. La oportuna detección de desajustes o fallas en componentes de las bicicletas, permite que no se extienda a más componentes o que termine en pérdida total del equipo. Es así que conocer el estado o condición de las bicicletas (y sus componentes), brinda información útil para ayudar a la labor del equipo de mantenimiento, para procurar tener bicicletas en mejores condiciones de uso, y el servicio de préstamo continúe sin interrupciones y en malas condiciones.

Este trabajo aborda brevemente trabajos que han instrumentado bicicletas, para diferenciar modos de transporte, monitoreo de contaminantes en el ambiente, y su uso dentro del mundo del mantenimiento. Posteriormente se conocen las partes que componen a las bicicletas y fallas comunes en estas. El enfoque del mantenimiento predictivo y la instrumentación son necesarios como herramientas para conocer los tiempos de mantenimiento en las bicicletas. Mientras que el internet de las cosas (Internet of things "IoT"), se emplea para la recolección, organización y manejo de información de los sensores montados en las bicicletas, encaminados en transformar la información en conocimiento útil.

Mientras que el desarrollo del dispositivo, se emplea para conocer las especificaciones y necesidades del dispositivo, plantear conceptos de desarrollo, conocer y ubicar los componentes según las dimensiones para un dispositivo funcional. El dispositivo funcional se emplea en experimentos y recolectar información de dos grupos de datos: bicicletas en buena condición y bicicletas en condición deteriorada. Con ayuda del software de Matlab es posible analizar los dos grupos de datos, para así conocer y clasificar las características que permitan diferenciar cuando una bicicleta cambie de una buena condición a una mala condición.

Como punto final es importante mencionar las áreas se pueden desarrollar para complementar y dar continuidad al sistema planteado para el dispositivo.



### 3 Estado del Arte

La instrumentación de bicicletas ayuda a conocer el medio en el que se desenvuelve, la interacción con otros medios de transporte, seguridad contra robos y extravíos, ayudar a mejorar el rendimiento a deportistas, cuidado de la salud del usuario, medir el grado de contaminación (nivel de monóxido, dióxido de carbono...).

Al aparecer los sistemas de préstamos masivos de bicicletas, el mantenimiento a empezado a tener mayor importancia, para prolongar el tiempo de operación de las unidades y evitar accidentes.

El internet de las cosas y la actualización de nuevas tecnologías se integran para ayudar al manejo de la gran cantidad de información que fluye en los diversos campos de investigación mencionados previamente.

A continuación, se mencionan algunos trabajos que hacen uso del internet de las cosas, aplicado a las bicicletas.

#### **Diferenciar modos de transporte**

Se busca identificar tres tipos o formas de movilidad (peatones, ciclistas y automovilistas), a través de recolectar datos de unidades Bluetooth (que son visibles) que portan los usuarios. La información recopilada es la dirección Media Access Control (MAC) y el Received Signal Strength Indicator (RSSI). Con esos datos se conoce la velocidad del móvil para diferenciar el modo de viaje, mediante métodos estadísticos [13].

#### **Monitoreo de contaminación**

Investigación en la cual se mide el nivel contaminación en el aire y los signos vitales de ciclistas. La medición se realiza por medio de sensores (determinados contaminantes) montados en bicicletas mientras que las variables de ciclistas son monitoreadas por un guante que se comunica con el sistema de la bicicleta. Todo el conjunto de datos es enviado a la nube, donde una aplicación Android accede a la información para proporcionar al usuario la concentración y niveles de contaminación en la ruta que ha recorrido, y los signos vitales del ciclista. La ruta del ciclista es mostrada en un mapa [24].

#### **Dispositivo inteligente para ciclistas**

Desarrollo de dispositivo para adquirir información de bicicletas a través de sensores montados en la bicicleta y los sensores de un teléfono celular conectado al dispositivo. Emplea un dinamo para recargar la batería del sistema. El sistema tiene dos modos, activo e inactivo (estacionado). La información de la bicicleta puede ser revisada a través del celular en cualquier momento, directamente por bluetooth o indirectamente por medio de la nube.

La información adquirida es el tiempo de uso, distancia recorrida calorías quemadas, la ubicación de la bicicleta, (mostrada en un mapa) [12].

### **Transformación digital en el proceso de mantenimiento de bicicletas**

Al digitalizar del proceso de mantenimiento de bicicletas en empresas de renta masiva de bicicletas.

Se identifican diferentes sistemas de las bicicletas.

- Sistema de frenos: Pedales, cadena, frenos de mano/frenos de pie
- Sistema de control: Manubrio, tijeras.
- Sistema de comodidad: Asiento, amortiguadores, chasis
- Sistema de iluminación: Reflectores, luces, dinamo(generator)

Se busca identificar el estado de mantenimiento u operación de la bicicleta, en una escala de 0% a 100%. (estado óptimo).

Un acelerómetro montado en la bicicleta mide la aceleración y los impactos durante el trayecto. Esta medida se emplea para como base en un sistema de predicción para conocer la probabilidad de malfuncionamiento de los subsistemas de la unidad [25].

## 4 La bicicleta

La bicicleta como cualquier otro vehículo se constituye por diferentes sistemas, en este caso se ha optado por separar las partes en cuatro categorías o sistemas: Chasis, Transmisión, Frenos, y un último grupo en el cual se colocan piezas importantes pero que no han sido clasificadas dentro de las tres primeras. Los sistemas se muestran en la siguiente tabla

Tabla 1 Componentes

N°	Partes o Componentes	Sistemas	N°	Partes o Componentes	Sistemas
1	Tubo horizontal, vertical y diagonal	Cuadro (Chasis) y Horquilla	14	Frenos	Frenos
2	Tubo de Dirección/Telescopio		15	Palancas de frenos	
3	Vainas (inferior y superior) /Tijera trasera		16	Zapatas o gomas	
4	Horquilla o tijera		17	Buje/maza	
5	Desviador Trasero	18	Rayos		
6	Desviador Delantero	19	Rin/rueda		
7	Cadena	Transmisión	20	Llanta	Otros
8	Bielas		21	Poste de asiento	
9	Platos		22	Manubrio	
10	Pedales		23	Asiento	
11	Eje de pedalier		24	Poste de manubrio	
12	Catarinas		25	Tensores, chicotes y fundas	
13	Palancas de cambios				

A continuación, mediante imágenes se muestran la mayoría de los componentes mencionados en la lista anterior.

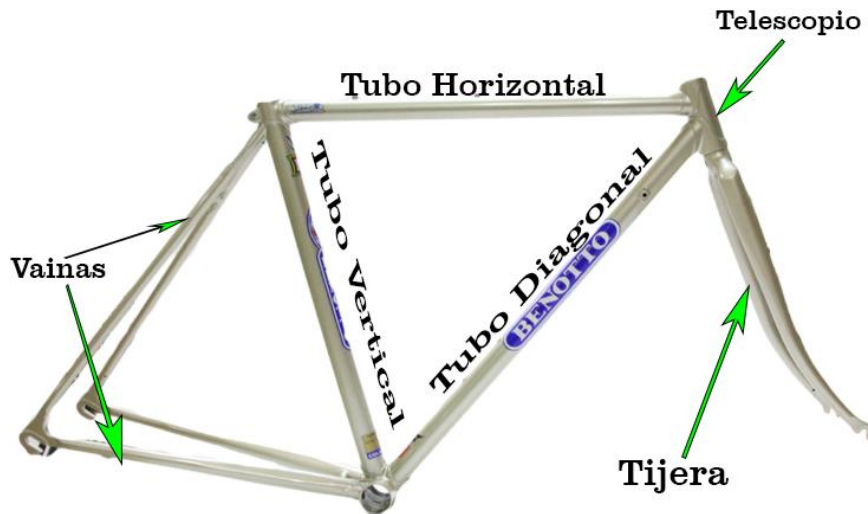


Figura 1 Chasis y sus partes

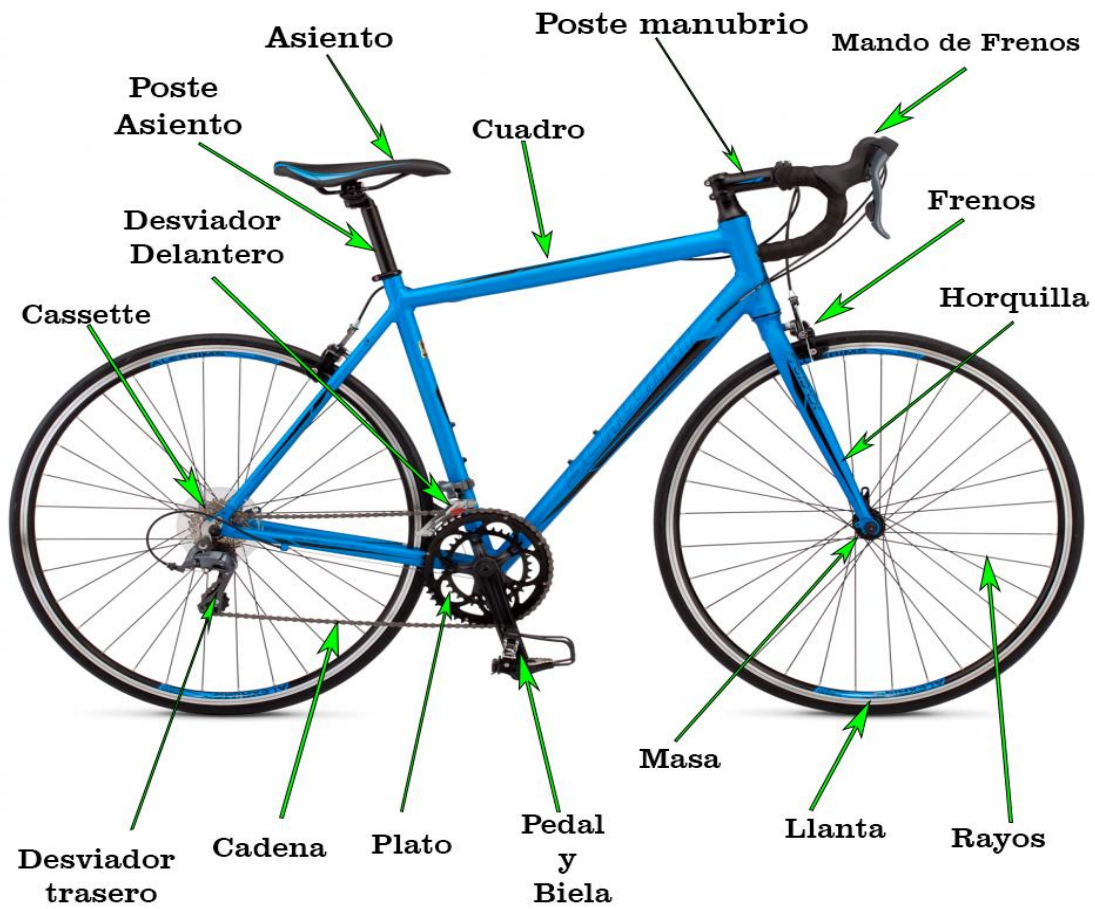


Figura 2 Componentes de la bicicleta

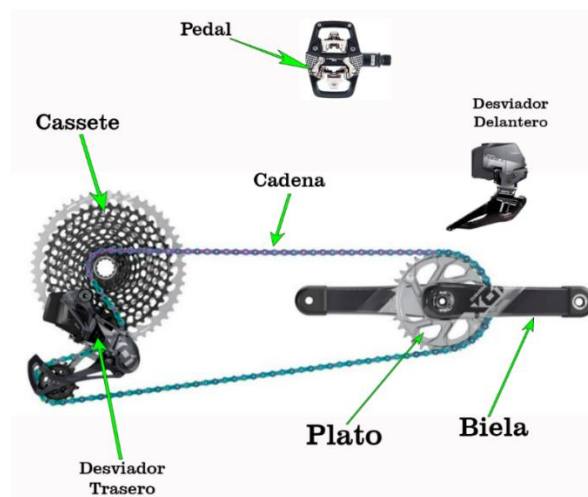


Figura 3 Sistema de transmisión

La cantidad de componentes pueden variar de bicicleta a bicicleta, así mismo el listado cambia según el autor del manual o taller que se consulte. La siguiente lista muestra algunos de los componentes en las bicicletas del sistema **bicipuma**. En el *Anexo1*, se encuentra la hoja “Control de refacciones y reparaciones de bicicletas”; que es empleada en los mantenimientos o servicios.

Tabla 2 Lista de componentes para bicipuma

N°	Parte	N°	Parte
1	Abrazadera estándar/ <i>over size</i>	16	Llantas
2	Aro/rin	17	Manubrio
3	Asiento	18	Maza delantera y trasera
4	Bloqueos para asiento	19	Multiplicación (platos y pedal D.)
5	Brazo izquierdo (pedal Izq)	20	Palancas de cambio
6	Broches	21	Palancas de freno
7	Cadena	22	Poste de asiento estándar/ <i>over size</i>
8	Cámara	23	Poste para manubrio
9	Cambio trasero y delantero	24	Puños
10	Canillas (tubo de freno <i>V-Brake</i> )	25	Rayos
11	Chicote de cambio	26	Catarinas (sprock)
12	Chicote de freno	27	Telescopio estándar/ <i>over size</i>
13	Eje de centro	28	Tijera estándar / <i>over size</i>
14	Forro (protector de los chicotes)	29	Tornillo para eje de centro
15	Gomas o zapatas	30	Horquilla de freno

El número de componentes cambiará por los nuevos modelos de bicicletas que se pondrán en circulación en los próximos semestres, mientras que los modelos viejos serán retirados gradualmente. Entre las piezas que ya no serán empleadas están **desviadores trasero y delantero**, así mismo las respectivas palancas para los cambios, las catarinas y platos serán reemplazados por los que son de un solo disco. En cuanto al tamaño de las piezas se mantendrá en el estándar, mientras que el *Over size*, ira desapareciendo conforme las bicicletas antiguas dejen de estar en funcionamiento.

#### 4.1 Desgaste o deterioro de componentes de la bicicleta

Existen diversos factores para el desgaste de los componentes de las bicicletas, algunos de ellos son los siguientes.

- Limpieza
- Lubricación
- Uso
- Estilo de conducción.
- Clima
- Terreno
- Golpes
- Choques

La limpieza y engrasado de las piezas de la bicicleta es el mantenimiento básico, de no realizarse oportunamente puede ser uno de los principales factores para que las piezas sufran desgaste o fallen en cumplir su función adecuadamente.

Por ejemplo, las piezas internas (rodamientos, balines) se desgastan por la fricción entre las superficies, el proceso de desgaste se acelera por una lubricación inadecuada.

El desgaste en las cadenas se presenta en la holgura que existe entre sus eslabones, de acuerdo con el calibrador de cadena cuando la cadena tiene una holgura de 0.5% a 0.75 % de elongación es recomendable hacer un cambio de cadena, cuando se llega al 1% es necesario realizar un cambio de cadena y verificar el estado de las catarinas y los platos. Si la holgura supera el 1% es necesario realizar cambio de todo el sistema de transmisión, tales como las catarinas, cadena y platos.



Figura 4 Medidor de desgaste de cadena <<<https://aplbike.com/Medidor-Desgaste-Cadena-VAR-CH-04900>>>

En las catarinas o piñones el desgaste se presenta en la parte trasera de los dientes, que es la zona donde la cadena ejerce fuerza para realizar el desplazamiento. Mientras que los platos y las roldanas (piezas del desviador trasero) se desgastan en ambos sentidos por lo que los dientes quedaran afilados, es decir, el desgaste se realizó por ambas caras del diente. El desgaste de las piezas de transmisión provoca reacciones como la perdida de pasos (que la cadena brinque dientes), que la cadena se salga de las catarinas/platos, y el atasco entre los rayos que puede ocasionar un accidente grave al conductor.

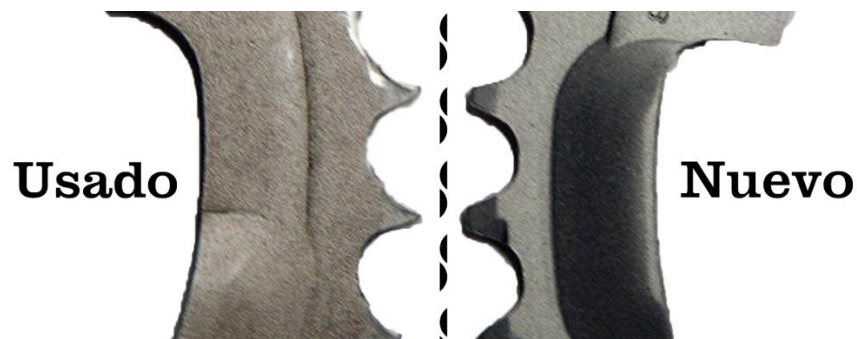
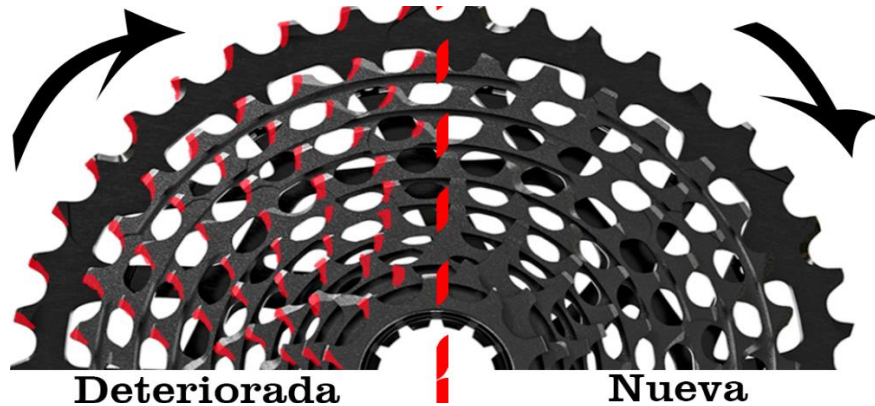


Figura 5 Desgaste en platos, (los dientes se afilan)



*Figura 6 Desgaste de catarinas. Los dientes se desgastan solo por la parte trasera.*

El desviador trasero además de sufrir el desgaste en las roldanas, también se encuentra sujeto a sufrir torceduras o desviaciones en su alineación con respecto con las catarinas. El buen funcionamiento del desviador es cuando las roldanas y las catarinas están alineadas sobre la misma línea imaginaria vertical.

Considerando que gran parte del desgaste en las piezas es por deformaciones, impactos, golpes, y la frecuencia de uso de la bicicleta. Variables como: la fuerza que se ejerce sobre los pedales, la distancia recorrida por la bicicleta, la velocidad, la cantidad de impactos y amplitud de estos, darán un estimado del desgaste que puede tener la bicicleta.

## 4.2 Mantenimiento

Son el conjunto de técnicas, métodos y actividades que se realizan en un sistema, equipo, componente o pieza, para garantizar el buen desempeño de las funciones deseadas según el contexto de operación, es decir, que las máquinas, sistemas, piezas sigan trabajando continuamente.

El mantenimiento se clasifica o separa en diferentes categorías, con pequeñas variaciones de acuerdo al autor o empresa que lo aplique. Sin embargo, se conservan tres divisiones base, que son el mantenimiento correctivo (reactivo), preventivo y predictivo, esto guiado por su orden de aparición en la historia [9 20]. En la siguiente tabla se muestra la clasificación elaborada por Claudio Christensen en la “Presentación Confiabilidad & Disponibilidad” [5].

Tabla 3 Clasificación del mantenimiento [5]

<b>Clasificación del Mantenimiento</b>	<b>Correctivo (Reactivo)</b>	Emergencia	Ocurre sobre equipos críticos. La intervención no puede diferirse en el tiempo	Es totalmente indeseable
		Urgencia	Ocurre sobre equipos críticos o semicríticos. La intervención puede diferirse en el tiempo.	No es deseable, pero es soportable
		Aceptado	Ocurre sobre equipos críticos o semicríticos. La intervención puede diferirse en el tiempo.	Es deseable para el equipo seleccionado.
	<b>Preventivo (Activo)</b>	Rutinario	Control periódico de los equipos. Intervención menor Ajustes, limpieza, lubricación.	Realizado por el operario.
		Sistemático	En función de un contador (Hs., Km., etc) o por calendario. Intervención mayor.	Realizado por Mantenimiento.
		Predictivo	En función de un contador, Hs., Km., etc. Mide desarrollo de variables. Predice futura intervención.	Realizado por Mantenimiento.
	<b>Modificativo (Proactivo)</b>	Proyecto	Adaptación del equipo original a necesidades de la empresa.	
		Prevenición	Rediseño del equipo original o de sus partes para minimizar las fallas.	
		Reacondición	Para incrementar la vida útil del equipo. Aplicación de nuevas tecnologías.	

Cinco tipos de mantenimiento son presentados en [18], de acuerdo a las tareas que realizan.

- **Correctivo:** Es el conjunto de procedimientos destinados a corregir los defectos cada vez que se presenta una falla o avería.
- **Preventivo:** Son intervenciones periódicas de carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema
- **Predictivo:** Consiste en informar permanentemente del estado o condición de las máquinas, componentes o piezas mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables. Variables físicas como las vibraciones, la temperatura consumo energético, cuya variación ayuda a identificar posibles problemas en los equipos.
- **Cero Horas (Overhaul):** Es un mantenimiento similar al preventivo, pero enfocado al equipo completo. El objetivo es dejar el equipo completo (se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste) como si fuera nuevo, es decir, cero horas de funcionamiento.
- **Mantenimiento en uso (Mantenimiento general):** Es el realizado por el personal (con conocimiento básico sobre el equipo) que se encarga de la operación de las maquinas. Principalmente se realizan inspecciones visuales, mantener el equipo limpio y la toma de datos de la condición general.



La combinación de más de un tipo de mantenimiento es común, para incrementar la confiabilidad del mantenimiento y del equipo. Estas combinaciones son llamadas modelos de mantenimiento en [18].

#### 4.2.1 El mantenimiento de las bicicletas.

Retomando la idea de los modelos de mantenimiento; donde se pueden hacer combinaciones de estos. Para el caso del proyecto referente a las bicicletas, es realizar prácticas cotidianas del mantenimiento general (lubricación y limpieza de las unidades inspección visual). Programar mantenimientos en función del nivel de **desgaste de las gomas** de los frenos, y después poder realizar una inspección más profunda de las unidades. También aplicar el mantenimiento predictivo, al medir las **vibraciones (aceleraciones)** del equipo durante su uso. Además de seguir resolviendo las reparaciones de corrección.

El enfoque del mantenimiento predictivo se realiza en el análisis de vibraciones. Dado que todas las maquinas presentan algunos niveles de vibración cuando están en funcionamiento, considerados normales (Curva vibratoria característica). Entonces el cambio del nivel normal o habitual, se considera una predicción e indicación de que algo no está funcionando adecuadamente, y que es momento de realizar una revisión. A través del nivel de la curva vibratoria es posible indicar la condición (“estado de salud”) [20] de las máquinas, convirtiéndose en un índice para determinar si se presentaran fallas.

La vibración total de una maquina (bicicleta) es la suma de las vibraciones de cada componente que la conforma. Las vibraciones ocurren por diversos factores como el desbalance de fuerzas, cambios en la estructura del material, deformaciones, porosidad, mala calidad en ensamble, desgaste y daño de rodamientos y mala alineación.

La amplitud y frecuencia son señales de primera inspección para conocer la existencia de una falla, la amplitud indica la severidad de la falla, mientras que la frecuencia ayuda a conocer el número de veces que se repite el ciclo en un período. El principal objetivo del mantenimiento predictivo es no interrumpir el proceso productivo (en uso) de las máquinas.

Las averías que se pueden relacionar con el análisis de las vibraciones son el desbalanceo de fuerzas que ocurre en los pedales por torción o deformación de las bielas, desalineación de las ruedas, piezas sueltas, y variaciones en el sistema de transmisión (catarinas, platos y cadena), así mismos cambios en la estructura del chasis (cuadro).

Es necesario reunir información de bicicletas en buen estado y otras en una condición deteriorada, para crear una base de datos, con la cual saber diferenciar cuando una bicicleta está con buena salud, (después de cierto tiempo en uso) y llega a presentar un comportamiento parecido al de las bicicletas en mal estado, es decir, se cruza el límite de bicicleta con buena condición a una deteriorada. Al cruzar este límite o umbral, lanzar una alerta para que la bicicleta sea llevada al taller y realizar las acciones pertinentes, de acuerdo

a la falla que se presenta o verificar que pieza ha sufrido desgaste y necesite ser reemplazada.

### **Vibraciones:**

- Es una cantidad física de un cuerpo que se mueve alrededor de una posición de referencia o equilibrio, sin que se produzca un movimiento neto del cuerpo.
- Es el movimiento mecánico que oscila cerca de una posición en equilibrio. Puede ser periódico como el movimiento de un péndulo, o aleatorio como el movimiento de una llanta sobre un camino de grava. [14]

*Una vibración se puede caracterizar por su frecuencia y su intensidad (amplitud). La frecuencia es el número de veces que se completa un ciclo de oscilación y se mide en Hertz (Hz). Un Hertz equivale a un ciclo por segundo.*

*La intensidad puede medirse indistintamente en unidades de desplazamiento, velocidad o aceleración del elemento que vibra, ya que las tres magnitudes están relacionadas entre sí.*

*La magnitud que se utiliza habitualmente para determinar la intensidad de las vibraciones es la aceleración expresada en unidades de  $m/s^2$  [7].*

### **4.3 Instrumentación y monitoreo**

Las ciclo-computadoras (Computadoras para bicicleta) son empleadas para reunir información sobre el ciclista y la bicicleta, tal como la caja negra en los aviones o la computadora de los autos. El principal uso de estos dispositivos es en el entrenamiento de profesionales, pero no limitado a aficionados; donde se obtienen datos como, velocidad (instantánea, promedio y máxima), distancia recorrida, cadencia (rpm del pedaleo), signos corporales (pulso cardíaco, temperatura...). Su uso en investigación también se extiende para conocer condiciones del clima, contaminación en el aire, condiciones de las rutas, flujo de vehículos, logística del tráfico, y seguridad antirrobo.

Las computadoras de bicicletas, van desde lo más básico que es medir velocidades, distancias y tiempos, hasta lo más moderno que incluye comunicaciones inalámbricas, aplicaciones móviles y manejo de datos en la nube.

## 5 Internet de las cosas (IoT)

“El IoT es una infraestructura auto configurable basada en estándares de comunicación donde los objetos/cosas tanto físicas como virtuales poseen identidad, atributos físicos y virtuales, que se emplean en interfaces inteligentes conectados a través de la red (internet).” [10]

El internet de las cosas empezó a tomar fuerza alrededor del 2009, Kevin Ashton [3] comenta que la idea proviene desde 1999 cuando la tecnología RFID era el tema de interés. Él mismo menciona que **la idea principal del internet de las cosas es que funcionen para recolectar información a través de cosas sin intervención humana**. Con el fin de que el humano se enfoque en interpretar y aprovechar la información para crear **un beneficio; tal como conocer patrones o hábitos**. Donde el RFID es una de las tecnologías que dio pie a que el internet de las cosas logrará un gran avance.

Es importante brindar a los objetos/cosas la capacidad de oler, sentir, ver entre otros sentidos y habilidades para recolectar información que el hombre necesita. Para compensar la desventaja del hombre al recolectar información. Desde un punto de vista es posible decir; que el IoT transforma objetos ordinarios a objetos inteligentes, tales como; los celulares inteligentes o casas inteligentes.

La funcionalidad del internet de las cosas se muestra a través de 6 elementos o características de un objeto inteligente.

- **Identificación:** Se refiere a saber identificar o diferenciar un dispositivo de otro, conocer el dato enviado y el nombre del dispositivo que lo envía.
- **Monitoreo (censado):** Es la recolección de datos de los dispositivos dentro de la red, además de enviar dicha información a una base de datos como la nube (cloud).
- **Comunicación:** Es la capa o bloque destinado a conectar los distintos dispositivos unos con otros o una base central. Diversos protocolos son aplicados a este proceso. Ejemplo de ellos están el WiFi, Bluetooth, IEEE802.154, Z-wave y LTE.
- **Computación:** Es la capacidad computacional del IoT, integrado por software y hardware (Arduino, Raspberry PI, WiSense...), así mismo estos sistemas permiten enviar la información reunida a la nube o base de datos.
- **Servicios:** Es el tipo de servicio al que pertenece o bien al área de aplicación.
- **Semántica:** Habilidad de extraer conocimiento de manera inteligente a través de máquinas o dispositivos para satisfacer las necesidades de los servicios requeridos.

Otras tecnologías emergentes relacionadas al IoT tales como, Big data, cloud y fog computing, permiten crear aplicaciones más complejas. En estos casos los datos individuales se agrupan para generar información útil (Un conjunto más grande de información puede crear conocimiento). En forma individual los datos por sí solos no proporcionan gran información, en cambio en volumen permiten identificar **tendencias y patrones**. Despliegue de datos en

gráficas en tiempo real es una de las ventajas que gana el IoT al colaborar con las otras tecnologías.

Una interpretación básica del internet de las cosas se muestra en la siguiente figura, al separar al sistema solo en capa virtual y capa física.

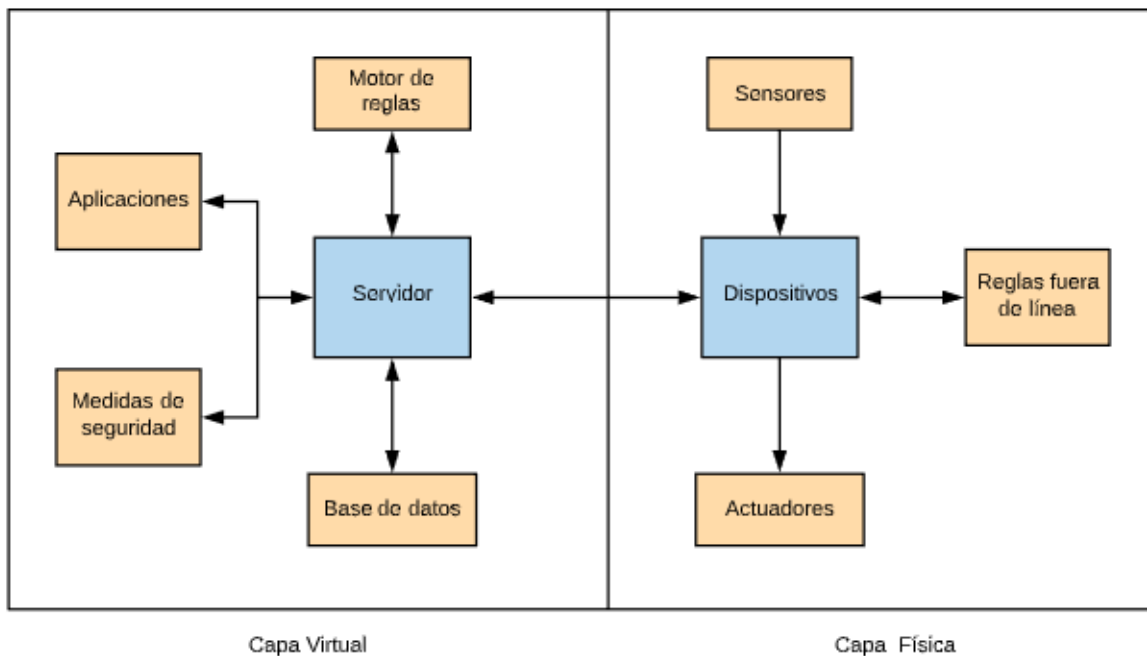


Figura 7 Esquema básico del IoT

Para la aceptación del IoT entre el público, es necesario que los servicios, procesos o productos **aporte un valor a las vidas de los usuarios.**

Aplicaciones creadas a partir del IoT se han desarrollado para ambientes como. El cuidado de la salud: Seguimiento y monitoreo constante de personas, equipos y medicamentos, toda la información reunida se pone a disposición para la **logística de diagnósticos**, terapias y gestión de medicamentos, solo por mencionar algunas aplicaciones. Gestión de producción e inventario; para el acomodo, seguimiento y distribución de elementos de una industria. Cadena de suministro de alimentos, donde se ofrecen funciones de censado en los procesos de producción para asegurar una buena calidad y en los alimentos; desde la granja hasta el plato. Otras áreas de aplicación, tales como el transporte y logística, talleres y ayuda en el hogar, minería o en el combate de incendio.

El Internet de las cosas es una de las tendencias y caminos para crear y construir sistemas inteligentes tales como los que se muestran en diversas historias, libros y películas de ciencia ficción, por ejemplo, las ciudades inteligentes o sistemas ciber físicos dejan de ser una idea de ficción y convertirse en una realidad.

En el caso de particular de bicipuma, el uso de dispositivos inteligentes como las ciclo-computadoras, son los elementos que permiten adquirir información concerniente del

ambiente de las bicicletas (uso, contaminación, rutas, condiciones del camino ...), y con dicho conjunto de información recolectada, enviarla a través de la red interna o red pública, para posteriormente analizar la información y crear conocimiento útil, para la universidad; en este proyecto se pretende que el conocimiento obtenido permita mejorar las condiciones de las bicicletas, y mantener un buen servicio, al ser aplicado al área de mantenimiento y disminuir los gastos y costos relacionados.

## 5.1 Sistema Internet de las cosas

Para cumplir con el esquema del Internet de las cosas, el primer paso es contar con un servidor que puede ser una computadora física o virtual, es decir, que los servicios se alojan en el internet o nube.

En este caso particular del desarrollo se empleará un servicio virtual para el servidor conocido por sus siglas en ingles VPS (Servidor Privado Virtual).

### 5.1.1 VPS

Es una partición de uno o múltiples servidores físicos, que brindan recursos particulares a cada partición. De una forma simple es como tener las características de una computadora en la que recaen o se instalan todas las herramientas (sistema operativo, archivos, base de datos, sitios web) que sean necesarias para el proyecto a desarrollar. Otra analogía de cómo funciona un VPS, es cuando se realiza una partición en una computadora física, para poder instalar diversos sistemas operativos, que comparten los recursos físicos (procesador, almacenamiento, memoria RAM, etc.) pero la información entre ellos es independiente, es decir, se tiene un control total de lo que se realiza dentro de tu porción de computadora (VPS).

Con el hosting VPS, tienes el mismo acceso de nivel raíz que, si alquilaras un servidor dedicado, pero a un costo mucho más bajo.

Empresas como Amazon Web Services (AWS), Google Cloud, y Hostinger brindan el servicio para poder crear Servidores Privados Virtuales, los dos primeros tienen prestaciones similares, el ultimo es una versión más reducida, pero a un menor precio.

Para este trabajo se utilizará la capa gratuita de AWS de un año, además de incluir el uso de IP estática, que tiene un costo no mayor a 2 dólares por mes. La creación del VPS en AWS es a través del servicio de EC2

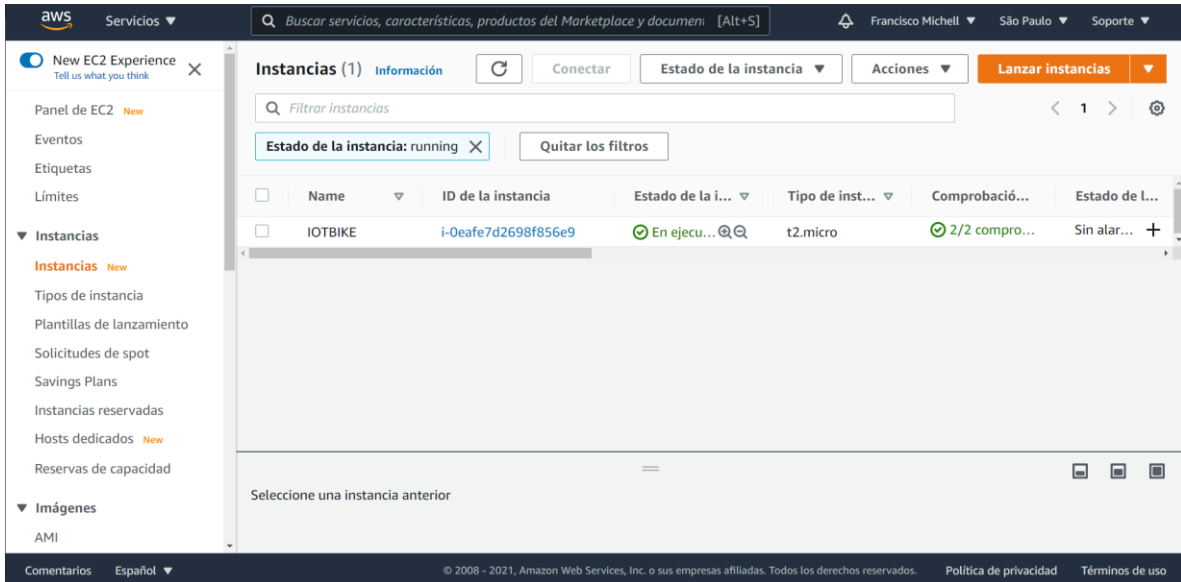


Figura 8 VPS

### 5.1.2 WEB HOSTING

El web hosting es el lugar donde se tienen los servicios para que una aplicación web (página de internet) este activa las 24 horas del día y a lo largo del mundo.

La instalación y administración de dichos servicios se realizan a través de un panel de control. El panel de control a emplear es VESTACP, el cual cuenta con servicios como: WEB, FTP (transmisión de información), Email, DNS, Firewall y Base de Datos (MySQL).

Es un panel apto para maquinas pequeñas desde 512 Mb en RAM, Almacenamiento de 20 Gb y una velocidad de procesador de 1 GHz.

Se instalo el panel ligado al dominio gratuito **iotbake.ml**, que se obtuvo por medio del sitio [www.freenom.com](http://www.freenom.com), el domino se registró con la dirección IP del VPS que se creó en AWS.

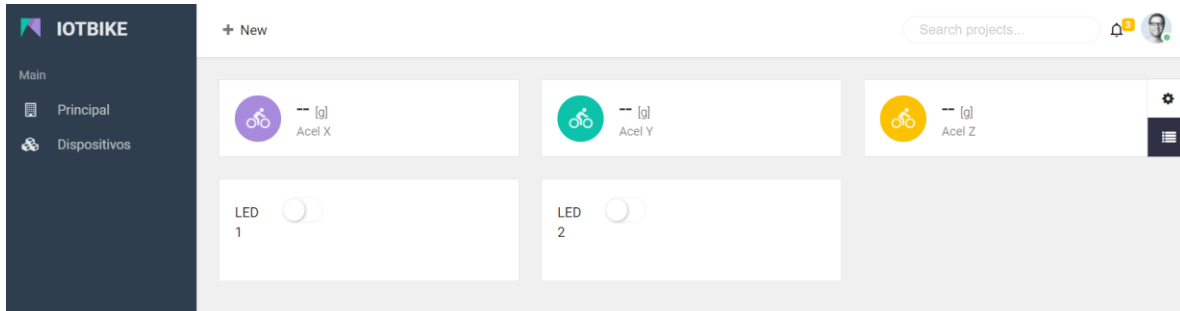


Figura 9 Panel Vesta CP

### 5.1.2.1 Panel WEB

El panel web es la aplicación o sitio web, con el que interactúa el usuario y el contenido que se agrega la página web.

FlatKit es una plantilla para desarrollar la aplicación web.



### 5.1.3 Base de datos

El almacenar información requiere de la creación de tablas de datos, para cumplir con ese propósito se tienen los sistemas gestores de base de datos (SGMD, DBMS por las siglas en inglés), existen diversos gestores tales como MySQL, SQL, SQLite.

Estos gestores permiten administrar y controlar la información contenida en las bases de datos, una parte importante es la gestión de los permisos para lectura y escritura de información en las tablas.

En este caso se empleará una base de datos del tipo o modelo relacional, donde los datos son estructurados por filas en tablas. Las filas de una tabla se pueden relacionar con las columnas de otra tabla.

En este trabajo se tiene 4 tablas, y una forma de relacionar las tablas es a través del campo "id", como se muestra en Figura 10.

Que permite crear consultas tales cómo; que dispositivo (devices\_id) fue tomado por cual usuario (users\_id). Así también hace la relación de los datos del acelerómetro con su respectivo dispositivo.

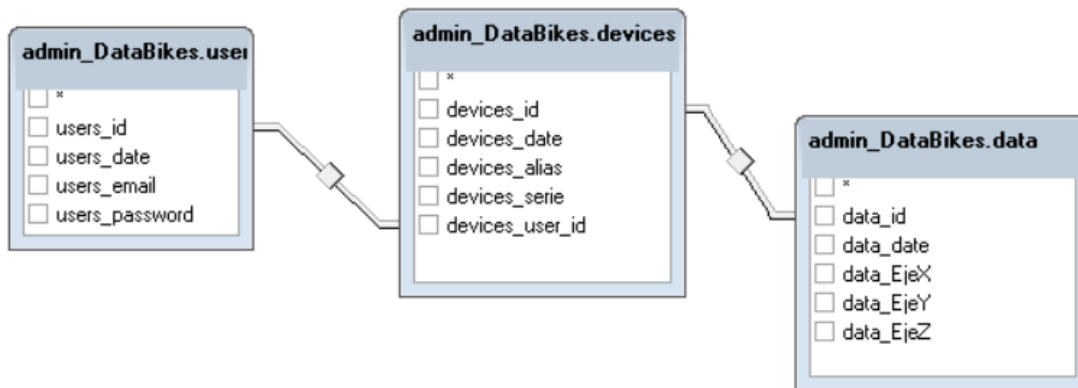


Figura 10 Relación entre tablas

También está en desarrollo las tablas que restringen o controlan el acceso para la comunicación externa con el bróker MQTT o el panel de control.

🔑 id	allow	ipaddr	username	clientid	access	topic
1	1	(NULL)	Sall	(NULL)	2	#
2	0	(NULL)	Sall	(NULL)	1	SSYS/#
3	0	(NULL)	Sall	(NULL)	1	eq #
5	1	127.0.0.1	(NULL)	(NULL)	2	SSYS/#
6	1	127.0.0.1	(NULL)	(NULL)	2	#
7	1	(NULL)	dashboard	(NULL)	1	SSYS/#

Figura 11 Control de acceso (tabla `mqtt_acl`)

La tabla `mqtt_acl`, es donde se indica el nivel de acceso a los topics, es decir, el nivel de información que tiene permitido conocer cada usuario o cliente. Mientras que en la tabla `mqtt_users` se hace el registro de que usuarios/clientes puedan hacer uso del bróker MQTT.

🔑 id	🔑 username	🔑 password	salt	is_superuser	created
1	web_client	121212	(NULL)	0	2020-11-24 14:10:59

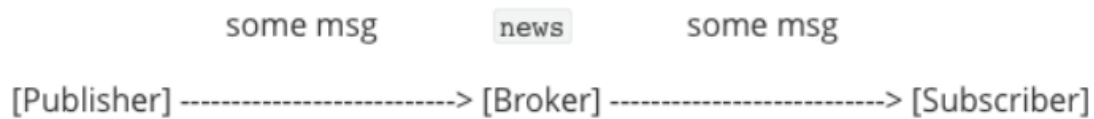
Figura 12 Usuarios mqtt (tabla `mqtt_users`)

#### 5.1.4 BROKER MQTT

El protocolo de comunicación MQTT, es un protocolo de mensajes para sistemas IoT, basado en el modelo de publicación-suscripción (publish-subscribe) de temas (topics). El modelo publish-subscribe no necesita una conexión directa entre el publicador y el suscriptor, además de que no necesitan estar en línea al mismo tiempo, es decir, es un sistema asíncrono.



El bróker es el encargado de brindar el servicio del protocolo de comunicación entre el publicador y el cliente, a través de ciertas reglas -> “topics”. Los topics o temas tienen una estructura jerárquica “Fabrica/edificioA/piso1/sensorA”,



En el VPS se ha instalado el bróker EMQX, que es de fuente abierta, entre sus características es un panel web, que permite controlar y ver las conexiones a los topics. La siguiente imagen muestra parte del panel donde se observa a los clientes (publicador y/o suscriptor) conectados. En el apartado de los clientes se visualiza el que usa el nombre “web\_client”, que es el mismo usuario que se ha creado en la base de datos en la tabla mqtt\_users (Figura 12); para tener acceso a la conexión MQTT. Dicho cliente es el que realiza la comunicación entre la página web “iotbike.ml”, y el dispositivo que se monta en la bicicleta.

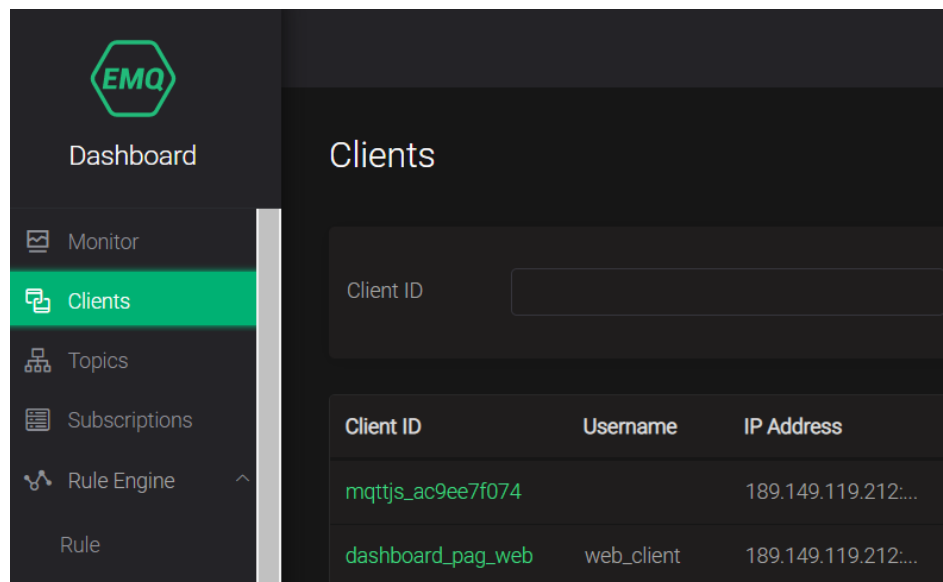


Figura 13 Panel EMQX

### 5.1.5 Dispositivo

La adquisición de datos o información proveniente del medio, hacia el sistema IoT, este se realiza con un microcontrolador y dos acelerómetros. Además, se necesita un firmware que es el programa o software empleado por el microcontrolador.

A continuación, se muestra el pseudocódigo y el diagrama de flujo, que emplea el dispositivo.

### 5.1.5.1 Seudocódigo

#### Inicio 1

Declaración de variables y funciones

Configuraciones

WiFi	Credenciales (usuario, contraseña)
MQTT	Credenciales (usuario, contraseña)
MPU	Direcciones I2C (0x086, 0x89)

#### Fin 1

#### Inicio 2 (Ciclo principal)

Comprobar conexión MQTT

**Si** tiempo de muestreo  $\geq$  1s

Obtener datos procesados

**Si** |Aceleración X sensor1|  $<$  0.3 [m/s<sup>2</sup>]

Contador1=contador1+1

**Si** Contador1  $\geq$  100

Dejar de publicar los datos por MQTT

**Si** Contador1  $\geq$  60 y Contador1  $<$  100

Publicar "0,0,0,0,0,0" //indica que La bicicleta se ha detenido o estacionado

**Si** Contador1  $>$  1 y Contador1  $<$  60

Seguir publicando los datos procesados

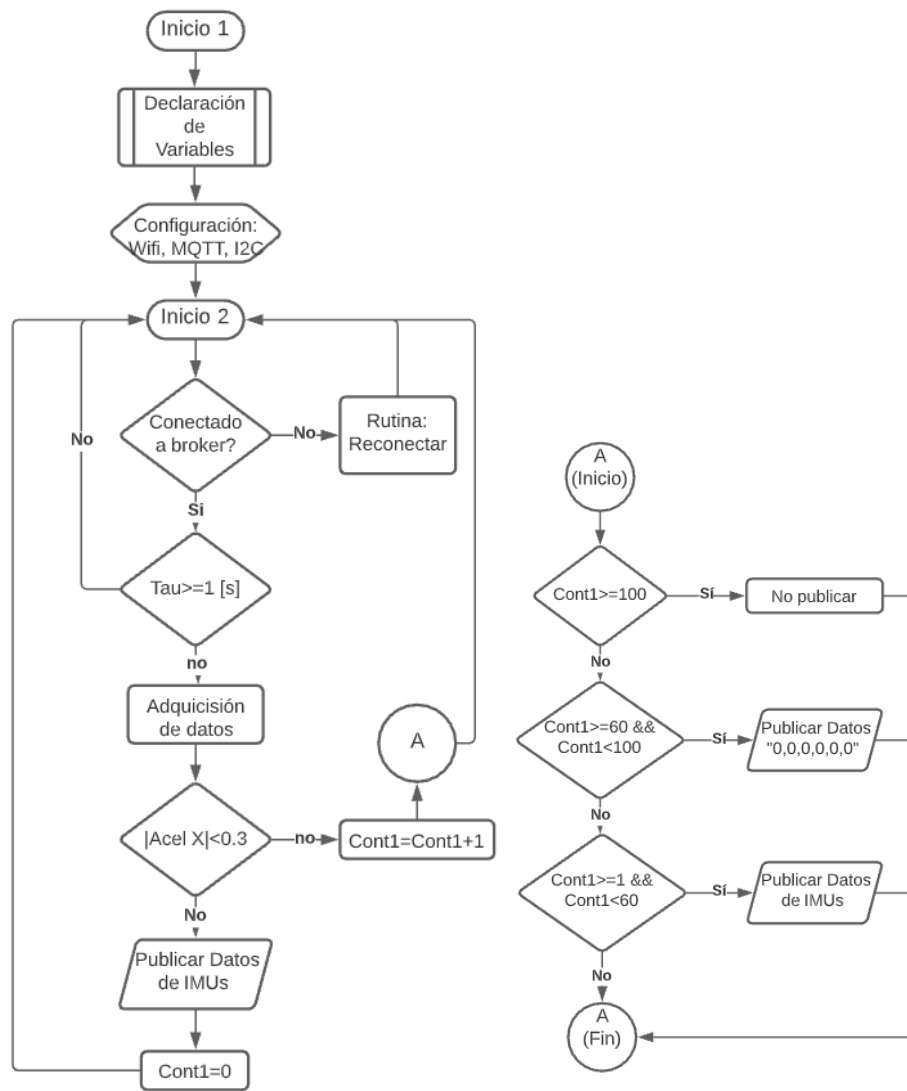
**Si no**

Seguir publicando normalmente los datos procesados

Reiniciar contador1 en 0

#### Inicio2

5.1.5.2 Diagrama de Flujo



## 6 Desarrollo del dispositivo

Parte del desarrollo del dispositivo se realiza con base en el proceso de diseño que se menciona en el libro de Ulrich Karl, D. Eppinger Steven. [23]. Conocer las necesidades del personal de mantenimiento, pueden ayudar al diseño del dispositivo.

### 6.1 Identificación de las necesidades

De acuerdo al primer paso “identificación de necesidades” se construye la siguiente tabla; desde la perspectiva de ser un producto.

Tabla 4 Declaración de la misión del producto

<b>Dispositivo para conocer el grado de desgaste de bicicletas, y oportuno mantenimiento</b>	
Descripción del producto	*Dispositivo de monitoreo de condición de bicicletas, con envió y recepción de información inalámbricamente.
Propuesta de valor	*Conocer la condición de las bicicletas. *Seguimiento del mantenimiento. *Extender la vida útil de las bicicletas.
Objetivos clave de negocio	*Disminuir los costos derivadores en el mantenimiento de las bicicletas de bicipuma. *Mejorar el servicio de bicipuma, con un enfoque de seguridad para el usuario. *Impulsar el desarrollo e integración del IoT, y ciudades inteligentes (cyber physical systems) en la UNAM.
Mercado primario	*Sistema masivo de préstamo de bicicletas (bicipuma).
Mercados secundarios	*Extender a otros sistemas de préstamos en el país
Suposiciones y restricciones	*Suministro de energía portátil y recargable. *Comunicación continua (bicicleta-estación).
Involucrados	*Equipo de mecánicos. *Coordinadores de préstamos. *Coordinador de bicipuma. *Usuarios de las bicicletas (comunidad UNAM).

#### 1.-Datos sin procesar de la entrevista con los mecánicos del taller de bicipuma

- I. Reparaciones comunes son: ponchaduras, desgaste de asientos, gomas de frenos, cambio de pedales y bielas.
- II. Los chicos no saben manejar o hacen mal uso de las bicicletas.
- III. Los transportistas avientan las bicicletas al subirlas en las camionetas.
- IV. El seguimiento de las reparaciones es registrado en bitácora.
- V. Al inicio de cada semestre se hace una revisión de mantenimiento a las unidades
- VI. Se enteran del estado de la bicicleta cuando están arreglando una bicicleta; por las fallas comunes o las fallas reportadas por los coordinadores de préstamos.
- VII. El poste del asiento se daña cuando bajan mucho el asiento.
- VIII. Se dañan más en tiempo de lluvia, porque se llenan de lodo.
- IX. El reporte de la bitácora de reparaciones la entregan cada trimestre.

## 2.-Interpretación de los datos en términos de las necesidades del cliente

Tabla 5 Interpretación de enunciados a necesidades

No	Enunciados	Necesidades
1	Reparaciones comunes son: pinchaduras, desgaste de asientos, gomas de frenos, cambio de pedales y bielas.	Sistema de supervisión constante de: Llantas, cámaras, gomas de frenos, pedales y bielas, etc.
2	Los chicos no saben manejar o hacen mal uso de las bicicletas.	Indicar el correcto uso de las bicicletas.
3	Los transportistas avientan las bicicletas al subirlas en las camionetas.	Transportar unidades evitando golpearlas unas con otras.
4	El seguimiento de las reparaciones es registrado en bitácora (En hojas y libreta)	Facilidad de registro y seguimiento de reparaciones.
5	Al inicio de cada semestre se hace una revisión de mantenimiento a las unidades.	Conocer el estado de las bicicletas en periodos de tiempos menores al semestre.
6	Se enteran del estado de la bicicleta cuando están arreglando una bicicleta; por las fallas comunes o las fallas reportadas por los coordinadores de préstamos.	Registrar el estado de la bicicleta después de cada ciclo de uso.
7	El poste del asiento se daña cuando bajan mucho el asiento.	Indicar el límite inferior y superior de la altura del asiento.
8	Se dañan más en tiempo de lluvia, porque se llenan de lodo.	Realizar limpieza constante de las unidades.
9	El reporte de la bitácora de reparaciones la entregan cada trimestre.	Generar el reporte de bitácora automáticamente.

## 3.-Gerarquización de las necesidades.

Tabla 6 Jerarquía de necesidades en primarias y secundarias

No	Necesidades primarias	Necesidades secundarias
1	Sistema de supervisión constante de reparaciones comunes.	Monitoreo del desgaste de gomas. Monitoreo de la alineación de las llantas. Monitoreo del estado de las bielas y/o pedales.
2	Indicar el correcto uso de las bicicletas.	---
3	Transporte de unidades evitando golpearlas unas con otras.	---
4	Sistema de expedientes la condición y mantenimiento de unidades (4,5,6,9).	Generar bitácora de reparación. Compartir información sobre el estado de las bicicletas entre los involucrados. Reporte de bitácora automático.
5	Indicar el límite inferior y superior de la altura del asiento.	---
6	Mantener limpieza constante de las unidades.	----

#### 4.-Establecer importancia relativa de las necesidades

La importancia se evalúa en una escala del 1 al 5 donde:

1. Característica no deseable, no consideraría el producto con esta característica.
2. Característica no importante, pero consideraría tenerla.
3. Característica que sería buena tenerla, pero no necesaria.
4. Característica altamente deseable, pero consideraría el producto sin ella.
5. Característica crítica, no consideraría el producto sin ella.

Tabla 7 Importancia de las necesidades

No	Necesidades	Importancia
1.1	Monitoreo del desgaste de gomas.	3
1.2	Monitoreo de la alineación de las llantas.	3
1.3	Monitoreo del estado de las bielas y/o pedales.	3
2	Indicar el correcto uso de las bicicletas.	5
3	Transporte de unidades evitando golpearlas unas con otras.	3
4.1	Generar bitácora de reparación.	4
4.2	Compartir información sobre el estado de las bicicletas entre los involucrados.	4
4.3	Reporte de bitácora automático.	4
5	Indicar el límite inferior y superior de la altura del asiento.	2
6	Mantener limpieza constante de las unidades.	3

#### 5.-Reflexión de los resultados y proceso

Considerando la entrevista con los mecánicos se conocen necesidades que pueden ayudar a complementar al proyecto. Como es enseñar o indicar el correcto uso de las bicicletas; que sería un punto muy importante que se puede realizar de forma directa mediante cursos de manejo, y posiblemente por alertas del sistema de monitoreo de la bicicleta.

La implementación del dispositivo se enfoca en la medición de las vibraciones de la bicicleta a lo largo del recorrido (uso de la bicicleta), para conocer la condición de las bicicletas. Se pretende que el expediente sea el vínculo que ayude en la intervención oportuna del mantenimiento, prolongando el tiempo en operación de las bicicletas. Es así que también se pudo conocer los lugares ideales para colocar el dispositivo.

## 6.2 Especificaciones

La escala de importancia para las métricas es del 1 a 5, donde 1 es nada importante y 5 muy importante.

Tabla 8 Métricas

No	Métrica	Unidades	Imp	Necesidades
1	Volumen del contenedor/dispositivo.	[cm <sup>3</sup> ]	3	1
2	Capacidad de memoria para los datos recopilados.	[b, kb...]	4	1, 4.1, 4.2
3	Distancia efectiva de comunicación inalámbrica.	[m]	4	4
4	Vibraciones relacionadas al uso.	[Hz]	5	2
5	Grado de limpieza.	Subj.	5	1, 6
6	Fuerza de resistencia mecánica a golpes.	[N]	4	1, 2
7	Peso del dispositivo.	[Kg]	3	1, 2
8	Indicar el límite inferior y superior de la altura del asiento.	[cm]	2	5

### Modelos técnicos

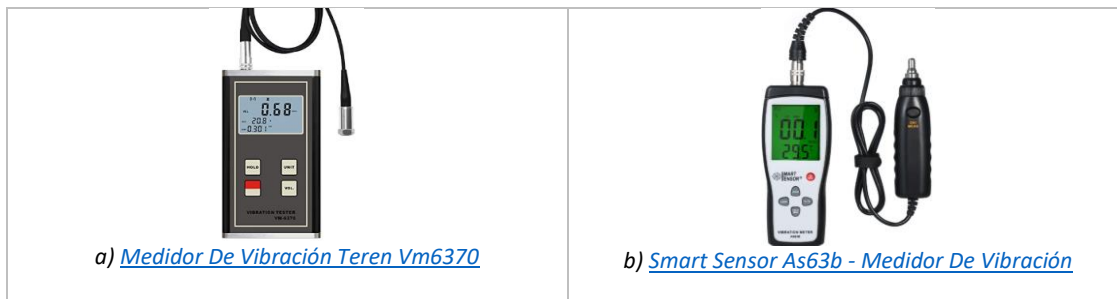


Figura 14 a) Terem Vm6370 b) Smart sensor As63b

Tabla 9 Características de modelos técnicos

No	Métrica	Unidades	Imp	Smart Sensor As63b	Terem Vm6370
1	Volumen del contenedor/dispositivo.	[cm <sup>3</sup> ]	3	16.6*6.5*3	13*7.6*3.2
2	Capacidad de memoria para los datos recopilados.	[Kb]	4	-	-
3	Distancia efectiva de comunicación inalámbrica.	[m]	4	-	20
4	Vibraciones relacionadas al uso.	[Hz]	5	10 a 10K	10 a 10K
6	Resistencia mecánica a golpes.	[Pa]	4	ABS (30M)	-
7	Peso del dispositivo.	[Kg]	3	0.279	0.34
9	Normas.	-	-	-	ISO 2954
10	Precio.	[\$]	-	3266	6280.0
11	Aceleración.	[m/s <sup>2</sup> ]	-	0.1 a 200	0.1 a 400
12	Velocidad.	[mm/s]	-	0.1 a 200	0.1 a 400
13	F. energía.	[v]	-	9	1.5 (X2)
14	Interfaz de comunicación.	-	-	-	Bluetooth, RS232, USB

Las especificaciones se adecuaron o refinaron de acuerdo a las características que se en listan en la Tabla 9

Tabla 10 Especificaciones

No	Métrica	Unidades	Imp	Valor
1	Volumen del contenedor/dispositivo.	[cm <sup>3</sup> ]	4	5*5*5 10*10*5
2	Capacidad de memoria para los datos recopilados.	[GB]	3	X > 1
3	Distancia efectiva de comunicación inalámbrica.	[m]	4	X ≥ 10
4	Vibraciones relacionadas al uso.	[Hz]	5	<b>1 a 40</b>
6	Resistencia mecánica a golpes.	[Pa]	4	X > 50
7	Peso del dispositivo.	[Kg]	3	<b>X &lt; 1</b>
9	Normas.	-	4	-
10	Precio.	[\$]	5	-
11	Aceleración.	[m/s <sup>2</sup> ]	2	-16 a 16
12	Velocidad.	[m/s]	3	1 a 6
13	F. energía.	[v]	4	<b>X &lt; 9</b>
14	Interfaz de comunicación.	-	4	Bluetooth/WIFI

Durante la investigación sobre componentes similares en el mercado, existen diversos medidores de vibraciones, sin embargo, ninguno enfocado explícitamente al ciclismo, lo cual abre un campo de posibilidades para el dispositivo que se plantea crear.

Los puntos importantes para la concepción del dispositivo recaen en **la medición de las vibraciones, dimensión, comunicación inalámbrica y la fuente de energía.**

También se considera que se añadirán más elementos de medición que trabajarán en paralelo con el monitoreo de las vibraciones en la bicicleta. Es decir, que el dispositivo sirve como sistema modular, donde se pueden añadir mayor número de sensores, con su respectiva adecuación de medición, dado que el envío de información a la base de datos es la misma para todos los casos.

### 6.3 Generación de conceptos

En un principio del proyecto, se habló sobre un dispositivo para para conocer el grado de desgaste de bicicletas, y oportuno mantenimiento. Donde el conocer diversas variables ayuda en un mejor diagnóstico en las bicicletas. Este trabajo solo se enfoca en medir las aceleraciones, pero existen más opciones como el desgaste en las gomas de los frenos, desgaste de la cadena y la fuerza ejercida en los pedales.

#### **Monitoreo de vibraciones**

Las irregularidades del terreno y la forma de conducción se transmiten por toda la bicicleta y al usuario en forma de vibraciones. Para **medir las vibraciones** lo mejor posible es



necesario que el sensor este fijo **a la bicicleta**, como si fuera una extensión del chasis. Por último, es **enviar la información** al centro de control.

### Centro de control

Es el sistema encargado de recibir las señales provenientes de los sensores (sistemas de medición), ordena y envía la información de forma inalámbrica al servidor para su almacenamiento masivo y análisis. También es el encargado de **suministrar energía** a los sensores.

### **Método de sujeción**

Para unir los dispositivos a la bicicleta existen las siguientes variantes, que ya se encuentran en el mercado.

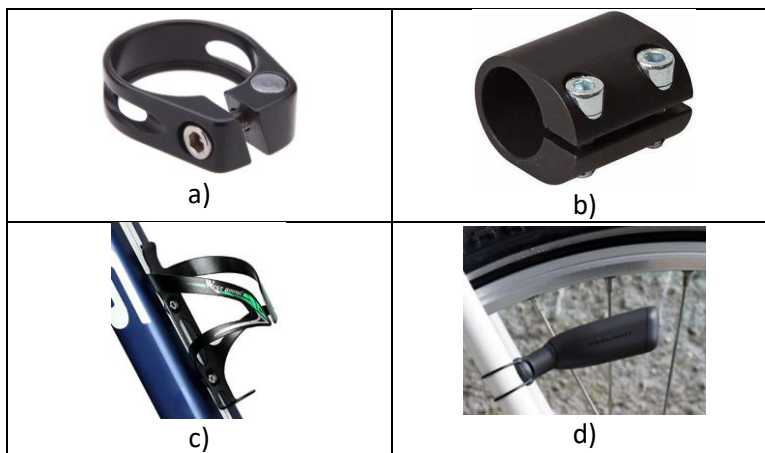


Figura 15 V a) abrazadera 1 punto, b) abrazadera 2 puntos, c) fijar al cuadro d) ligas o cintas

El centro de control es preferible que este bien sujeto a la bicicleta por lo que la mejor manera de mantenerlo fijo a bicicleta es la combinación de abrazaderas de 2 puntos.

El acelerómetro unirlo a la bicicleta por una abrazadera de 2 puntos, para asegurar que el sensor mantendrá su posición sin variaciones, con el fin de disminuir ruido al momento de medir las vibraciones.

Tabla 11 Tipos de sujeción

	Abrazadera 1 punto	Abrazadera 2 puntos	Fijación al cuadro	Ligas o cintas
Centro de control y Sensor1		X	X	
Sensor 2		X		

## 6.4 Selección de conceptos

Como complemento de los conceptos mostrados anteriormente (vibrometros), se muestran las siguientes comparaciones de conceptos relacionados a las ciclo-

computadoras, que son sistemas similares al planteado en este trabajo, pero con otro enfoque.

<b><u>CATAYE VELO 7</u></b>	<b><u>CATEYE PADRONE +</u></b>	<b><u>CATEYE PADRONE SMART +</u></b>
		
<b><u>ROX 12.0 SPORT</u></b>	<b><u>Garmin Edge 1030</u></b>	
		

Tabla 12 Comparativa ciclo-computadoras

Características	Cateye velo 7	Cateye padrone +	Cateye padrone Smart+	ROX 12.0 Sport	Garmin Edge 1030	Rangos mínimos
Velocidad instantánea	si	si	si	Si	Si	0.0 -199.9 km/h
Velocidad Promedio	si	si	si	Si	Si	0.0 -199.9 km/h
Velocidad Máxima	Si	Si	Si	Si	Si	0.0 -199.9 km/h
Tiempo (cronometro)	Si	Si	Si	Si	Si	0:00'00"-9:59'59"
Distancia de viaje	Si	Si	Si	Si	Si	0.00-999.99km
Distancia total	si	Si	Si	Si	Si	0-99999km
Hora (reloj)	Si	Si	Si	Si	Si	24 / 12hrs + Fecha

Tabla 13 Comparativa ciclo-computadoras (continuación)

Características	Cateye velo 7	Cateye padrone +	Cateye padrone Smart+	ROX 12.0 Sport	Garmin Edge 1030
Auto apagado	si	si	Si	Si	si
Batería	CR2032	CR2032	CR2032	Litio recargable	ion-litio recargable
T. vida de batería	3 años	2 meses (1h/día)	4 meses	16 horas continuas	20 horas continuas
Dimensiones	55.5 x 37.5 x 18.5mm	67.5 X 43.0 X 14.5mm	74.0 X 46.0 X 20.0 mm	59 x 115 x 17 mm	58 x 114 x 19 mm
Peso	30 g	31.5 g	40 g	125 g	123 g
Alámbrico (con sensores)	si	-	-	-	-
Inalámbrico (con sensores)	-	Si (analógico)	Bluetooth4.0	Bluetooth, Ant+	Bluetooth, ANT+, Wi-Fi
Comunicación	-	-	Bluetooth (celular)	Bluetooth, WiFi, Cloud	Bluetooth, Wi-Fi
Interfaz	Botón	Botón	Botón	Botón y Táctil	Táctil
GPS	-	-	Brújula, GPS (celular)	Brújula, GPS	Brújula, GPS
Cadencia	-	-	si	Si	Si
Alertas	-	-	si	Si	Si
Signos corporales	-	-	si	Si	Si
Memoria interna	-	-	-	8 GB (expansión 128 GB)	-
Precio	\$400.00	\$1350.00	\$7000.00	\$21006.22	\$10400.00

## Smarthalo

Es un dispositivo que se vincula con los celulares, para obtener información de los sensores del celular. Mediante indicadores leds muestra las instrucciones de la aplicación de mapas. Las funciones se extienden a las de un smartwatch, pero para estar montado en la bicicleta.

Con un peso de 195 g, Dimensiones 66x97x27 y un precio de \$3743.



Figura 16 Smarthalo

## BikeComputer

La imagen siguiente muestra la idea del dispositivo con algunos de sus componentes, así también cuenta con indicadores visuales y de sonido para mostrar información rápida al usuario, sin tener que recurrir a un display.

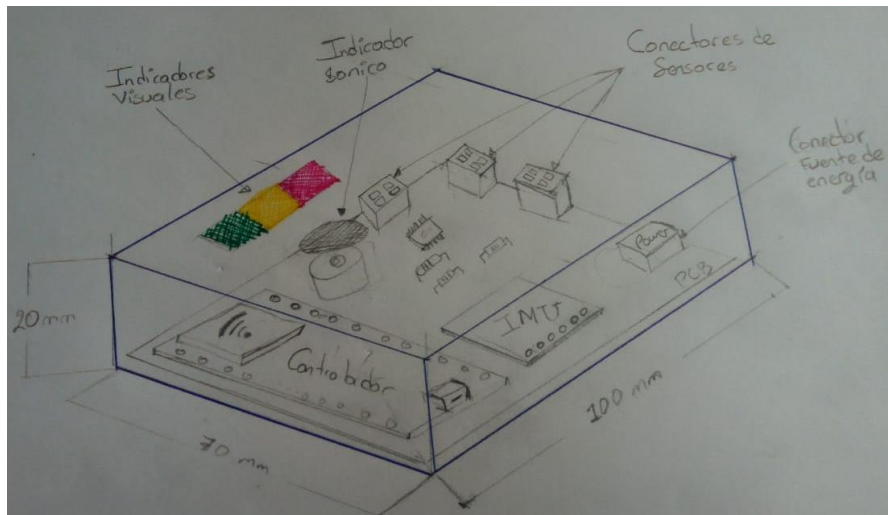


Figura 17 BikeComputer

### El proceso de selección se desarrolla a continuación.

La tabla es una matriz donde se evalúan los conceptos de acuerdo con los criterios de selección elegidos.

Si las dimensiones son menores a las del concepto de referencia recibirá (+), caso contrario será un (-) y (0) si son semejantes o iguales. En cuanto al tipo de batería será mejor cuando sea recargable. Mientras más tiempo de vida tenga una batería recibirá un (+), (0) si es igual o cercana al valor de referencia, y (-) cuando sea mucho menor. La comunicación con los sensores será mejor que la inalámbrica, por facilidad de construcción y solo se requerirá la batería de la ciclo-computadora. La interfaz táctil y con botones es mejor para el usuario. Mientras más ligero sea el dispositivo es mejor.

Tabla 14 Selección de conceptos de ciclo-computador

	Conceptos						
	A	B	C	D	E	F	G
Criterios de selección	Cateye velo 7	Cateye padrone +	Cateye padrone Smart+	ROX 12.0 Sport	Garmin Edge 1030 (Referencia)	Smarthalo	BikeComputer
Dimensiones	+	+	+	+	0	+	+
Tipo de batería	-	-	-	0	0	0	0
Duración de batería	+	+	+	0	0	0	0
Comunicación con sensores	+	0	0	0	0	+	0
Estética	-	-	-	+	0	+	-
Interfaz	-	-	-	+	0	0	-
Peso	+	+	+	-	0	-	+
Suma +	4	3	3	3	0	3	2
Suma 0	0	1	1	3	7	3	3
Suma -	3	3	3	1	0	1	2
Total	1	0	0	2	0	2	0

Los conceptos se han ordenado de acuerdo con el puntaje que se obtuvo en la matriz de selección, además de indicar la acción correspondiente a tomar respecto a su continuación, este orden se ve reflejado en la tabla de abajo.

Tabla 15 Acciones para los conceptos

Lugar	Concepto	Acción
2	E	Continuar y combinar
3	D	Continuar y combinar
3	F	Continuar
4	A	Combinar
5	G	Revisar
5	B	No continuar
5	C	No continuar

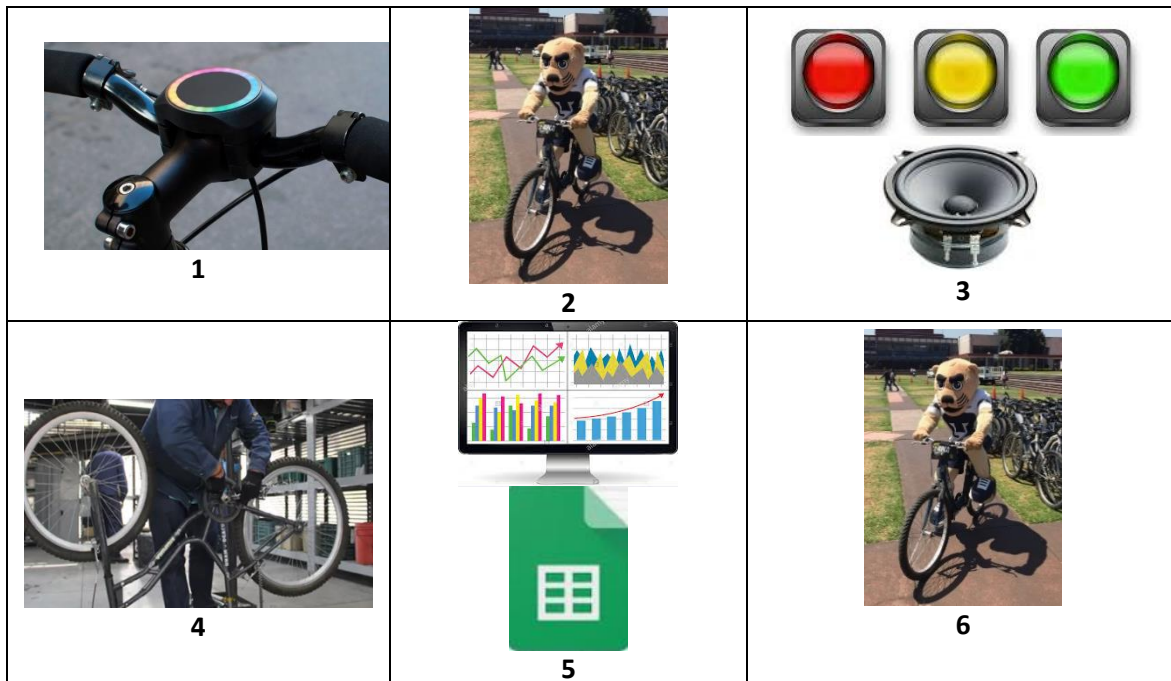
Las características a considerar son; medir vibraciones, contar con comunicación inalámbrica de internet para el flujo de información con la base de datos, mientras que las señales de los sensores se mantendrán por cables. La fuente de energía es con una batería recargable que suministra energía tanto al centro de control como a los sensores.

El caso ideal de instrumentación con el dispositivo y sistema completo es aplicarlo a lote de 980 (próximamente 1000) bicicletas del sistema bicipuma de ciudad universitaria.

El desarrollo del proyecto continuara hasta tener prototipos funcionales, sin contar con la parte estética. Para corroborar la hipótesis planteada al inicio del trabajo.

### Operación ideal del sistema

1. Instalar el dispositivo en las bicicletas.
2. Que la bicicleta este en operación.
3. Notificar a través de algún medio; que la condición de la bicicleta ha superado el límite de buena condición
4. Enviar la bicicleta al taller para corroborar su condición y de ser necesario realizar el mantenimiento pertinente.
5. Actualizar de la condición de la bicicleta en el sistema, y las acciones realizadas.
6. La bicicleta regresa a dar servicio a la comunidad universitaria.



### 6.5 Ubicar sensores.

Las imágenes muestran casos donde se implementan dispositivos en bicicletas, que sirven de referencia para conocer en qué lugares es adecuado colocar al dispositivo.

Los puntos son el manubrio, asiento, canastilla, parte anterior del asiento, porta bultos, en la parte delantera del chasis o en las zonas destinada para colocar las botellas de agua.



La ubicación de los sensores es importante, dado que se busca interferir lo menos posible en el trabajo de los mecánicos al momento de estar manipulando las bicicletas, y además considerar que las zonas que se encuentren cercanas a los componentes que emiten vibraciones; tales como los platos, catarinas, manubrio y llantas.

En la Figura 20 los círculos anaranjados muestran las zonas para colocar los acelerómetros, mientras que los círculos amarillos indican los componentes o lugares que emiten mayor número de vibraciones. Los círculos anaranjados transparentes son zonas que se descartaron, porque pueden ser golpeadas por los mecánicos al momento de arreglarlas, también pueden ser zonas donde los usuarios (comunidad universitaria), pueden golpear a los sensores.



Figura 20 a) Bicicleta disponible



b) Bicicleta de bicipuma

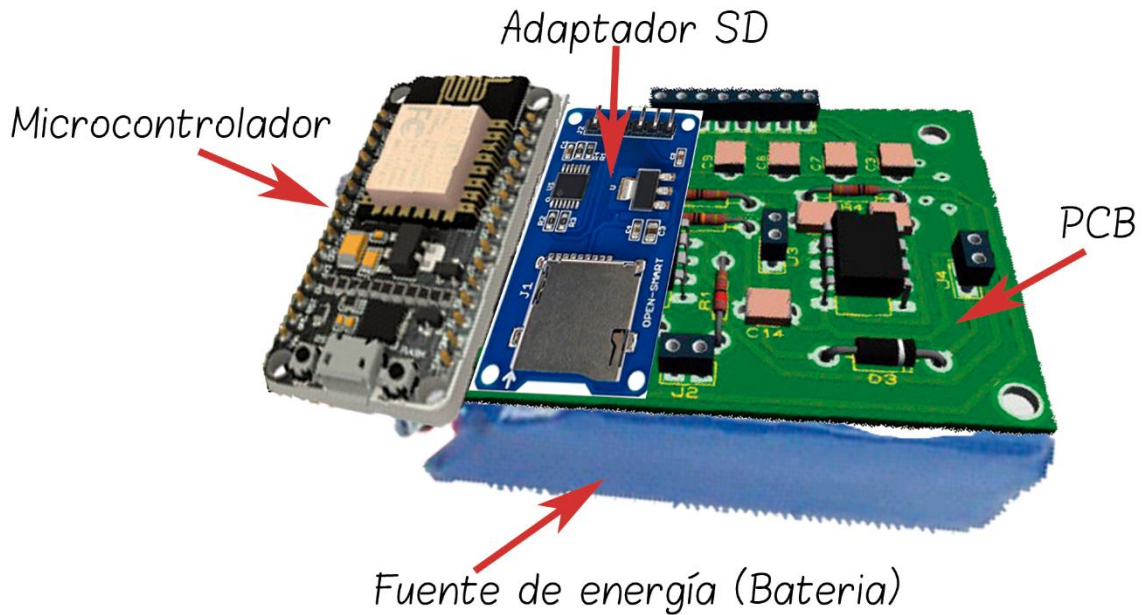
Es recomendable que el acelerómetro se conserve en el plano horizontal en XY (paralelo al suelo), cuando este sea colocado en la bicicleta.

Contar con los sistemas de **forma modular** permite realizar los cambios o reparaciones de los componentes de manera sencilla sin quitar todo el sistema de las bicicletas.

## 6.6 Arquitectura del dispositivo.

### Disposición geométrica aproximada.

En la geometría aproximada se muestra una opción de la distribución de los componentes dentro de la carcasa.



### Arquitectura

*Figura 21 Distribución por bloques*

La arquitectura del sistema toma como referencia, el esquema básico del internet de las cosas (Figura 7). Partiendo de la idea de tener una capa virtual, una capa física, y posteriormente una capa de interacción o de aplicación. Para finalmente obtener un esquema o arquitectura del sistema del internet de las cosas aplicado al dispositivo, este se observa en la Figura 22.



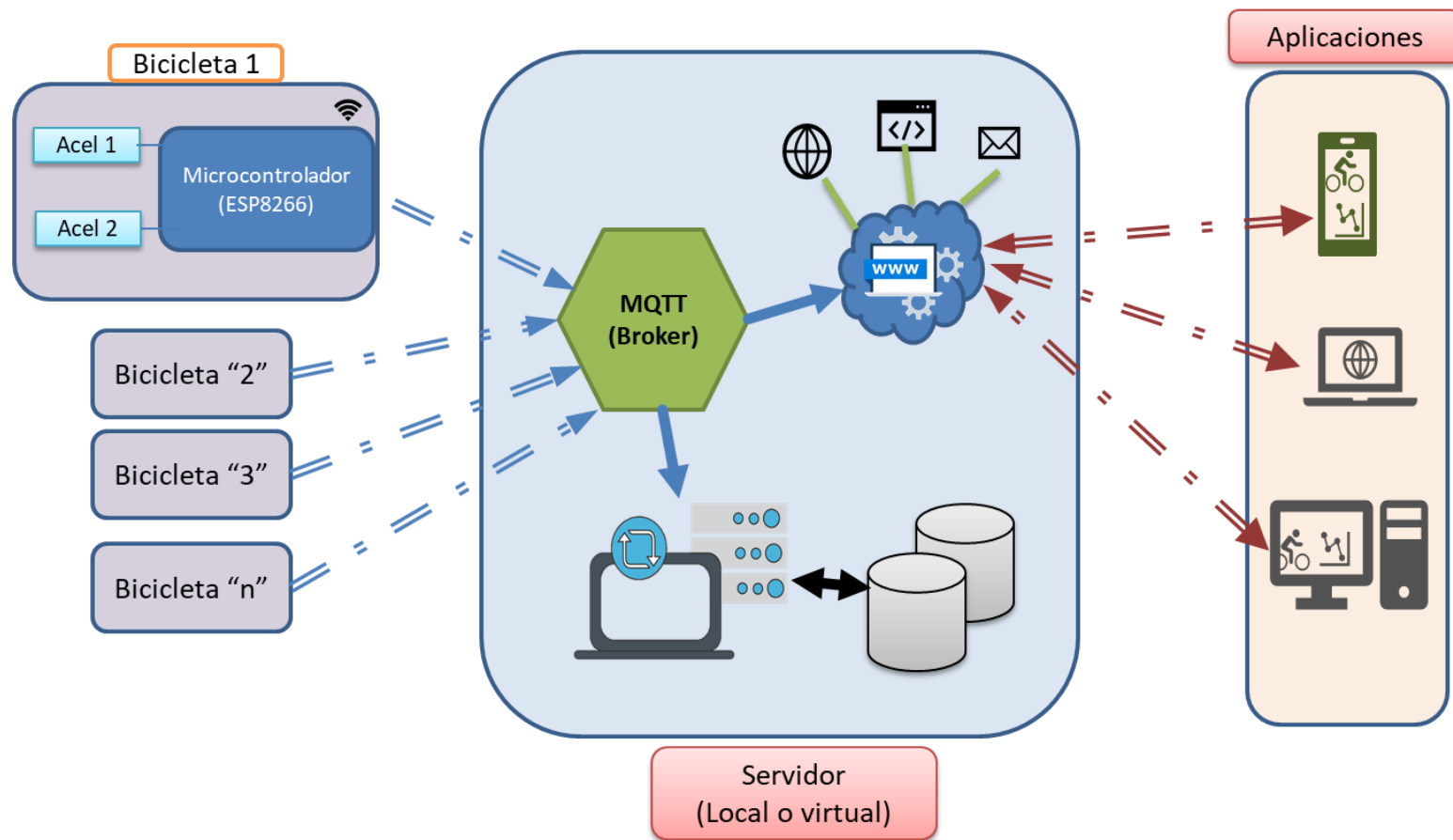


Figura 22 Arquitectura general de funcionamiento del sistema de monitoreo

## 6.7 Tarjeta electrónica

Realizar o crear un modelo virtual de la tarjeta electrónica del dispositivo, brinda una referencia sobre la cantidad de componentes base para su funcionamiento. Así también conocer una posible primera distribución de los componentes dentro de la tarjeta, y poder identificar circuitos o componentes que se han omitido, con la finalidad de saber si las dimensiones que se obtendrán caerán dentro de los requerimientos, planteados anteriormente.

Tabla 16 Planeación del prototipo

Nombre del prototipo	Configuración y tamaño de PCB
Propósitos	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Conocer dimensiones de la tarjeta PCB del ciclo computador</li> <li>❖ Identificar componentes y circuitos sobrantes o faltantes</li> </ul>
Nivel de aproximación	*Modificar la distribución de los componentes
Plan experimental	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Elaborar una tarjeta PCB con los componentes base (prototipo analítico)               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esquemático de los componentes</li> <li>• Tarjeta virtual PCB, con posibilidad de fabricación</li> </ul> </li> </ul>

El desarrollo de la tarjeta electrónica para el dispositivo, se realiza en el software EAGLE, donde primero se parte de conocer el circuito base, para este caso se compone de un sensor inercial IMU (MPU6050) para medir los cambios de aceleraciones (vibraciones), el microcontrolador, fuente de energía y la expansión para sensores o dispositivos de comunicación I2C.

Con base en ello se obtuvo la siguiente lista de componentes, que se emplea en la construcción del esquemático del circuito.

Tabla 17 Lista de componentes

No	Valor	Dispositivo	Encapsulado	Parte	Descripción
1		AK500/2	AK500/2	X1	CONNECTOR
2		MT6-4	MT6-4	SV1, SV2	AMP MT6 CONNECTOR
1	0.1 uF	C-US050-024X044	C050-024X044	C2	CAPACITOR, American symbol
1	0.33 uF	C-US050-024X044	C050-024X044	C1	CAPACITOR, American symbol
1		NodeMCU V2 ESP8266	SEEED_113990105	A1	NodeMCU v2 - Lua based ESP8266 development kit
2	1k	R-US_0204/7	0204/7	R1, R2	RESISTOR, American symbol
1		78L08Z	T092	IC2	Positive VOLTAGE REGULATOR
1		GY-521MPU6050	GY-521	U1	GY_521MPU6050

A continuación, se muestra el resultado de la tarjeta de circuitos, donde la primera imagen muestra las dimensiones (largo y ancho) en milímetros. Posteriormente se muestra la aproximación del resultado de la fabricación de la tarjeta.

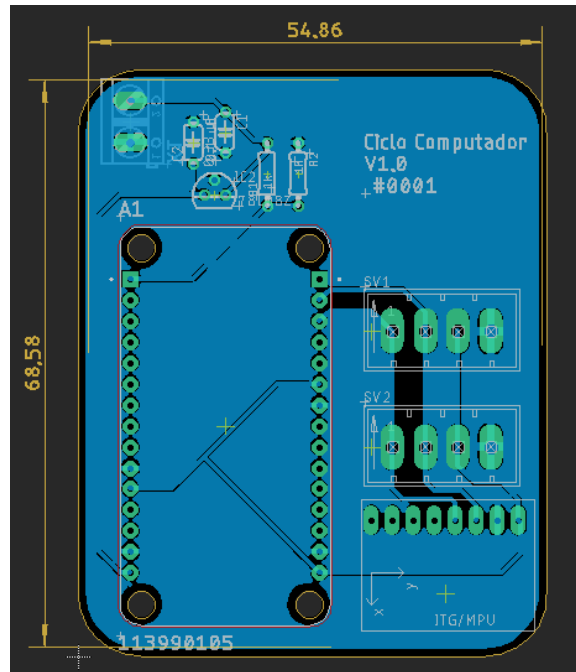


Figura 23 Dimensiones de la tarjeta PCB

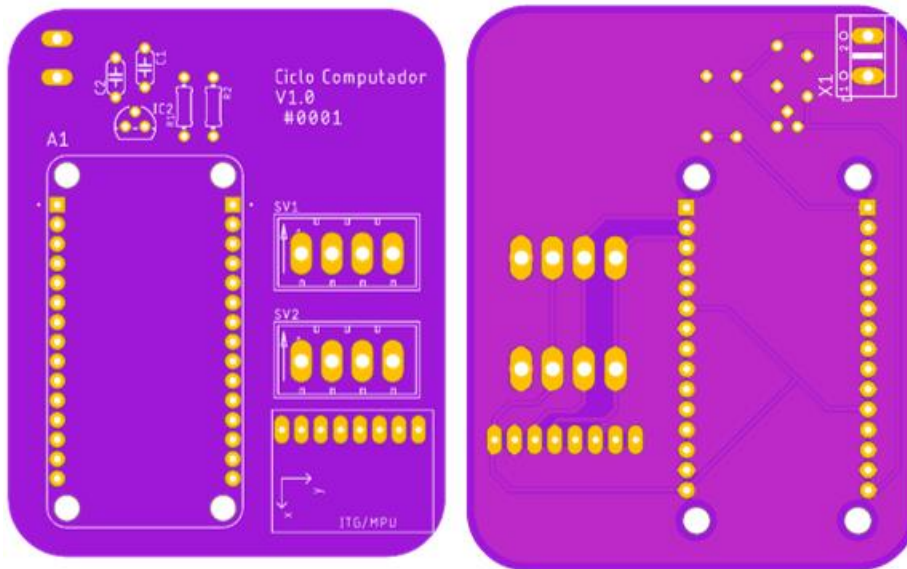


Figura 24 Cara superior (TOP) y cara inferior (BOTOM)

Las dimensiones obtenidas en este prototipo cumplen con los requerimientos máximos en cuanto al largo y ancho (10X10 cm). El espacio disponible de las dimensiones actuales se puede mejorar, al usar ambas caras de la tarjeta y con componentes de montaje superficial,

así mismo considerar cambiar los conectores destinados para los dispositivos I2C, para gestionar mejor los pines disponibles del microcontrolador.

Las dimensiones de 5.5 y 7 cm son una buena base para la construcción de la carcasa del dispositivo, además de considerar un volumen de una batería recargable, como referencia se toman las siguientes medidas 63 x 41 x 6.0 mm, que son las dimensiones de una batería lipo de 2 celdas.

### Prototipo de dispositivo

Para poder realizar los experimentos y comprobar la hipótesis, se construyó un prototipo en tarjeta perforada, con el microcontrolador, los sensores y la salida para la fuente de energía.

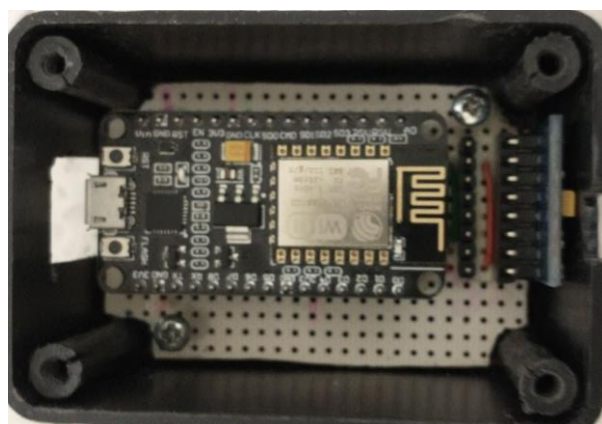


Figura 25 Prototipo del dispositivo

Las siguientes imágenes corresponden al segundo sensor inercial, que se coloca en la parte trasera de la bicicleta.

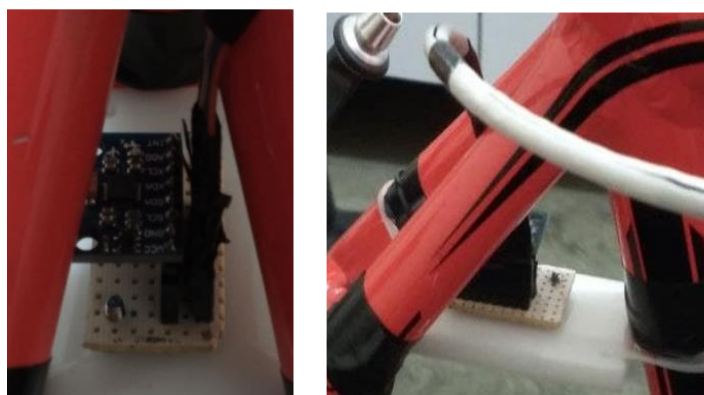


Figura 26 Sensor inercial 2 (MPU6050)

### Costo de desarrollo de una unidad

Tabla 18 Lista de componentes y costo

COMPONENTE	VALOR	DESCRIPCIÓN
------------	-------	-------------

<b>MICROCONTROLADOR</b>	\$140.00	NodeMCU ESP8266, Con comunicación WIFI 2.4 GHz
<b>DOS ACELEROMETROS</b>	\$60.00	MPU 6050 (ADXL345 GY-291)
<b>TARJETA PERFORADA</b>	\$70.00	Tarjeta perforada para circuitos 10 x15 [cm]
<b>CARCASA MINI</b>	\$25.00	Carcasa negra de plástico
<b>PORTA BATERIA</b>	\$10.00	Para batería 18650
<b>CARGADOR BATERIA</b>	\$40.00	Cargador Individual
<b>BATERÍAS</b>	\$35.00	Batería de 3.7 V, 4600 mAh, Tamaño 18650
<b>CIRCUITERÍA</b>	\$15.00	Cables y headers
<b>TOTAL</b>	\$395.00	---

En la Tabla 18 están los componentes empleados para construir el dispositivo que se está empleando para los experimentos, aunque incompleta abarca y contempla los elementos principales para continuar con el proyecto, considerando un presupuesto de \$395.00 pesos para la construcción de un solo dispositivo. Dado que la batería que se consiguió es de 3.7 volts, la etapa de potencia del regulador no es necesaria.

También se tiene un estimado del gasto anual por el uso de un VPC (servidor) y un dominio nacional.

Tabla 19 Costos servicios IoT

VPC AWS	1	mes	\$ 1,146.52	12	mes	\$ 13,758.24
Nombre de dominio (.mx)	1	año	\$ 599.00	1	año	\$ 599.00
					Total	\$ 13,758.24

## 7 Experimentos

### 7.1 Orientación de la bicicleta

El sistema coordinado de la bicicleta se propone como se muestra en la Figura 27. Con el eje X paralelo al tubo horizontal, y en la línea vertical se encuentra el eje Z.

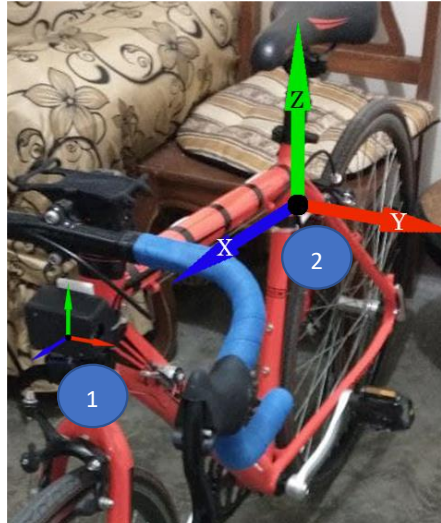


Figura 27 Sistema coordinado de referencia de la bicicleta, (1) Sensor 1, (2) Sensor2

El sistema de coordinado de cada sensor fue adaptado al sistema global de la bicicleta, para que el sentido de las aceleraciones leídas por los sensores coincida con el de la bicicleta.

Tabla 20 Orientación de bicicleta y sensores

Bicicleta (s1)	Sensor 1	Bicicleta (s2)	Sensor 2
<b>Xb1</b>	-X1	<b>Xb2</b>	-Y2
<b>Yb1</b>	Z1	<b>Yb2</b>	-X2
<b>Zb1</b>	Y1	<b>Zb2</b>	-Z2

Al instalar los acelerómetros en sus respectivos sitios, existe una pequeña desviación en los ejes, se aplica una compensación (offsets) para tener las aceleraciones lo más cerca del 0.0, es decir, que el plano XY sea ortogonal al eje de la gravedad. Los valores de offsets pueden cambiar al momento de instalar los sensores en la bicicleta.

Xb1	0.48
Yb1	0.22
Zb1	9.91
Xb2	0.6
Yb2	0.56
Zb2	8.65

### 7.1.1 El MPU 6050

Cuenta con registros de 16 bits, es decir, que el rango de valores que entrega es  $2^{16} = 65536$ , pero las mediciones van de números negativos a positivos la escala va de -32768, 0, +32768. Para obtener las aceleraciones en sistema internacional  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$  entonces se emplea la siguiente ecuación de  $Aceleración = \frac{lectura*(g)}{Sensitivity}$ , la sensibilidad se elige de acuerdo al valor de la escala que se quiere leer, tal como se muestra en la siguiente tabla, y el valor de  $g$  es  $9.81 \frac{m}{s^2}$ .

Tabla 21 Rango de escala y sensibilidad

Full Scale Range	Sensitivity
2g	16384
4g	8192
8g	4096
16g	2048

En este caso, se emplea la sensibilidad para la escala de 2g, que permite leer saltos pequeños en las aceleraciones.

## 7.2 Ejemplares

Para poder tener punto un de comparación y diferencia cuando las bicicletas pasan de estar en una buena condición a una mala condición. Por lo tanto, se instrumentaron dos bicicletas donde claramente se conoce que la bicicleta nueva es la de una buena condición, mientras que la bicicleta vieja; es la que se encuentra en mal estado.

Se procuro que la bicicleta vieja, fuera de un modelo similar a la nueva para tratar que los resultados en los experimentos se puedan comparar. Así mismo todas las pruebas se realizan con la misma velocidad, es decir, se usa la catarina superior y el plato más pequeño.



Figura 28 a) Bicicleta nueva b) Bicicleta vieja

## 7.3 Variables

**Variable a observar (observador):** Es la cantidad física que se mide para estimar o predecir otra variable

**Variable de control:** Es la cantidad física que se puede manipular con el fin de modificar o llevar a otro estado el sistema.

Las vibraciones (cambios en la aceleración) es la variable a observar, para conocer el estado de salud de las bicicletas.

La variable de control es la presión de los neumáticos de las bicicletas. La presión base (100%) es la que indica el fabricante de las llantas. Para la bicicleta nueva la presión máxima es de 50 PSI y para la bicicleta en mala condición la presión es de 45 PSI.



Figura 29 Presión de referencia

Por medio de una bomba de aire con manómetro analógico, se inflan las llantas a una presión ligeramente superior a la deseada, mientras que con el manómetro digital; se realiza un ajuste (precisión 0.2 [psi]).

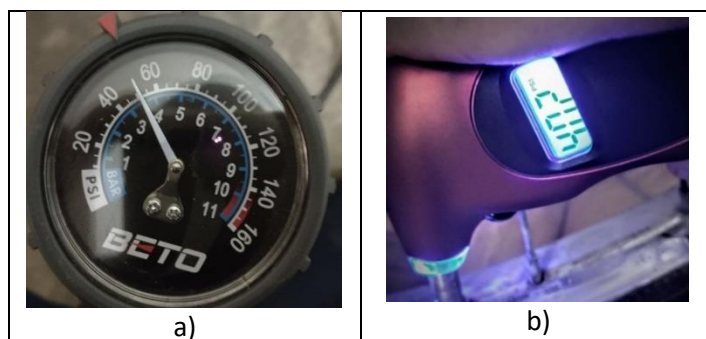


Figura 30 a) Bomba con manómetro b) Manómetro digital

La siguiente tabla se muestran los distintos niveles de presión de aire para cada bicicleta, de acuerdo a la presión máxima que indica la llanta.

Tabla 22 Porcentajes de presión en llantas

Bicicleta Nueva		Porcentaje	Bicicleta Vieja		Porcentaje
[psi]	[bar]	[%]	[psi]	[bar]	[%]
50	3.44738	100	45	3.10264	100
47.5	3.27501	95	42.75	2.9475087	95
45	3.10264	90	40.5	2.792377	90
42.5	2.930272	85	38.25	2.6372447	85
40	2.7579	80	36	2.48211	80
37.5	2.585534	75	33.75	2.3269806	75
35	2.41317	70	31.5	2.171849	70
32.5	2.240796	65	29.25	2.0167165	65



## VARIABLES AUXILIARES

El desgaste de las gomas de los frenos y la holgura de la cadena son variables que son de interés, para conocer la evolución de una buena condición a una mala condición para las bicicletas

Con la ayuda de un vernier se mide la holgura o distancia que existe entre 5 eslabones de la cadena, y el espesor de las gomas, tal como se muestra en las respectivas imágenes.



Figura 31 a) Medición de holgura en cadena b) Medición de espesor en gomas

## 7.4 Pruebas

Los experimentos se realizan tanto en la bicicleta nueva, como en la bicicleta vieja.

Cada prueba tiene un tiempo de duración de 5 minutos. Al tener un tiempo fijo se realizan bloques de experimentos, cada bloque tiene cinco experimentos.

El primer bloque se realiza con una presión del 100%. Cada subsecuente bloque disminuirá la presión de las llantas en un 5%. El último bloque está determinado por la presión en que se considere que las llantas están pinchadas. Al final de cada bloque se miden las variables auxiliares, para tener un seguimiento de la evolución de estas.

Las pruebas o experimentos consisten en hacer uso de las bicicletas en dos escenarios.

1. Banco de pruebas
2. En campo (parque)

El banco de pruebas son los rodillos de entrenamiento, que permite realizar los experimentos dentro de casa, donde se busca la menor cantidad de vibraciones tipo ruido, es decir, para conocer el comportamiento de las bicicletas en un escenario que se puede considerar ideal (sin perturbaciones del suelo).



Figura 32 a) Banco de pruebas b) Ciclo pista (en verde) en parque

#### 7.4.1 Nomenclatura para las pruebas

Para tener un control sobre las pruebas y evitar escribir nombres largos para estas, se plantea la siguiente forma para darles nombre, y así ser identificadas con mayor facilidad. La estructura del nombre es primero distinguir en que bicicleta se realiza la prueba, después el tiempo de cada prueba, el porcentaje de presión en las llantas y por último es la versión o número de prueba.

- ❖ Por el tipo de bicicleta
  - En buen estado -> H
  - Con defectos -> F
- ❖ Por tiempo de duración de la prueba
  - 5 minutos -> 05M
  - 10 minutos -> 10M ...
- ❖ Porcentaje de presión en neumáticos
  - 100% -> 100P
  - 90% -> 090P ...
- ❖ Número de prueba (versión)
  - V01
  - V02 ...

#### Ejemplos

Bicicleta en buen estado en una prueba de 10 minutos con presión de aire al 90% en la prueba 8

- **Nomenclatura:** H10M90PV08

Bicicleta con defectos en prueba de 5 minutos con presión de aire al 100%, numero de prueba 1

- **Nomenclatura:** F5M100PV01

### Ejemplo de bloques para la bicicleta en buen estado

Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
H05M100PV01	H05M095PV01	H05M090PV01
H05M100PV02	H05M095PV02	H05M090PV02
H05M100PV03	H05M095PV03	H05M090PV03
H05M100PV04	H05M095PV04	H05M090PV04
H05M100PV05	H05M095PV05	H05M090PV05

### Ejemplo para la bicicleta en mal estado

Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3
F05M100PV01	F05M095PV01	F05M090PV01
F05M100PV02	F05M095PV02	F05M090PV02
F05M100PV03	F05M095PV03	F05M090PV03
F05M100PV04	F05M095PV04	F05M090PV04
F05M100PV05	F05M095PV05	F05M090PV05

## 7.5 Resultados

En el primer bloque para las dos bicicletas, consta de 10 pruebas en el banco de pruebas. Posteriormente se disminuyó a 5 pruebas por bloque, esto porque más de 5 pruebas es demasiado agotador para el usuario.

En las siguientes tablas se muestra el registro de las variables; al término de cada bloque.

La columna de porcentaje, también cuenta con un código de colores, que sirve como referencia de la fuerza ejercida para mantener una misma cadencia durante toda la prueba. El color verde indica que la fuerza es normal o que no implica un esfuerzo agotador para el usuario. La fuerza aumenta conforme se acerca al color rojo. El color rojo también indica cuando la presión de aire en las llantas se puede considerar como una ponchadura.

Para la bicicleta vieja, se puede disminuir más la presión de aire que en la nueva, eso debido a que las llantas de la bicicleta vieja son de un espesor mayor, que ayuda a distribuir la presión en un área mayor.

Para las pruebas en campo, también se cuenta con el código de colores. La fuerza ejercida sobre la bicicleta en campo, es ligeramente inferior a la requerida para las pruebas en el banco de pruebas. Por ello en la bicicleta nueva se pudo hacer pruebas con una presión del 80% en campo y 85% en el banco.

## Bicicleta Nueva

### 1. En banco de pruebas (Rodillos)

Tabla 23 Evolución de variables en banco de pruebas. Bicicleta en buen estado

N° Pruebas	Espesor de gomas de los frenos				Distancia entre eslabones [cm]	Presión de aire en llantas		
	Izquierda Delantero [cm]	Derecha Delantero [cm]	Izquierda Trasera [cm]	Derecha Trasera [cm]		Delantera [psi]	Trasera [psi]	Porcentaje
10	0.44	0.49	0.50	0.50	5.60	50.2	50.4	100%
5	0.44	0.49	0.50	0.50	5.60	47.2	47.6	95%
5	0.44	0.49	0.50	0.50	5.60	44.6	45.6	90%
5	0.44	0.49	0.50	0.50	5.60	42.0	42.8	85%
NA	0.44	0.49	0.50	0.50	5.60	40.0	40.0	80%

### 2. En campo (Ciclo pista)

Tabla 24 Evolución de variables en campo. Bicicleta en buen estado

N° Pruebas	Espesor de gomas de los frenos				Distancia entre eslabones [cm]	Presión de aire en llantas		
	Izquierda Delantero [cm]	Derecha Delantero [cm]	Izquierda Trasera [cm]	Derecha Trasera [cm]		Delantera [psi]	Trasera [psi]	Porcentaje
5	0.44	0.49	0.50	0.50	5.60	50.6	49.8	100%
5	0.44	0.49	0.49	0.49	5.60	47.6	47.8	95%
5	0.44	0.49	0.49	0.49	5.60	44.2	45.4	90%
5	0.44	0.49	0.49	0.49	5.60	41.8	42.6	85%
5	0.44	0.49	0.49	0.49	5.60	39.2	40.8	80%

## Bicicleta Vieja

### 1. En banco de pruebas (Rodillos)

Tabla 25 Evolución de variables en campo. Bicicleta en mal estado

N° Pruebas	Espesor de gomas de los frenos				Distancia entre eslabones [cm]	Presión de aire en llantas		
	Izquierda Delantero [cm]	Derecha Delantero [cm]	Izquierda Trasera [cm]	Derecha Trasera [cm]		Delantera [psi]	Trasera [psi]	Porcentaje
10	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	45.2	45.2	100%
5	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	42.6	42.6	95%
5	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	40.6	40.6	90%
5	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	38.2	38.2	85%
5	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	36	36	80%
5	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	33.2	33.6	75%
5	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	31.6	31.6	70%
2	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	29.2	29.2	65%

## 2. En campo (Ciclo pista)

Tabla 26 Evolución de variables en campo. Bicicleta en mal estado

N° Pruebas	Espesor de gomas de los frenos				Distancia entre eslabones [cm]	Presión de aire en llantas		
	Izquierda Delantera [cm]	Derecha Delantera [cm]	Izquierda Trasera [cm]	Derecha Trasera [cm]		Delantera [psi]	Trasera [psi]	Porcentaje
5	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	45	45	100%
5	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	42.6	42.2	95%
5	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	40.4	40.8	90%
5	0.68	0.82	0.78	1.07	5.63	40.4	40.8	85%

### 7.5.1 Graficas de experimentos

Las siguientes imágenes constan de 6 graficas cada una, tres por cada acelerómetro, las cuales están divididas de acuerdo al sistema coordenado de la bicicleta (X, Y, Z). Cabe recordar que las bicicletas tienen dos sensores inerciales, para poder medir las aceleraciones en los tres ejes.

A continuación, se muestran las gráficas para la bicicleta nueva y vieja con una presión del 100%, para las pruebas en campo y en el banco de pruebas.

Los experimentos en el banco de pruebas (Figura 33 y Figura 35) para las dos bicicletas las respuestas del sensor 1 en sus ejes X y Y son ligeramente mayores que las del sensor 2, este comportamiento se cree, que se debe porque el movimiento del manubrio añade vibraciones en esos dos ejes. Por ser los ejes principales que ayudan a mantener el andar (eje X) y el equilibrio (eje Y). En el eje Z las magnitudes del sensor 1 son menores al sensor 2, se cree que este efecto es debido a que el sensor1 está ubicado en el manubrio, y los brazos ayudan a amortiguar ligeramente la vibración en esa sección.

Para las pruebas en campo las señales del sensor 1 en los ejes X y Y aún son mayores que en el sensor 2 sin embargo, la diferencia es menor, porque es más sencillo mantener el andar y el equilibrio en campo que en los rodillos de entrenamiento. El hecho de que sea más sencillo conducir una bicicleta en campo que en rodillos también explica porque en la bicicleta vieja las magnitudes de las aceleraciones son mayores en los rodillos que en campo, especialmente en los ejes X y Y. Esto también se puede interpretar en el sentido de que las fallas o desajustes de las bicicletas son más notorios en el banco de pruebas, por el hecho de que en los rodillos la conducción es más difícil.

En este punto ya se logra ver una diferencia entre una bicicleta en buen estado y otra en mal estado, esto se percibe al comparar las gráficas de la bicicleta nueva y la vieja. **Por el momento la magnitud de la amplitud de las aceleraciones es el único indicador de deterioro en las bicicletas.**

Las gráficas de los ejes Y, muestran la particularidad de que al concluir el tiempo de conducción llegan a un valor diferente de cero. Este desfase del origen es por la forma en que se estaciona la bicicleta, al recargar la bicicleta sobre una superficie para estacionarla, se genera un ángulo alrededor del eje X, que induce una aceleración sobre el eje Y, por acción de la gravedad.

Mientras que en la bicicleta nueva las gráficas correspondientes al eje X y eje Z, se ve un incremento en sus amplitudes. Para el eje X, se cree que es debido a que las velocidades en las pruebas en campo fueron superiores que en los rodillos. Por otro lado, en el eje Z es porque en campo existen irregularidades y por otro lado en el banco de pruebas, se considera que es un caso ideal donde no existen irregularidades.

En las pruebas en campo con la bicicleta nueva es claro diferenciar los puntos de cuando se repite el ciclo en la ruta de la ciclo-pista. Para cada prueba en campo para ambas bicicletas con duración de 5 minutos se dieron tres vueltas a la pista. Una sección de la pista cuenta con una pendiente, que al descender por ella la velocidad aumentaba. En las gráficas correspondiente al eje X y Z, se puede diferenciar tres zonas con picos.

# Bicicleta nueva

## 1. Banco de pruebas

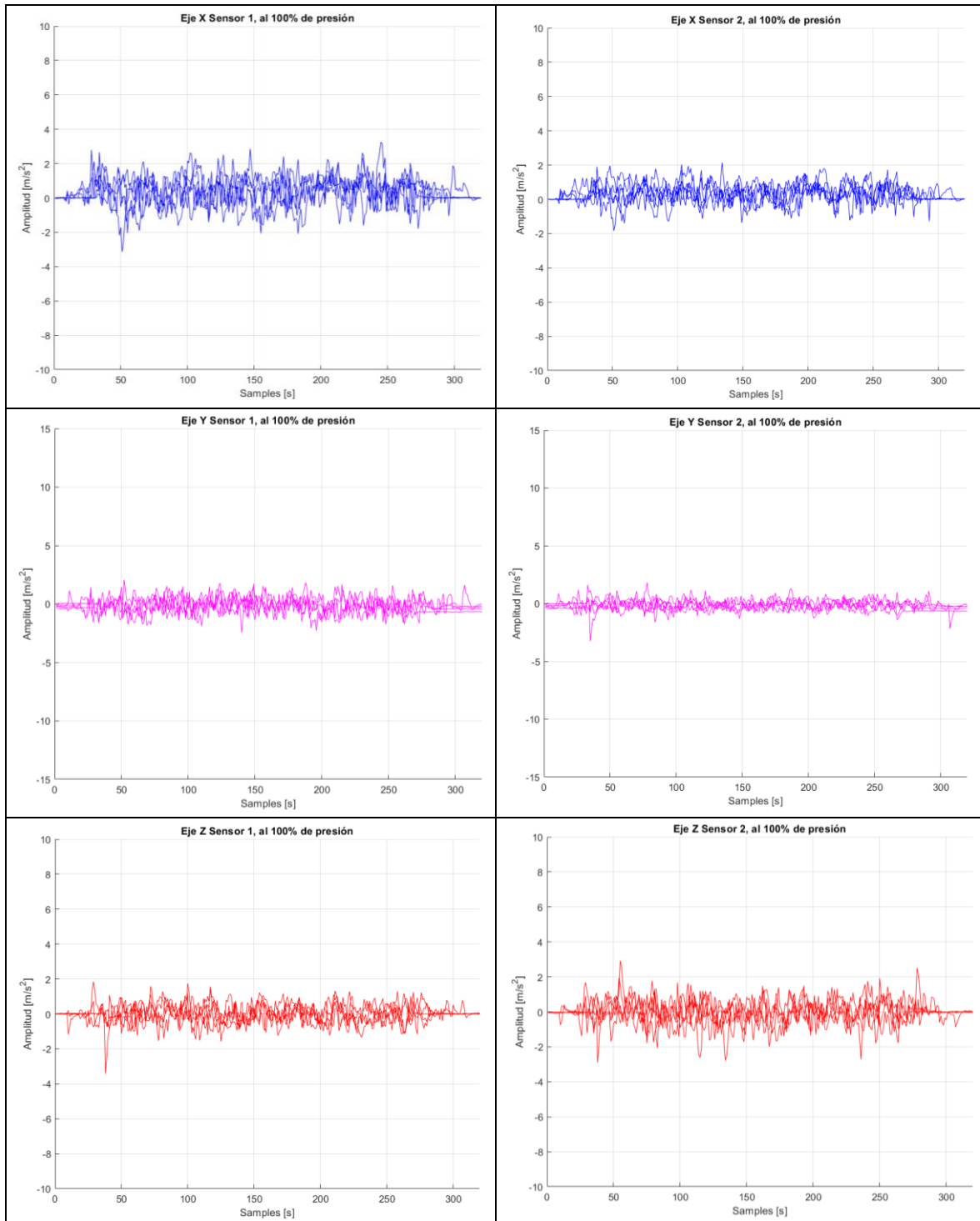


Figura 33 Comparación de aceleraciones bicicleta nueva de los sensores 1 y 2, en banco de pruebas.

## 2. Campo

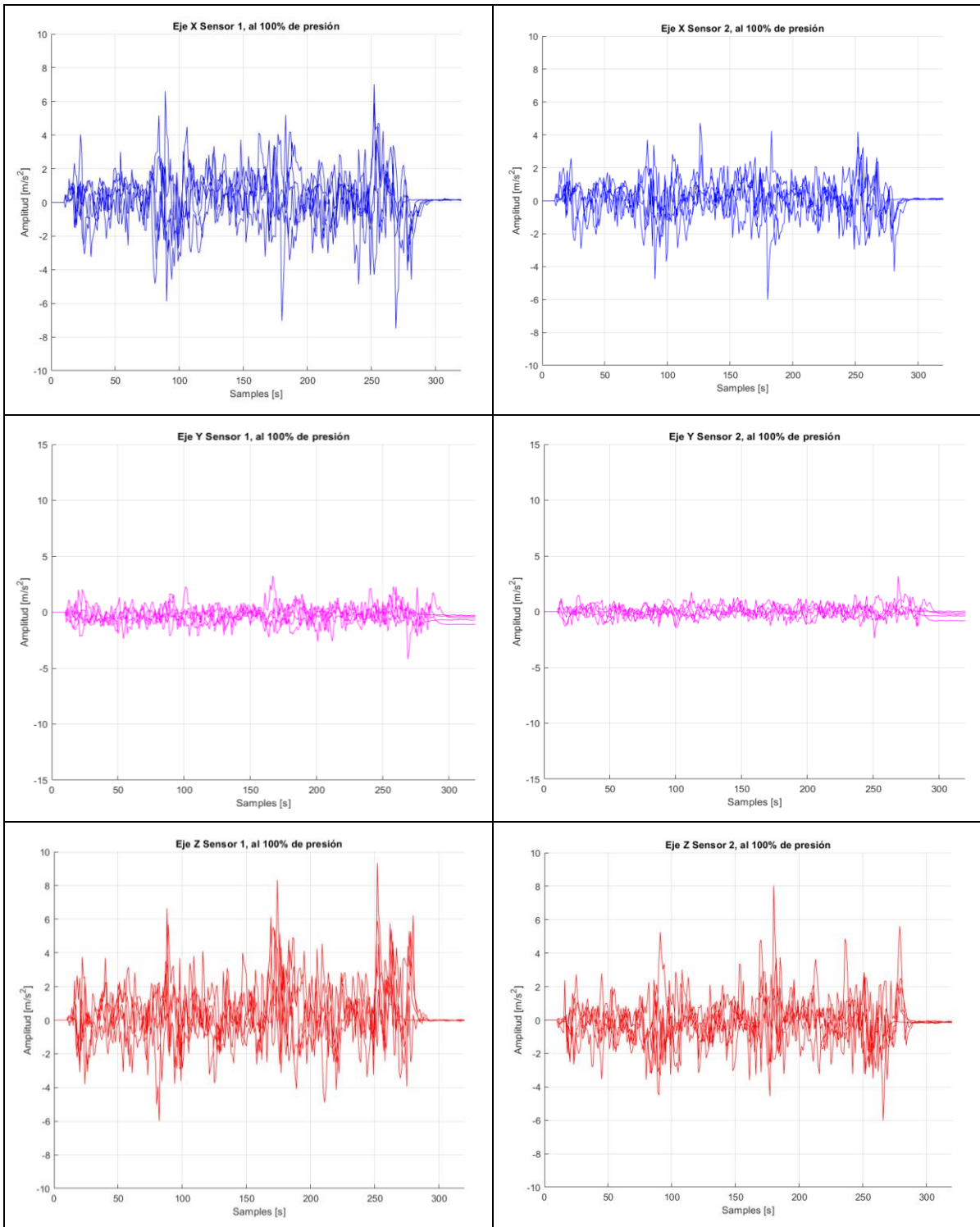


Figura 34 Comparación de aceleraciones bicicleta nueva de los sensores 1 y 2, pruebas en campo.



# Bicicleta vieja

## 1. Banco de pruebas

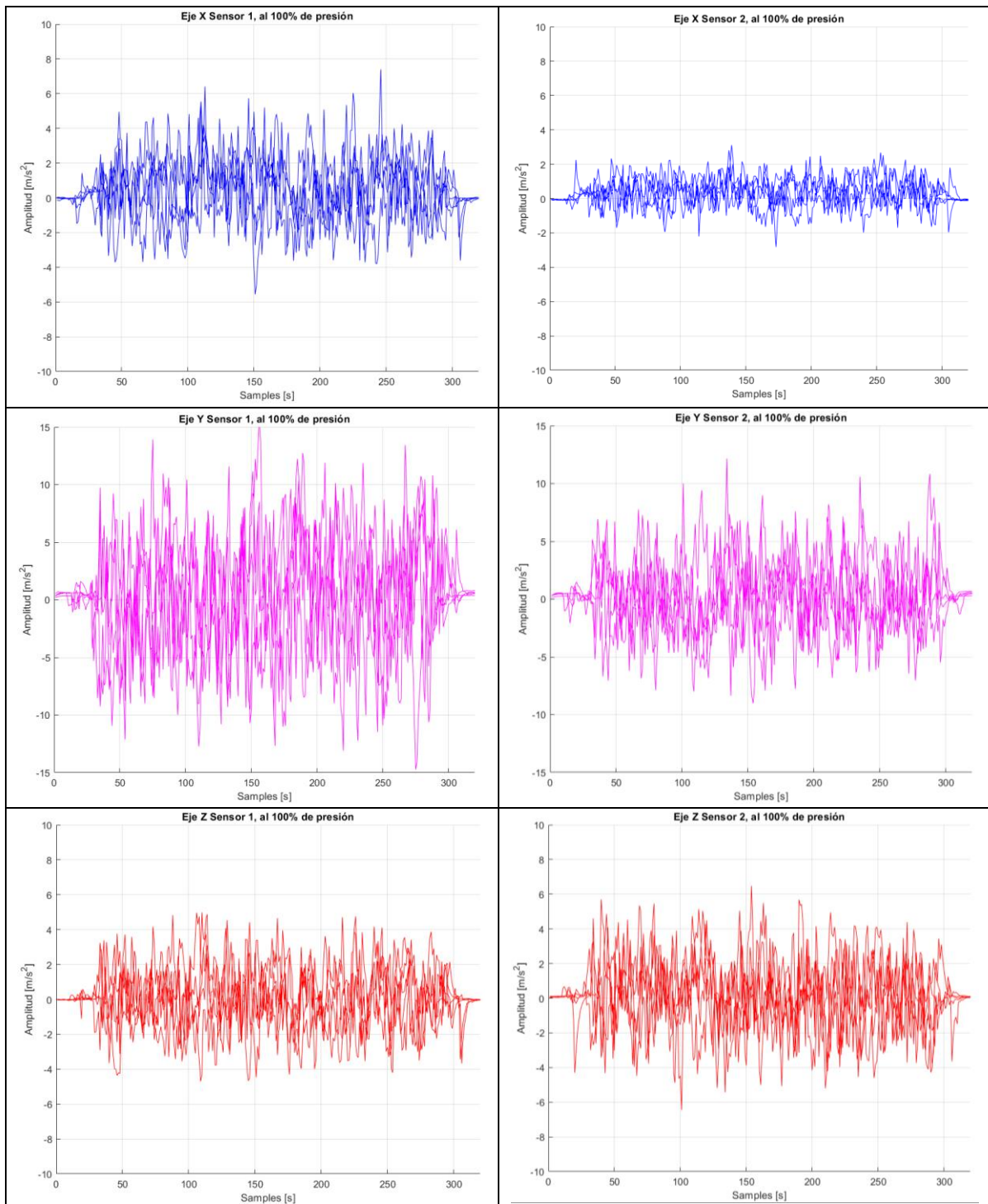


Figura 35 Comparación de aceleraciones bicicleta vieja de los sensores 1 y 2, en banco de pruebas.

## 2. Campo

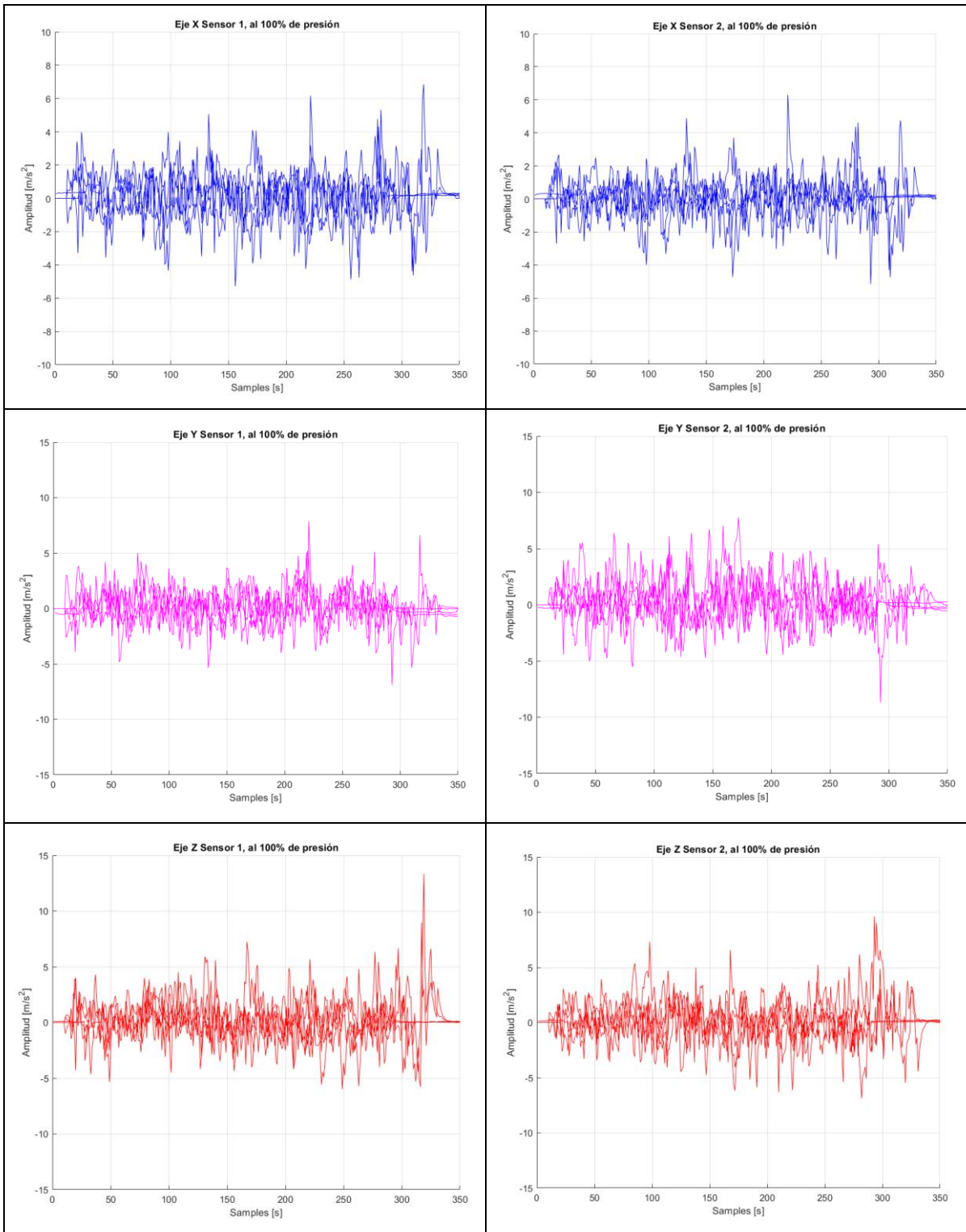


Figura 36 Comparación de aceleraciones bicicleta vieja de los sensores 1 y 2, pruebas en campo.

### **Comparación de la bicicleta en diferentes condiciones (porcentaje de presión)**

Al observar las gráficas de la Figura 37 y Figura 38, las variaciones de la condición con 100% de presión a 85% son sutiles o casi imperceptibles, pero suficientes para inferir algunos cambios que indiquen que el estado de la bicicleta tiende al de una bicicleta en mal estado. Las respuestas para el eje X en el banco de pruebas, se observa que las gráficas de la condición del 85% la amplitud es menor a la del 100%, este comportamiento podría estar ligado a la disminución de velocidad, que es ocasionado por el aumento en la fuerza necesaria para mover a la bicicleta, este cambio de fuerza se puede observar en el código de colores visto en las Tabla 23 a la Tabla 26. Por otro lado, el eje Y y Z, las gráficas del 85% de presión; muestra un aumento en la amplitud.

En cuanto a las prueba en campo también se tiene un comportamiento similar sobre el eje X, siendo el eje Y donde se percibe el aumento en la amplitud. Para el eje Z probablemente los cambios son muy pequeños como para ser detectados por una inspección visual de la gráfica.

# Bicicleta nueva

## 1. Banco de pruebas

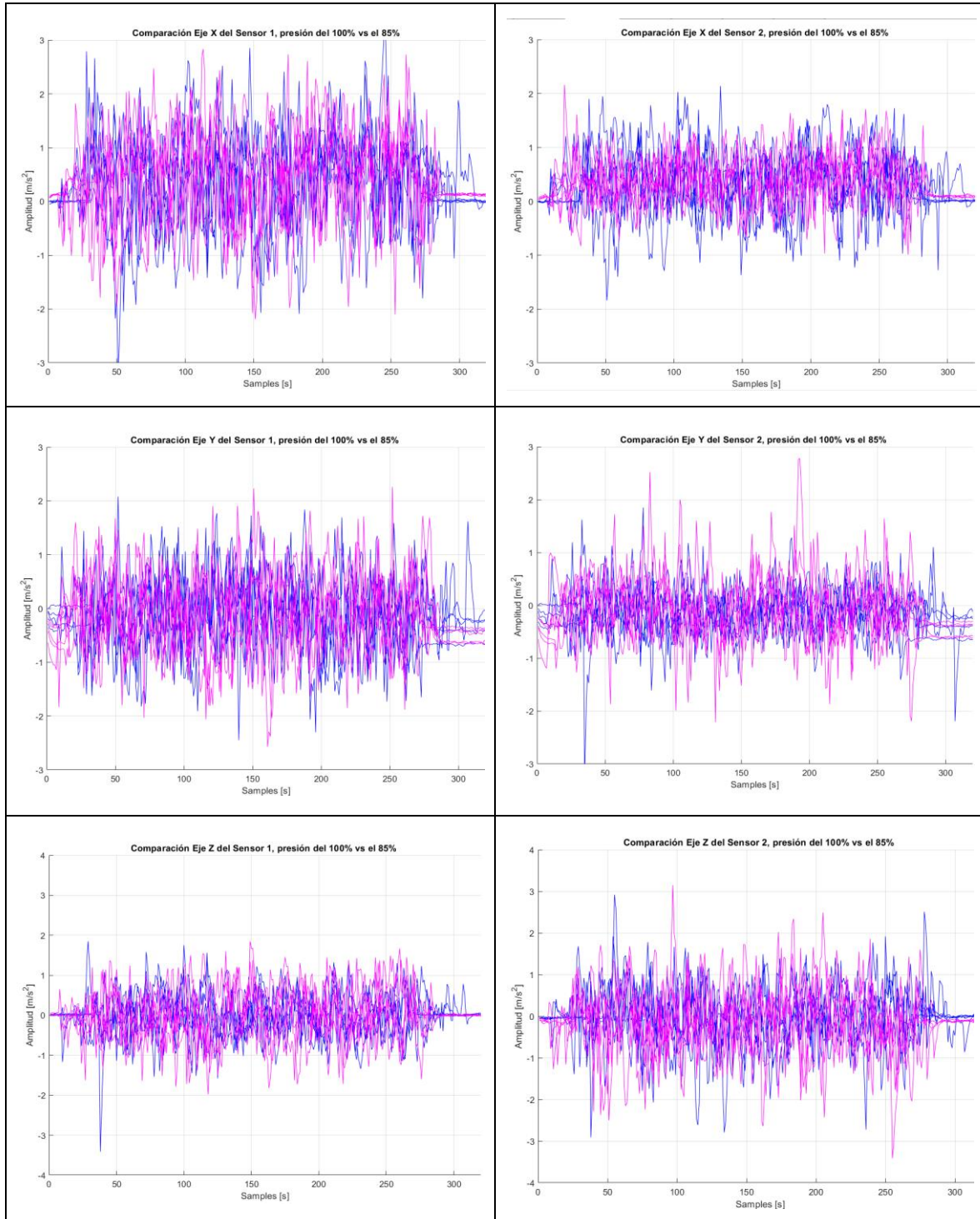


Figura 37 Comparación 100% (color azul) vs 85% (color magenta), en banco de pruebas

## 2. Campo

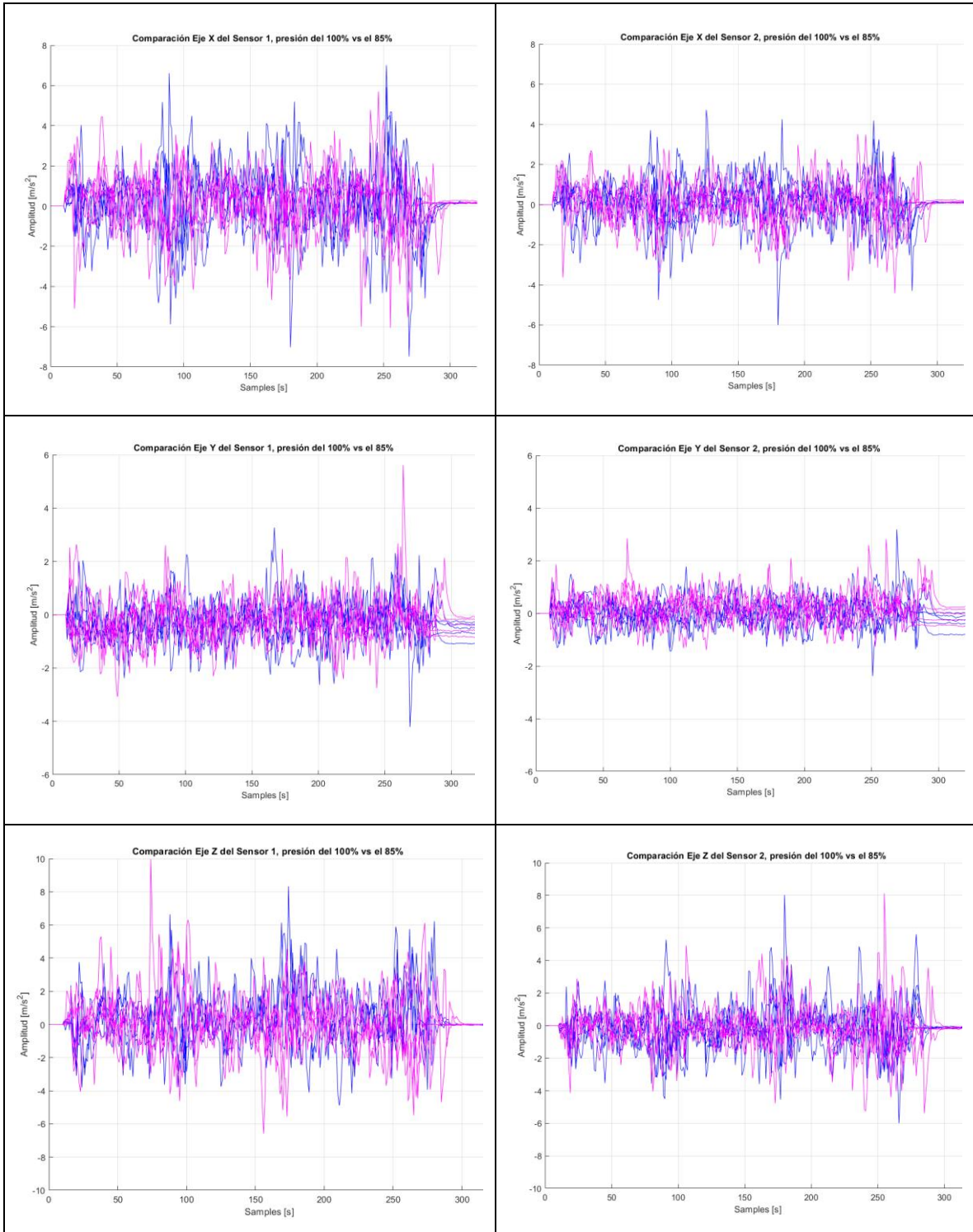


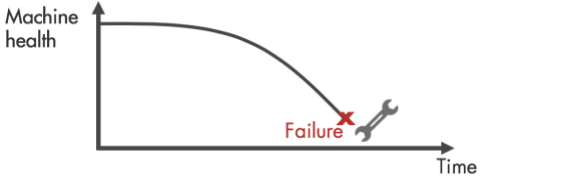
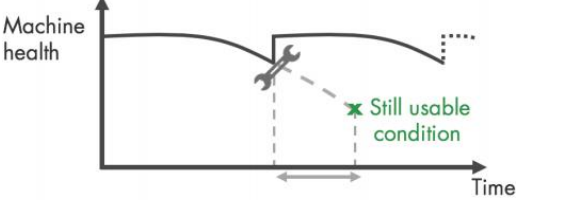
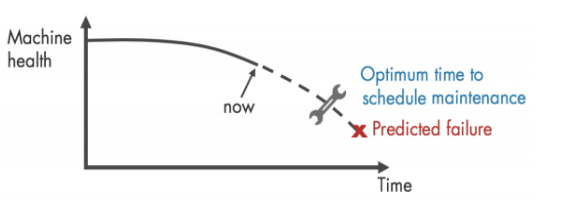
Figura 38 Comparación 100% (color azul) vs 85% (color magenta), pruebas en campo.

## 8 Mantenimiento predictivo con MATLAB

El mantenimiento predictivo es la herramienta de análisis que permite conocer cuando una maquina esta apunto de fallar. Al conocer un estimado del tiempo de vida restante de una maquina o componente se pueden planear mantenimientos por adelantado, tener mejor manejo del inventario, reducir el tiempo en que las maquinas están detenidas por fallas, y prolongar el tiempo de vida útil de los equipos.

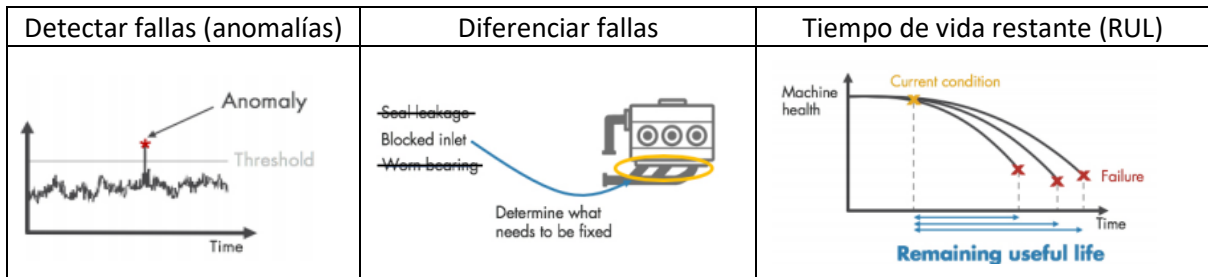
El mantenimiento va aumentando de nivel, de acuerdo con ciertas características; donde MATLAB los clasifica de la siguiente forma.

Tabla 27 Clasificación de tipos de mantenimiento por MATLAB [17]

<p><b>Reactivo:</b> Se realiza solo cuando la falla ya ha ocurrido, es decir, la máquina se ha usado hasta su límite.</p>	
<p><b>Preventivo:</b> En este nivel se busca prevenir la que ocurra una falla, a través de revisiones periódicas.</p>	
<p><b>Predictivo:</b> Permite estimar el tiempo de falla de una máquina, y encontrar un tiempo adecuado para enviar el equipo a mantenimiento.</p>	

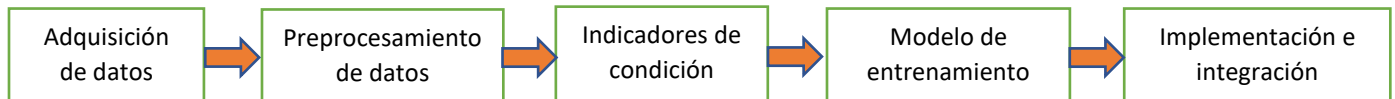
El mantenimiento predictivo a través de conocer cómo evolucionan las características de las señales obtenidas de la instrumentación de los equipos (velocidad, aceleración, temperatura ...), es capaz de identificar cuando una máquina/equipo/componente tiene una falla, saber diferenciar entre los distintos tipos de fallas que pueden surgir, permite obtener una predicción del tiempo de vida útil restante (Remaining Useful Life RUL)

Tabla 28 Modelos de entrenamiento en mantenimiento predictivo [17]



Para implementar el mantenimiento predictivo, en el sistema de bicicletas es necesario cumplir con la siguiente secuencia de pasos.

1. Adquisición de datos
2. Procesamiento de dato
3. Identificación de indicadores de condición
4. Modelo de entrenamiento
5. Implementación e integración



## 8.1 Adquisición de datos

Una vez que las bicicletas han sido instrumentadas (colocar sensores y microcontrolador), para conocer el cambio de sus aceleraciones. Los sensores realizan lectura de las aceleraciones en los tres ejes coordenados (X, Y, Z), el microcontrolador ordena y filtra la señal para disminuir el ruido de las lecturas, para finalmente enviar la información a una base de datos. La base de datos contiene información de las bicicletas en buena y mala condición.

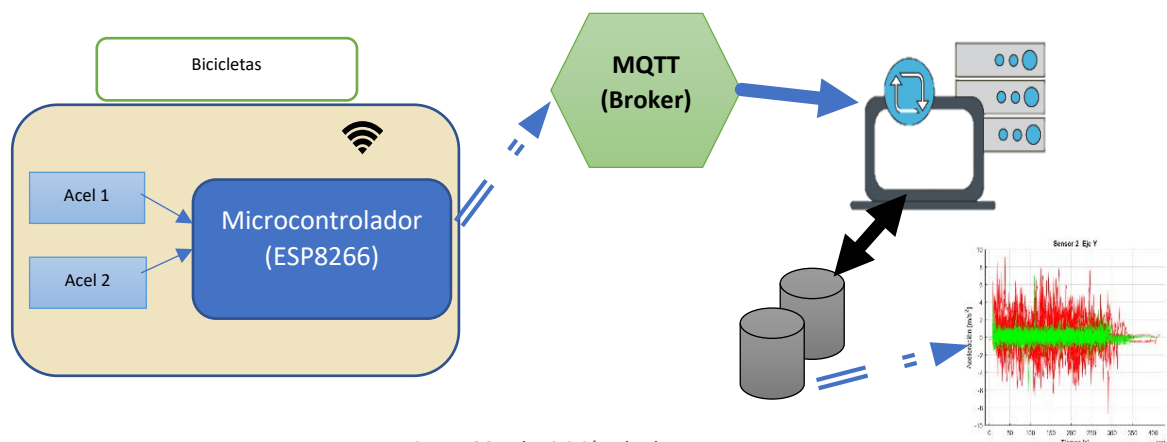


Figura 39 Adquisición de datos

## 8.2 Preprocesamiento de datos

Ensemble: Es la agrupación de un conjunto de datos. La información de cada miembro puede incluir, variables de condición, variables independientes y variables de datos. En este archivo se recopila la información de las bases de datos en una sola tabla, donde cada fila es un miembro.

En los experimentos se realizaron 20 pruebas con la bicicleta en buena condición y otras 20 con la bicicleta con una condición deteriorada. Cada una de estas pruebas se almacena en un archivo, que contiene 8 columnas. Entonces cada uno de esos archivos será un miembro del ensemble.

### Tipo de variables en un ensemble

- ❖ Variables de datos: Son todas aquellas variables que se miden o derivan de las señales de interés, que se analizan para el mantenimiento.
- ❖ Variables independientes: Se emplean para conocer o identificar las variables de datos, tales como, el tiempo de operación de una máquina, identificador de máquinas.
- ❖ Variables de condición: Es la variable que permite conocer el grado de condición de operación de una máquina o componente
- ❖

data_id	data_date	data_Eje1X	data_Eje1Y	data_Eje1Z	data_Eje2X	data_Eje2Y	data_Eje2Z
1	01/03/2021 22:08	0	0	0	0	0	0
2	01/03/2021 22:08	0	0	0	0	0	0
3	01/03/2021 22:08	0	0	0	0	0	0
4	01/03/2021 22:08	0	0	0	0	0	0
5	01/03/2021 22:08	0	0	0	0	0	0
6	01/03/2021 22:08	0	0	0	0	0	0
7	01/03/2021 22:08	0	0	0	0	0	0
8	01/03/2021 22:08	0	0	0	0	0	0
9	01/03/2021 22:08	0	0	0	0	0	0
10	01/03/2021 22:08	0	0	0	0	0	0

Figura 40 Estructura de archivo con la información de una prueba

	label	data_Eje1X	data_Eje1Y	data_Eje1Z	data_Eje2X	data_Eje2Y	data_Eje2Z
1	1	348×1 timetable	348×1 timetable	348×1 timetable	348×1 timetable	348×1 timetable	348×1 timetable
2	1	354×1 timetable	354×1 timetable	354×1 timetable	354×1 timetable	354×1 timetable	354×1 timetable
3	1	356×1 timetable	356×1 timetable	356×1 timetable	356×1 timetable	356×1 timetable	356×1 timetable
4	1	352×1 timetable	352×1 timetable	352×1 timetable	352×1 timetable	352×1 timetable	352×1 timetable
5	1	359×1 timetable	359×1 timetable	359×1 timetable	359×1 timetable	359×1 timetable	359×1 timetable
6	1	364×1 timetable	364×1 timetable	364×1 timetable	364×1 timetable	364×1 timetable	364×1 timetable
7	1	374×1 timetable	374×1 timetable	374×1 timetable	374×1 timetable	374×1 timetable	374×1 timetable
8	1	364×1 timetable	364×1 timetable	364×1 timetable	364×1 timetable	364×1 timetable	364×1 timetable

Figura 41 Estructura del ensemble (con la información de 8 archivos/pruebas)



El preprocesamiento de datos se refiere a la importación de los archivos de cada prueba hacia la matriz o tabla llamada *ensemble*, donde se seleccionan las variables de utilidad para el proceso de identificar y diferenciar cuando una bicicleta se encuentra en una buena condición o una condición degradada. De la Figura 40 se excluye la información de las columnas *data\_id* y *data\_date*, conservando las otras 6; que son importadas a la estructura del *ensemble* (Figura 41), donde se agregó una nueva columna llamada ***label***, que es la variable de condición que indica si la prueba pertenece a la bicicleta en buena condición (*label* = 0) o a la bicicleta en mala condición (*label* = 1).

Una vez que los datos se han organizado en el *ensemble* es posible ver la representación de estos mismo, en forma gráfica (Tabla 29), lo cual nos permitirá conocer más sobre el comportamiento de la bicicleta, y saber si una o más variables serán relevantes para los siguientes pasos en el proceso de diferenciar la condición en el mantenimiento predictivo.

En la Tabla 29 la columna del lado izquierdo representa los ejes X, Y, Z del sensor 1, que se encuentra ubicado en la parte posterior de la bicicleta, en la columna de la derecha se encuentran las señales del sensor 2.

Las señales provenientes del eje X, tanto para el sensor 1 y 2 por tener un comportamiento similar entre una buena y una condición degradada; a primera vista no son aptas para continuar con el proceso para encontrar características de condición. En cuanto a las señales obtenidas en el eje Z (sensor 1 y 2) aunque es poca la diferencia entre las condiciones es posible que tampoco sean aptas para el siguiente proceso, sin embargo, las señales por parte del sensor 2 muestran ligeras diferencias que lo hace un buen candidato para ser tomado en cuenta. Las señales provenientes del eje Y (sensor 1 y 2), muestran claras diferencias entre una buena condición y una condición degradada, en especial las que son tomadas con el sensor 2. La información que proviene de las pruebas realizadas en campo, con el objetivo de acercarse más al comportamiento que se puede tener en la ciclo-pista de ciudad universitaria de la UNAM.

Matlab cuenta con una herramienta para el mantenimiento predictivo (Predictive Maintenance toolbox), de la cual se hace uso de la aplicación Diagnostic Feature Designer (DFD). La aplicación permite realizar tareas de procesamiento como filtrar, promediar e interpolar las señales, cuando están en el dominio del tiempo. Además de poder traspasar el sistema al dominio de frecuencias, por medio del espectro de potencia (Power spectre).

Tabla 29 Comparación de condición. Buena condición (Verde), condición de gradada (Rojo).

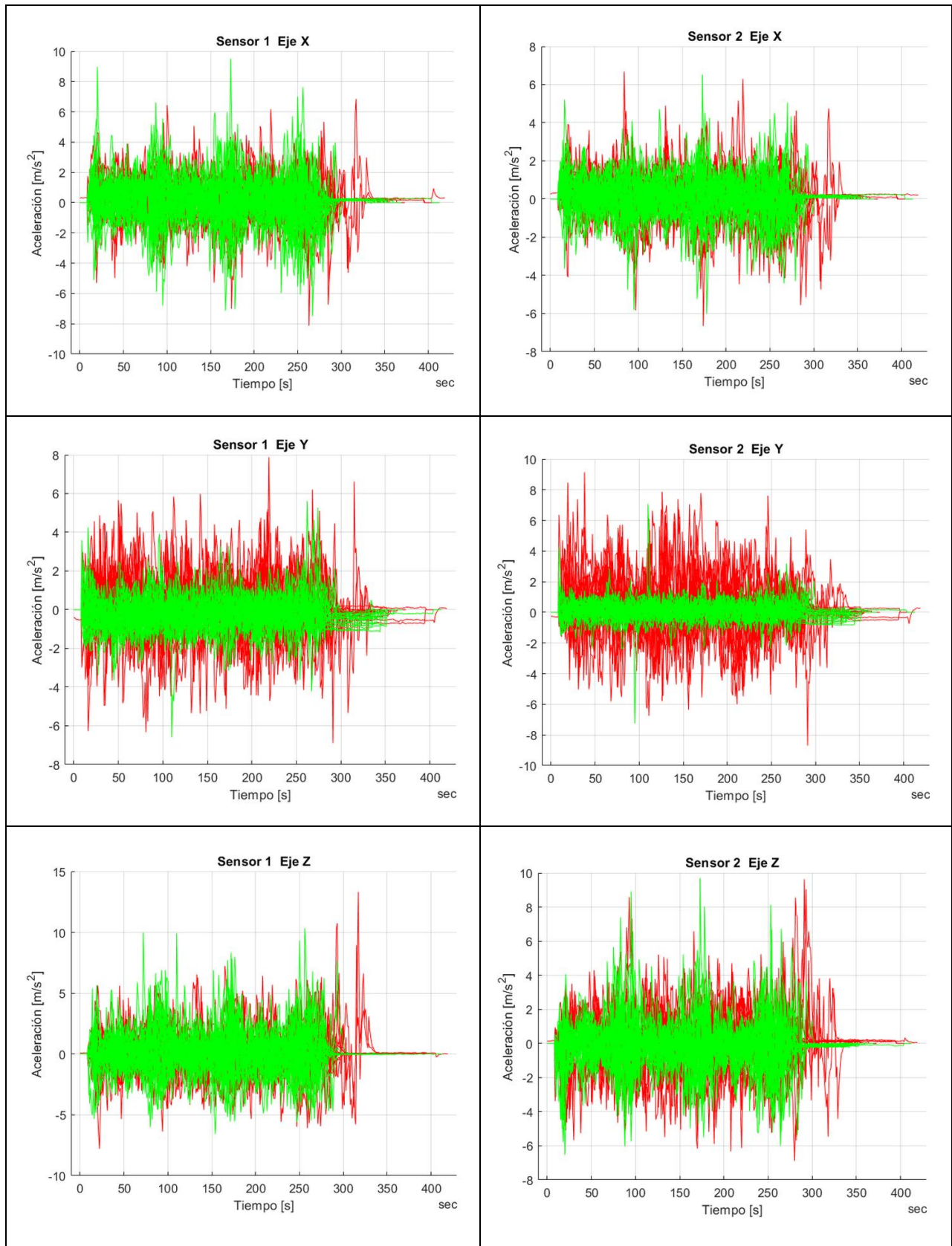
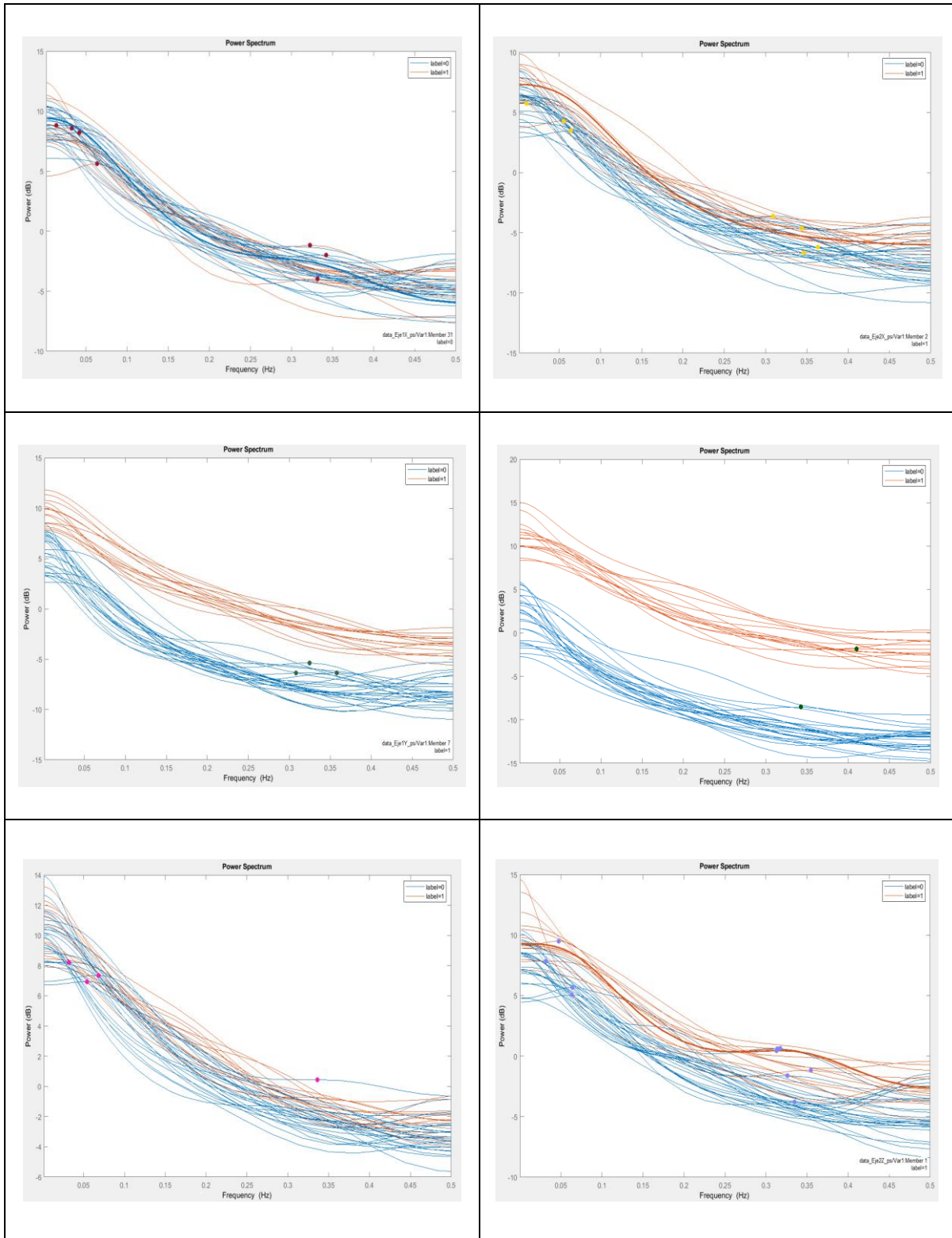


Tabla 30 Señales en el espectro de potencia (Azul = buena condición, Anaranjado = condición degradada)



La tabla anterior agrupa las señales en el dominio de las frecuencias al usar la transformación del espectro de potencia, la columna izquierda corresponde a las señales del sensor 1 (X, Y, Z respectivamente), y la columna de la derecha corresponde al sensor 2.

Las señales de las gráficas de en el espectro de potencia, se aprecia que para el sensor 1 la señal del eje Y es la única con una clara diferencia entre condición, mientras que para el sensor 2 se tienen las señales del eje Y y del eje Z.

### 8.3 Indicadores de Condición

Un indicador de condición es cualquier característica de un sistema de datos cuyo comportamiento cambia de manera predecible, mientras el sistema se degrada o se comporta de algún modo distinto. Los indicadores de condición son cualquier característica que sea útil para distinguir una operación normal de una degradada (o fallas), identificar tendencias en el desempeño de un sistema, con el fin de desarrollar algoritmos para el mantenimiento predictivo.

Los indicadores se pueden obtener usando cualquier tipo de procesamiento de señales, incluyendo los que están en el dominio del tiempo y/o dominio de frecuencias.

La siguiente tabla es tomada de la documentación de Matlab, donde se muestra un breve resumen de los tipos de características (Indicadores de condición) que se pueden emplear con la herramienta de mantenimiento predictivo.

Tabla 31 Indicadores de condición de acuerdo a Matlab

<b>Indicadores de Condición</b>		
<b>Dominio del Tiempo</b>	<b>Dominio de Frecuencias</b>	<b>Dominio Tiempo-Frecuencia</b>
Mean	Power Bandwidth	Spectral Entropy
Estándar Deviation	Mean Frequency	Spectral Kurtosis
Skewness	Peak Values	Conditional Spectral Moment
Kurtosis	Peak Frequencies	Conditional Temporal Moment
Root Mean Square	Harmonics	Joint Time-Frequency Moment
...	...	...

#### 8.3.1 Extracción de características

Para este proyecto, se emplearán todas las características que permita la aplicación DFD, con el objetivo de conocer que características son viables para usar en el modelo de entrenamiento. Este proceso se puede realizar con la información en conjunto de los tres ejes (X, Y, Z) del sensor 1 y 2, pero al realizar el análisis variable por variable, permite aclarar que información es viable para diferenciar entre la condición de las bicicletas.

La aplicación DFD permitió emplear 16 indicadores de condición sin obtener errores.

- |                    |                 |               |
|--------------------|-----------------|---------------|
| 1. ClearanceFactor | 7. RMS          | 13. THD       |
| 2. CrestFactor     | 8. SINAD        | 14. PeakAmp1  |
| 3. Impulse         | 9. SNR          | 15. PeakFreq1 |
| 4. Kurtosis        | 10. ShapeFactor | 16. BandPower |
| 5. Mean            | 11. Skewness    |               |
| 6. PeakValue       | 12. Std         |               |

La aplicación entrega un primer resultado en forma gráfica (histograma), que muestra la separación de las condiciones del sistema (buena condición y condición degradada).

El histograma se interpreta al observar el empalme de las condiciones, mientras menos empalme, significa que dicha característica logra separar el estado de condición de las bicicletas. Por ejemplo, la característica PeakFreq1 no es buena opción para ser elegida y trabajar sobre ella, en cambio la característica ShapeFactor de forma visual se logra diferenciar entre los estados (0 y 1) utilizados en el programa, permitiéndole ser una excelente opción para seguir trabajando en ella, y ser usada en el modelo de entrenamiento.

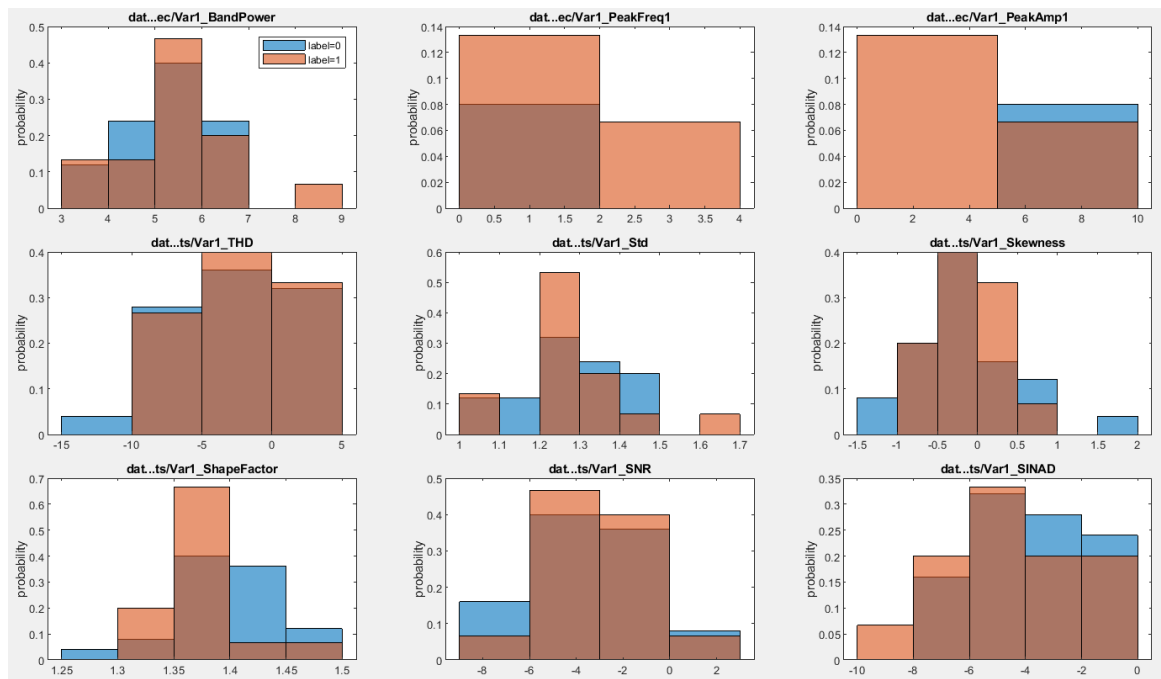


Figura 42 Histograma de características del sensor 1 en el eje X

El histograma no es el único factor para conocer que característica logra distinguir mejor los estados del sistema. También se tiene el valor **KS statistic** (prueba para corroborar la bondad de ajuste), el resultado obtenido se encuentra en el rango de 0 a 1. Donde mientras el valor este más cercano al 1 significa que se logra diferenciar entre las condiciones, en

términos del histograma sería que los contenedores no se mezclan (1=completa separación, 0= nula separación).

Para conocer si las características presentan modificaciones al cambio, se aumenta o disminuye el ancho del contenedor (resolución). En este caso el valor automático utilizado por la aplicación DFD es de 0.1, este se disminuyó a 0.05. Al aumentar la resolución se busca conocer la “robustes” de las características.

Tabla 32 Valor KS para el sensor 1

Característica	Eje X		Eje Y		Eje Z	
	Ks=auto	Ks=0.05	Ks=auto	Ks=0.05	Ks=auto	Ks=0.05
Clearance Factor	0.2267	0.2267	0.4667	0.4667	0.3467	0.3467
Crest Factor	0.1467	0.1467	0.2400	0.2400	0.2667	0.2667
Impulse Factor	0.2267	0.2267	0.3867	0.3867	0.2667	0.2667
Kurtosis	0.2933	0.2933	0.3467	0.3467	0.3333	0.3333
Mean	0.1467	0.1467	0.7733	0.7733	0.3200	0.3200
Peak value	0.3333	0.3333	0.8400	0.8400	0.2400	0.2400
RMS	0.2267	0.2267	1.0000	1.0000	0.4400	0.4400
SINAD	0.1867	0.1867	0.1733	0.1733	0.3067	0.3067
SNR	0.1733	0.1733	0.2000	0.2000	0.3733	0.3733
Shape Factor	0.5200	0.5200	0.6800	0.6800	0.5200	0.5200
Skewness	0.1733	0.1733	0.3600	0.3600	0.2933	0.2933
Std	0.2400	0.2400	1.0000	1.0000	0.4533	0.4533
THD	0.2000	0.2000	0.1200	0.1200	0.2133	0.2133
PeakAmp1	0.6667	0.6667	0.4667	0.4667	0.3467	0.3467
PeakFrep1	0.6667	0.6667	0.4667	0.4667	0.3467	0.3467
BandPower	0.2267	0.2267	1.0000	1.0000	0.4400	0.4400

Tabla 33 Valor KS para el sensor 2

Característica	Eje X		Eje Y		Eje Z	
	Ks=auto	Ks=0.05	Ks=auto	Ks=0.05	Ks=auto	Ks=0.05
Clearance Factor	0.1733	0.1733	0.4667	0.4667	0.6400	0.6400
Crest Factor	0.2000	0.2000	0.2667	0.2667	0.5333	0.5333
Impulse Factor	0.1867	0.1867	0.3333	0.3333	0.6133	0.6133
Kurtosis	0.1733	0.1733	0.2933	0.2933	0.6800	0.6800
Mean	0.1733	0.1733	0.7333	0.7333	0.5600	0.5600
Peak value	0.3200	0.3200	0.9200	0.9200	0.2267	0.2267
RMS	0.7200	0.7200	1.0000	1.0000	0.8800	0.8800
SINAD	0.1867	0.1867	0.1467	0.1467	0.2933	0.2933
SNR	0.1467	0.1467	0.1733	0.1733	0.3067	0.3067
Shape Factor	0.3733	0.3733	0.6800	0.6800	0.7733	0.7733
Skewness	0.2267	0.2267	0.2533	0.2533	0.2800	0.2800
Std	0.7200	0.7200	1.0000	1.0000	0.8800	0.8800
THD	0.1800	0.1800	0.3067	0.3067	0.2400	0.2400
PeakAmp1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.5000	0.5000
PeakFrep1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.5000	0.5000
BandPower	0.7600	0.7600	1.0000	1.0000	0.8800	0.8800

Las características resaltadas en gris, son aquellas que tienen una probabilidad mayor al 50% de separar la condición de las bicicletas. Los dos sensores en la variable del eje Y, tiene el mayor número de características con una probabilidad cercana al 100% de diferenciar las condiciones.

El sensor 2 provee más información que el sensor 1, esto se aprecia porque el sensor 1 tiene pocas características de las cuales se puede inferir alguna diferencia útil en cuando a los ejes X y Z. También se conserva una similitud de las características entre el sensor 1 y 2, sobre el eje Y.

Las características en común son:

- Mean
- Peak value
- RMS
- Shape Factor
- STD
- BandPower

### 8.3.2 Ranquin de características

Filtrar o seleccionar las características que tienen un mejor desempeño, es un paso necesario para disminuir la carga de trabajo computacional en los pasos posteriores para el diseño de algoritmos en mantenimiento predictivo.

La aplicación DFD cuenta con cinco técnicas de ranqueo para sistemas con 2 tipos de condiciones, y dos técnicas para sistemas con múltiples condiciones. Para este trabajo se utilizan las tres técnicas con un ranqueo similar visualmente.

- **T-Test:** Compara el valor medio real de una muestra de datos contra el valor medio específico.
- **Bhattacharyya:** Compara la distancia entre dos conjuntos de datos (separados entre dos condiciones). Entrega una distancia para ranquear características según su habilidad de separar las dos clases de datos (buena condición y condición degradada). Se asume que los datos tienen una distribución gaussiana.
- **Entropy (approximateEntropy):** Es una medida de regularidad para cuantificar la complejidad dentro de series en el tiempo (tablas en el tiempo). La habilidad de discernir entre los niveles de complejidad en un conjunto de datos es útil en el campo de la ingeniería, para estimar fallas en componentes a través del estudio tales como sus vibraciones o señales acústicas. [15]

La aplicación entrega los resultados de dos formas, una gráfica de barras normalizada a 1 para que la comparación visual entre los distintos indicadores de condición. Además de enlistar las características en una tabla. Esta tabla se puede ordenar según la técnica de ranqueo deseada, para este caso; se ordenan con base en la técnica T-TEST.

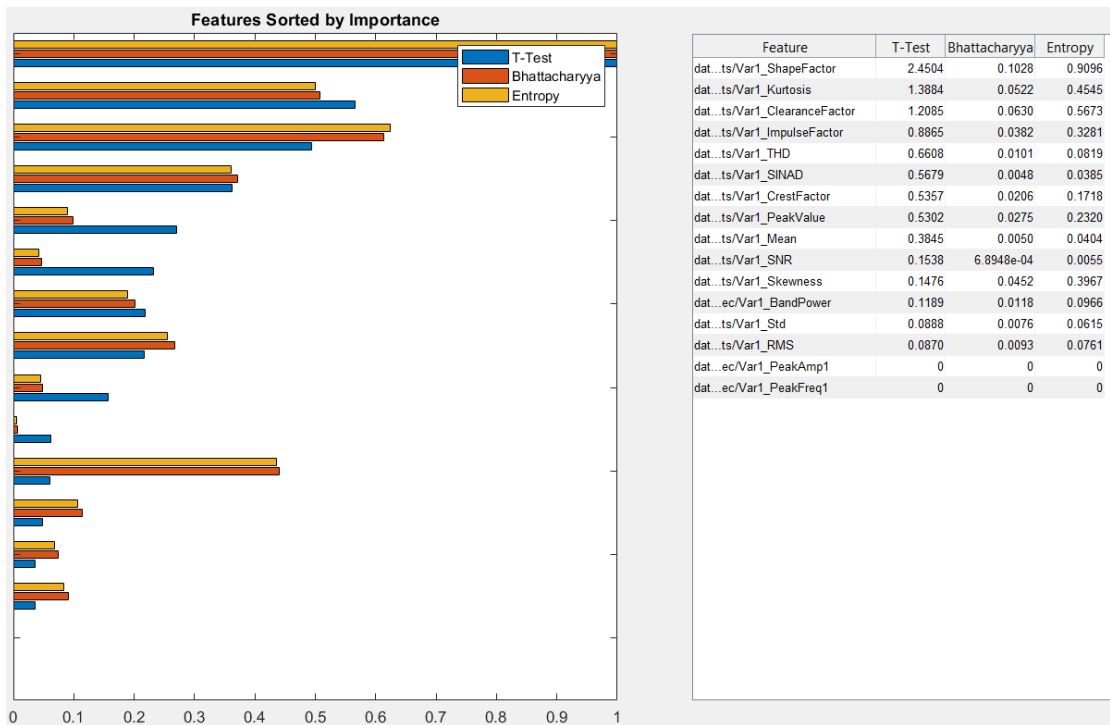


Figura 43 Ranquin de las características para el sensor 1 en el eje X

Tabla 34 Ranquin de características del sensor 1 señal del eje X

<i>Característica</i>	<i>Sensor 1 Eje X</i>		
	<b>T-TEST</b>	<b>Bhattacharyya</b>	<b>Entropy</b>
<i>Shape Factor</i>	2.4504	0.1028	0.9096
<i>Kurtosis</i>	1.3884	0.0522	0.4545
<i>Clearance Factor</i>	1.2085	0.0630	0.4673
<i>Impulse Factor</i>	0.8865	0.0382	0.3281
<i>THD</i>	0.6608	0.0101	0.0819
<i>SINAD</i>	0.5679	0.0048	0.0385
<i>Crest Factor</i>	0.5357	0.0206	0.1718
<i>Peak value</i>	0.5302	0.0275	0.2320
<i>Mean</i>	0.3845	0.0050	0.0404
<i>SNR</i>	0.1538	6.8948e-04	0.0055
<i>Skewness</i>	0.1476	0.0452	0.3967
<i>BandPower</i>	0.1189	0.0118	0.0966
<i>Std</i>	0.0888	0.0076	0.0615
<i>RMS</i>	0.0870	0.0093	0.0761
<i>PeakAmp1</i>	0.0000	0.0000	0.0000
<i>PeakFrep1</i>	0.0000	0.0000	0.0000



Tabla 35 Ranquin de características del sensor 1 señal del eje Y

<i>Característica</i>	<i>Sensor 1 Eje Y</i>		
	<b>T-TEST</b>	<b>Bhattacharyya</b>	<b>Entropy</b>
<i>Std</i>	15.5514	3.5792	33.7069
<i>RMS</i>	14.9763	3.3486	32.3399
<i>BandPower</i>	12.1384	2.6042	54.5216
<i>Peak value</i>	7.2448	0.6719	5.7541
<i>Mean</i>	6.2813	0.6382	6.2850
<i>Shape Factor</i>	5.4760	0.3907	3.3173
<i>Skewness</i>	1.6203	0.1550	1.6937
<i>Kurtosis</i>	1.4946	0.2355	3.1087
<i>Clearance Factor</i>	1.4478	0.0570	0.5000
<i>Impulse Factor</i>	0.4861	0.0447	0.3915
<i>Crest Factor</i>	0.3784	0.0365	0.3146
<i>SINAD</i>	0.3687	0.0041	0.0330
<i>SNR</i>	0.2417	0.0020	0.0161
<i>THD</i>	0.1101	0.0267	0.2250
<i>PeakAmp1</i>	0.0000	0.0000	0.0000
<i>PeakFrep1</i>	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 36 Ranquin de características del sensor 1 señal del eje Z

<i>Característica</i>	<i>Sensor 1 Eje Z</i>		
	<b>T-TEST</b>	<b>Bhattacharyya</b>	<b>Entropy</b>
<i>Std</i>	2.7868	0.1029	0.8246
<i>RMS</i>	2.7456	0.1007	0.8143
<i>BandPower</i>	2.6816	0.0954	0.7637
<i>SNR</i>	2.1228	0.0662	0.5481
<i>SINAD</i>	1.6697	0.0371	0.2972
<i>Shape Factor</i>	1.6661	0.0611	0.5252
<i>Clearance Factor</i>	0.8578	0.0658	0.5995
<i>Skewness</i>	0.7329	0.0072	0.0574
<i>Mean</i>	0.6966	0.0383	0.3303
<i>Peak value</i>	0.6221	0.0441	0.3856
<i>THD</i>	0.5445	0.0400	0.3470
<i>Impulse Factor</i>	0.4908	0.0687	0.6324
<i>Kurtosis</i>	0.4265	0.0630	0.5733
<i>Crest Factor</i>	0.3488	0.0612	0.5542
<i>PeakAmp1</i>	0.0000	0.0000	0.0000
<i>PeakFrep1</i>	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 37 Ranquin de características del sensor 2 señal del eje X

<i>Característica</i>	<i>Sensor 2 Eje X</i>		
	<b>T-TEST</b>	<b>Bhattacharyya</b>	<b>Entropy</b>
<i>Std</i>	4.5177	0.3503	3.3694
<i>RMS</i>	4.3881	0.3285	3.1156
<i>BandPower</i>	4.2489	0.3659	4.0540
<i>Shape Factor</i>	2.3203	0.0819	0.6733
<i>Peak value</i>	1.8238	0.0456	0.3661
<i>Kurtosis</i>	0.8209	0.0311	0.2632
<i>SINAD</i>	0.3953	0.0090	0.0736
<i>Mean</i>	0.3620	0.0164	0.1355
<i>SNR</i>	0.3165	0.0021	0.0169
<i>Skewness</i>	0.3102	0.0031	0.0250
<i>Clearance Factor</i>	0.3069	0.0030	0.0240
<i>Impulse Factor</i>	0.2241	0.0079	0.0642
<i>Crest Factor</i>	0.1295	0.0064	0.0519
<i>THD</i>	0.0773	3.1727e-04	0.0025
<i>PeakAmp1</i>	0.0000	0.0000	0.0000
<i>PeakFrep1</i>	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 38 Ranquin de características del sensor 2 señal del eje Y

<i>Característica</i>	<i>Sensor 2 Eje Y</i>		
	<b>T-TEST</b>	<b>Bhattacharyya</b>	<b>Entropy</b>
<i>Std</i>	18.3005	5.4822	94.6679
<i>RMS</i>	17.8462	5.2540	95.6380
<i>BandPower</i>	11.4456	2.9259	392.5148
<i>Peak value</i>	10.4377	1.3670	12.0178
<i>Mean</i>	4.6594	0.3926	4.0327
<i>Shape Factor</i>	3.8906	0.3579	5.1854
<i>Kurtosis</i>	1.3852	0.8685	62.3565
<i>Crest Factor</i>	1.3603	0.2994	4.6038
<i>THD</i>	1.0755	0.0155	0.1238
<i>Impulse Factor</i>	0.8054	0.3304	5.4955
<i>SNR</i>	0.3643	0.0023	0.0187
<i>SINAD</i>	0.1868	0.0015	0.0123
<i>Clearance Factor</i>	0.1765	0.3141	5.0244
<i>Skewness</i>	0.1356	0.2353	3.1258
<i>PeakAmp1</i>	0.0000	0.0000	0.0000
<i>PeakFrep1</i>	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 39 Ranquin de características del sensor 2 señal del eje Z

<i>Característica</i>	<i>Sensor 2 Eje Z</i>		
	<b>T-TEST</b>	<b>Bhattacharyya</b>	<b>Entropy</b>
<i>Std</i>	9.0679	1.1533	9.5281
<i>RMS</i>	8.8985	1.1146	9.2436
<i>BandPower</i>	8.4552	1.1129	11.0120
<i>Shape Factor</i>	4.2858	0.2691	2.2502
<i>Mean</i>	3.6394	0.1759	1.4428
<i>Clearance Factor</i>	3.4672	0.1587	1.2789
<i>Kurtosis</i>	3.4395	0.1610	1.2930
<i>Impulse Factor</i>	3.3849	0.1515	1.2149
<i>Crest Factor</i>	3.2038	0.1361	1.1009
<i>SINAD</i>	1.5212	0.0699	0.6296
<i>SNR</i>	1.3773	0.0561	0.4933
<i>Peak value</i>	0.8223	0.0091	0.0728
<i>Skewness</i>	0.2163	0.0156	0.1291
<i>THD</i>	0.0327	0.0159	0.1313
<i>PeakAmp1</i>	0.0000	0.0000	0.0000
<i>PeakFrep1</i>	0.0000	0.0000	0.0000

Tabla 40 Ranquin de las cinco mejores características

<b>Sensor1 Eje X</b>	<b>Sensor2 Eje X</b>	<b>Sensor1 Eje Y</b>	<b>Sensor2 Eje Y</b>	<b>Sensor1 Eje Z</b>	<b>Sensor2 Eje Z</b>
Shape Factor	Std	Std	Std	Std	Std
Kurtosis	RMS	RMS	RMS	RMS	RMS
Clearance Factor	BandPower	BandPower	BandPower	BandPower	BandPower
Impulse Factor	Shape Factor	Peak value	Peak value	SNR	Shape Factor
THD	Peak value	Mean	Mean	SINAD	Mean

Es posible observar que las características pertenecientes al espectro de potencia solo es útil usar la potencia (BandPower), mientras las otras dos no son aptas para el análisis de condición de las bicicletas.

Con este último análisis obtenido a través de la aplicación DFD de MATLAB, se puede descartar la señal del eje X del sensor1, por ser la señal que brida la menor cantidad de información útil, para el diseño de algoritmos de mantenimiento predictivo. En cuanto a la variable del eje X en el sensor2, a pesar de tener valores bajos, tres de sus más altas características son las mismas encontradas para el resto de las señales, por lo que su uso aún esta en discusión. Las características del sensor 1 y 2 en el eje Y, son las mismas y en el mismo orden del ranquin. Esto se observa a través de la Tabla 40, que enlista las cinco

características con el mejor desempeño para diferenciar los estados de condición de las bicicletas.

A continuación, se muestra que significa cada indicador de condición o características encontradas.

**Mean:** Entrega el promedio o la media de un arreglo.

**Shape Factor:** Se obtiene de dividir el valor de RMS entre el valor absoluto de la media (mean). Es un valor dependiente de la forma de la señal, mientras es independiente de la dimensión de la señal.

$$x_{SF} = \frac{x_{rms}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i|}$$

**Peak value:** Obtiene el valor máximo absoluto de la señal leída.

$$x_p = \max_i |x_i|$$

**Std (Desviación estándar):** Es la desviación estándar de datos en series de tiempo. Este método estadístico, es empleado para comparar poblaciones, que en este caso es la población en buena condición y mala condición, por medio de cuanto se alejan de su promedio, es decir, ambas poblaciones pueden tener el mismo valor promedio, pero con el STD se sabe el rango o distancia de un valor respecto a su promedio.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

**Root Mean Square (RMS):** Empleada para indicar el estado general en cajas de cambios, (Característica para maquinas rotatorias), es sensible a los cambios en la carga y la velocidad. También es útil para detectar elementos rotatorios desbalanceados. Donde un incremento en su valor puede indicar un incremento en el nivel o cantidad de vibraciones, que significa una probable presencia de defectos o fallas.

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}}$$

**BandPower:** Entrega el promedio de la potencia de banda en el dominio de la frecuencia. Ayuda a saber el cambio o la distribución de la potencia (energía) a lo largo del tiempo.

Parámetros como el valor mínimo, valor máximo, varianza, desviación estándar, o la raíz del promedio al cuadrado (RMS), ShapeFactor, son llamados parámetros dimensionales y son relacionados con las condiciones de operación.

Al observar el cambio de los indicadores de condición encontradas servirán para conocer el momento en que la bicicleta en estado nominal (buena condición) salga de este rango indicando que existen fallas o degradación general en la bicicleta (condición deteriorada).

## 9 Trabajo a futuro

Líneas de investigación complementarias para el desarrollo al 100% de un dispositivo para determinar los tiempos de mantenimiento de las bicicletas del sistema bicipuma considerando el internet de las cosas.

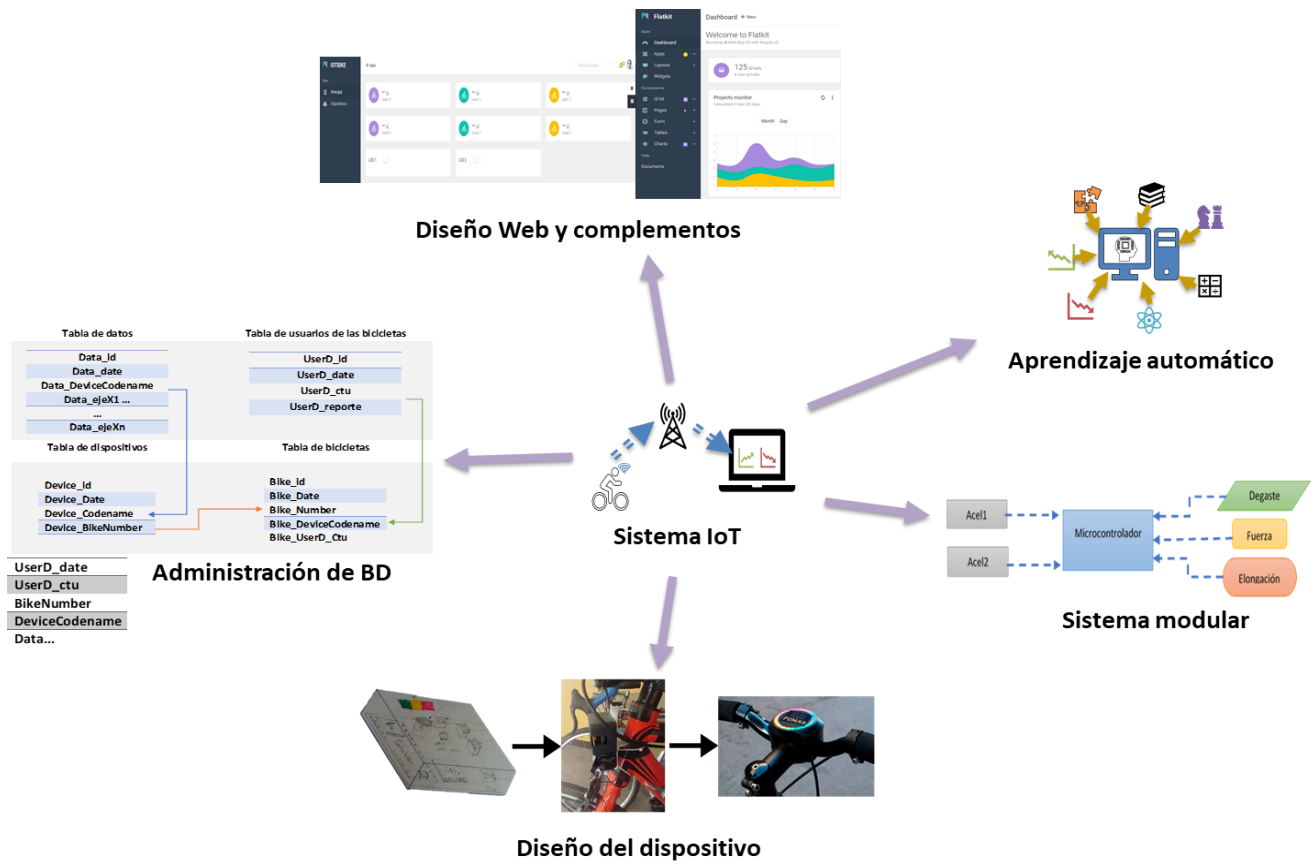


Figura 44 Líneas de investigación

### 9.1 Desarrollo en la página web y sus complementos.

La forma en que se despliega la información hacia el usuario, es necesario que sea fácil y rápida de interpretar. En este punto es mostrar la información ordenada y filtrada que proviene de las bicicletas y va hacia la base de datos, de la base de datos a los programas encargados de analizar la información y obtener una conjetura de la situación de la condición de las bicicletas, que de nueva cuenta se envía a la base de datos.

Dentro de esta perspectiva también es necesario el desarrollo de la interfaz de usuario (UI UX). El tamaño de los botones, la combinación de colores, el tipo de fuente, así como las distintas gráficas. Si la información mostrada es un reporte del día, o si también es información corriendo en tiempo real. Así como la gestión de seguridad informática.

## 9.2 Diseño del dispositivo

Al principio de este trabajo se abordó el diseño del dispositivo, pero al no ser prescindible, para los objetivos de proyecto, solo se llegó al planteamiento inicial. Donde se contempló el uso de los componentes, y se estableció los lugares idóneos para colocar el dispositivo. También es necesario tomar en cuenta que, con el segundo acelerómetro para la zona anterior de la bicicleta, son partes a considerar para el desarrollo adecuado del dispositivo al modelo de bicicleta que usara bicipuma.

Por último, pero no menos importante, es visualizar que el cable de datos necesita ser instalado internamente en el chasis, para evitar daños durante la operación de la bicicleta.

La siguiente imagen muestra una secuencia de la idea inicial del dispositivo, después se encuentra al dispositivo realizado para los experimentos (prototipo funcional) y por último se encuentra la idealización de lo que podría ser el dispositivo final, claro que este colocado en el área en que se usó para los experimentos.



Figura 45 Esquema del diseño del dispositivo

## 9.3 Manejo de base de datos

Al relacionar las diversas tablas que se pueden crear en una base de datos, se puede obtener información útil.

En esta sección se plantean tablas para ordenar y manejar la información, de todo lo relacionado con el sistema de bicipuma. La tabla de datos se encarga de almacenar la información que adquieren los dispositivos (fechas, aceleraciones, código del dispositivo) e información que los propios gestores de la bicipuma ingresen. La tabla de usuarios de las bicicletas es donde se encuentran los usuarios registrados y que pueden hacer uso de las bicicletas. Mientras que la tabla de dispositivos tiene la información como su número de serie y la bicicleta que está ligada a ese dispositivo. La tabla de bicicletas tiene registrado el número de serie de la bicicleta, y la relación de que dispositivo tiene montado.

Las tablas consultas son tablas que se crean al momento de solicitar información de diferentes tablas y que se muestre en una sola tabla. Este ejemplo de tabla de consulta

(Tabla 42), tiene el objetivo de conocer que usuario utilizó la bicicleta con el código XX, que tiene asignado el dispositivo YY, además de conocer los datos referentes de los sensores, las fechas en que se usó la bicicleta.

Tabla 41 Tablas para base de datos

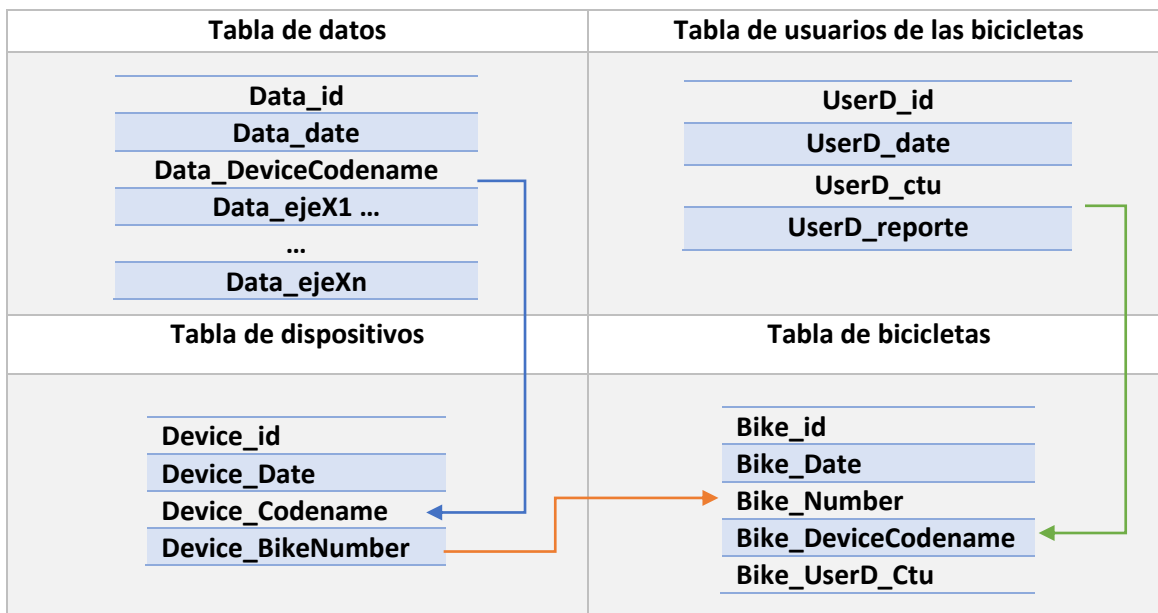


Tabla 42 Tabla consulta

UserD_date
UserD_ctu
BikeNumber
DeviceCodename
Data...

### 9.4 Inteligencia Artificial

La IA (inteligencia artificial), es una parte importante dentro del IoT, para el almacenamiento, gestión, análisis y procesamiento de grandes cantidades de datos que por sí solos no son de utilidad, sin la correcta interpretación. Aquí es donde el aprendizaje automático o machine learning entra en juego, para suplantar al humano, como ente que aprende continuamente con base en la experiencia. Lo que da pauta a conocer patrones de comportamiento para realizar predicciones de sucesos claves en cierto sistema. Específicamente se usará para implementar algoritmos (modelos de entrenamiento) en línea para el mantenimiento predictivo. Al emplear los indicadores de condición con mejor



desempeño para diferenciar entre los dos estados de las bicicletas o incluso hasta para diferenciar el deterioro progresivo de las bicicletas.

De los diversos algoritmos en machine learning, habrá una gran cantidad de ellos con excelente desempeño en el objetivo de conocer el estado de las bicicletas, pero aún está la interrogante para conocer que algoritmo consumirá la menor cantidad de recursos computacionales sin perder eficacia. Además de contemplar la ejecución del programa continuamente dentro del servidor.

## 9.5 Sistema modular

Durante el trabajo se comenta que hay más variables de interés como la elongación en los eslabones de la cadena, el desgaste de las gomas de los frenos y también la fuerza aplicada sobre los pedales. Dada la estructura del sistema con el internet de las cosas, el adjuntar más datos de otros instrumentos de medición no repercutiría al tránsito de información, quizá solo en el uso de recursos del microcontrolador. La estructura de conocer la diferencia de condición de la bicicleta se adaptaría según la variable, pero conservando la idea principal de notificar al taller cuando una variable supera el valor límite de buena condición y llega a la zona de fallas o deterioro según sea el caso para cada nueva variable.

El dispositivo se volvería un sistema modular, es decir, cada sensor es un nuevo módulo que se activa al conectarlo al dispositivo central, añadiendo nueva información al conjunto de datos enviados al servidor. Al ser un sistema modular, el cambio de los sensores es más sencillo en caso de fallo.

La estructura de datos puede variar de las siguientes formas:

<b>Acelerómetros</b>	S1_ejeX	S1_ejeY	S1_ejeZ	S2_ejeX	S2_ejeY	S1_ejeZ			
<b>Acel+Desgaste</b>	S1_ejeX	S1_ejeY	S1_ejeZ	S2_ejeX	S2_ejeY	S1_ejeZ	Des		
<b>Acel+Desgaste+Fuerza</b>	S1_ejeX	S1_ejeY	S1_ejeZ	S2_ejeX	S2_ejeY	S1_ejeZ	Des	F	
<b>Acel+Des+Fue+Elongación</b>	S1_ejeX	S1_ejeY	S1_ejeZ	S2_ejeX	S2_ejeY	S1_ejeZ	Des	F	E

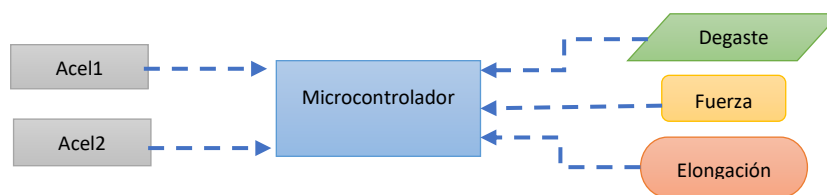


Figura 46 Esquema modular del dispositivo

El contar con más sensores ayuda a saber la condición de las bicicletas, además ayuda a particularizar los tipos de fallas, es decir, poder distinguir si las bicicletas tienen fallos en los pedales, bielas, en la cadena o si los frenos necesitan ser reemplazados.

## 10 Conclusiones

Es posible determinar los tiempos de mantenimiento en las bicicletas, con los pasos planteados en el trabajo, aunque en esta ocasión solo se logró llegar hasta la identificación de los indicadores de condición.

De acuerdo con los resultados obtenidos por las pruebas y posterior análisis de la información con las herramientas de Matlab, se logra conocer y seleccionar los mejores indicadores de condición de las bicicletas. De las seis señales que llegan de los acelerómetros, solo se necesitan cuatro de ellas (Eje Z y Eje Y del sensor 1 y 2), con las cuales distinguir el estado de salud de las bicicletas. También se observa que las señales provenientes del sensor 2 son más limpias que las del sensor 1, esto porque el ruido proveniente de la conducción es más grande en el área del manubrio.

Contar con un tiempo de muestreo menor al actual, ayudará a mejorar a distinguir los estados de salud de la bicicleta, pero también incrementa el ruido de entrada, requiriendo modificar y mejorar el filtro de las señales.

Incrementar la cantidad de pruebas tanto de bicicletas en buena y mala condición ayudará a diferenciar estos dos estados. El almacenar los datos de las bicicletas de forma histórica, es decir, desde un estado de uso cero; hasta que las bicicletas realmente tienen una falla, permitirá hacer pronósticos o predecir el tiempo de vida útil restante (RUL).

Una forma para particularizar las fallas o diferenciar de que sección proviene la falla, es continuar con experimentos que cambien la condición de la bicicleta de forma controlada, así como el experimento donde se cambió la presión del aire en las llantas. Para este tipo de caso es crear diferentes niveles de condición en lugar de solo buena y mala condición. Otra forma para diferenciar los tipos de fallas es observar otras variables como el desgaste de gomas, elongación de la cadena, la fuerza aplicada sobre los pedales para mover la bicicleta.

El desgaste de las gomas y cadena es lento, pero aún es viable usarlo como indicador para su propio cambio y revisión general de las bicicletas.

## 11 Referencias

- [1] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, Fourthquarter 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [2] Armentano, R., Singh Bhadoria, R., Chatterjee, P., & Chandra Deka, G. (2018). *THE INTERNET OF THINGS, Foundation for Smart Cities, eHealth , and Ubiquitous Computing*. CRC Press.
- [3] Ashton K. (2009). That 'Internet of Things' Thing. RFID Journal  
<https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing-3>
- [4] Catargiu, George, Eva-H. Dulf, and Liviu C. Miclea 2020. "Connected Bike-smart IoT-based Cycling Training Solution" *Sensors* 20, no. 5: 1473.  
<https://doi.org/10.3390/s20051473>
- [5] Christensen Claudio (2005) "Presentación Confiabilidad & Disponibilidad".  
<http://docplayer.es/48175563-Presentacion-confiabilidad-disponibilidad-tipos-de-mantenimiento-y-tendencias-clasificacion-del-mantenimiento.html>
- [6] Dirección General de Planeación UNAM. "Cuadernos de Planeación Universitaria Año 2020". <https://www.planeacion.unam.mx/Agenda/2020/pdf/Agenda2020.pdf>
- [7] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo "¿En unidades se miden las vibraciones?". <https://www.insst.es/-/-en-que-unidades-se-miden-las-vibraciones->
- [8] Jones, C. C. (2019). Big Blue Book of bicycle repair. Park Tool Company.
- [9] JÜNÜMANN GARRIDO O. WOLFANG (2007). "Desarrollo de un sistema integrado de mantención" (Tesis). Universidad Austral De Chile, Facultad De Ciencias De La Ingeniería Escuela De Ingeniería Mecánica
- [10] L. D. Xu, W. He and S. Li, "Internet of Things in Industries: A Survey," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 10, no. 4, pp. 2233-2243, Nov. 2014, doi: 10.1109/TII.2014.2300753.
- [11] Mantenimiento Petroquímica "Tipos de mantenimiento"  
<http://www.mantenimientopetroquimica.com/tiposdemantenimiento.html>
- [12] M. Saegusa and K. Katsura, "Development of a smart IoT device for bicyclists," *2017 7th International Conference on Integrated Circuits, Design, and Verification (ICDV)*, 2017, pp. 64-68, doi: 10.1109/ICDV.2017.8188640.

- [13] Nadia Bathaee, Alireza Mohseni, SeJoon Park, J. David Porter & David S. Kim (2018) A cluster analysis approach for differentiating transportation modes using Bluetooth sensor data, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 22:4, 353-364, DOI: 10.1080/15472450.2018.1457444
- [14] NI. (2020). Measuring Vibration with Accelerometers <<https://www.ni.com/es-mx/innovations/white-papers/06/measuring-vibration-with-accelerometers.html> >
- [15] Predictive Maintenance Toolbox  
[https://www.mathworks.com/help/predmaint/?s\\_tid=srchbrcm](https://www.mathworks.com/help/predmaint/?s_tid=srchbrcm)
- [16] Predictive Maintenance Toolbox, Design and test condition monitoring and predictive maintenance algorithms. <https://www.mathworks.com/products/predictive-maintenance.html>
- [17] Predictive Maintenance with MATLAB (ebook)  
<https://www.mathworks.com/content/dam/mathworks/ebook/gated/predictive-maintenance-ebook-all-chapters.pdf>
- [18] Renovetec, "Tipos de mantenimiento"  
<http://www.renovetec.com/tiposdemantenimiento.html>
- [19] Romero Laura. (2019). "Bicipuma, aceptación sin precedentes". *Gaceta UNAM*  
<https://www.gaceta.unam.mx/bicipuma-aceptacion-sin-precedentes/>
- [20] Sánchez Gómez Ana M. (2017). "Técnicas de mantenimiento predictivo. Metodología de aplicación en las organizaciones ". (Tesis) Universidad Católica De Colombia Facultad De Ingeniería
- [21] S. Miah, I. Kaparias, N. Ayub, E. Milonidis and W. Holmes, "Measuring cycle riding comfort in Southampton using an instrumented bicycle," *2019 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*, 2019, pp. 1-8, doi: 10.1109/MTITS.2019.8883328.
- [22] Tanuj Patel, Vinod Vasudevan. (2016). Impact of speed humps of bicyclists, *Safety Science*, V 89, pp 138-146, ISSN 0925-7535,  
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.06.012>.
- [23] T. Ulrich Karl, D. Eppinger Steven. 2013. *Diseño y desarrollo de productos*. Mc.Graw Hill. Alvaro Obregon. Mexico D.F.
- [24] Venkatanarayanan, A., Vijayavel, A., Rajagopal, A. and Nagaradjane, P. (2019), Design of sensor system for air pollution and human vital monitoring for connected cyclists. *IET Communications*, 13: 3181-3186. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1049/iet-com.2019.0148>
- [25] V. Yu Galyom and Ya A. Shchenikov 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 537 032025

## 12 Anexos

### 12.1 Anexo 1

#### Cuestionario Guía

1.- ¿Cuántas bicicletas repara por semana?

110 a 130

2.- ¿Qué tipo de reparaciones son las más comunes?

Ponchaduras y asientos

3.- ¿Cómo calificarías la importancia para mantenimiento de los siguientes componentes? Es decir, cuál tiene más prioridad (LISTA)

1 muy poca de importancia      2 poca importancia      3 media importancia  
4 importante      5 muy importante

4.- ¿Cuál es el grado de dificultad para mantenimiento o reparación para los siguientes componentes? (LISTA)

1 fácil      2 algo fácil      3 moderado      4 difícil      5 complicado

5.- ¿Cómo mide el desgaste de los componentes de las piezas o componentes? (LISTA)

6.- ¿Qué piezas son las de mayor coste cuando se hace mantenimiento o se reemplaza? (LISTA)

Los mecánicos no conocen la información referente a costes.

7.- ¿Cómo hacen el seguimiento del uso de las bicicletas?

Por el número de control y marca. Así mismo por medio de la bitácora de mantenimiento. Los mecánicos entregan un reporte cada tres meses, donde mencionan el número de bicicletas que se atendieron, y el tipo de reparación realizada

8.- ¿Cómo saben cuándo una unidad necesita mantenimiento?

Cada inicio de semestre se realiza una revisión de todas las unidades. Durante el semestre se enteran que la bicicleta necesita otro tipo de mantenimiento cuando realizan las reparaciones habituales de ponchadura de llantas. Las bicicletas con mala condición son reportadas por los estudiantes y/o personal de los módulos.

9.- ¿Qué características o datos serían útiles para poder realizar mantenimiento preventivo en lugar de correctivo? NA

10.- ¿Cuál considera que es el mantenimiento básico para mantener la bicicleta en buen estado por más tiempo?

Cadena, frenos, limpieza y lubricación. (Sin embargo, la limpieza y lubricación se realiza con poca frecuencia)

11.- ¿Qué opina de tener un historial de mantenimiento, reparación personalizada para cada bicicleta? NA

Tabla 43 Respuesta para preguntas 3 y 4 del cuestionario

<b>N°</b>	<b>Partes o Componentes</b>	<b>Q3</b>	<b>Q4</b>
1	Tubo horizontal, vertical y diagonal (cuadro)	1	1
2	Cadena	5	2
3	Bielas	3	3
4	Platos	2	2
5	Pedales	1	2
6	Eje de pedalier	1	2
7	Catarinas	2	2
8	Cables, Fundas y Chicotes	5	2
9	Palancas de frenos	5	2
10	Zapatillas o gomas	5	1
11	Buje/maza	5	2
12	Rayos	5	2
13	Rin/rueda	4	5
14	Llanta	5	2
15	Poste de asiento	1	1
16	Manubrio	1	1
17	Asiento	5	1

## 12.2 Anexo 2

Figura 47 Control de refacciones y reparaciones de bicicletas bicipuma



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
PROGRAMA BICIPUMA  
CONTROL DE REFACCIONES Y REPARACIONES DE BICICLETAS



MARCA	#CONTROL	PARTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ABRAZADERA ESTÁNDAR															
		ABRAZADERA OVER SIZE															
		AJUSTE GENERAL															
		ARO															
		ASENTO															
		BLOQUEOS PARA ASENTOS															
		BRAZO IZQUIERDO															
		BROCHES															
		CADENA															
		CÁMARAS															
		CAMBIO TRASERO CON PATA															
		CAMBIO TRASERO SIN PATA															
		CANELAS															
		CHICOTE DE CAMBIO															
		CHICOTE DE FRENO															
		EJE DE CENTRO															
		FORRO															
		GÓMIGAS O ZAPATAS															
		HORQUILLAS DE FRENO															
		JUEGO DE FRENS															
		LLANTAS															
		MANUBRIO															
		MAZA DELANTERA															
		MAZA TRASERA															
		MULTIPLICACIÓN															
		PALANCA DE CAMBIO															
		PALANCA DE FRENO															
		PARCHES															
		PEDALES															
		POSTE DE ASENTOS ESTÁNDAR															
		POSTE DE ASENTOS OVER SIZE															
		POSTE PARA MANUBRIO															
		POTENCIA															
		PUÑOS															
		RAYOS															
		SPROCK															
		TELESCOPIO ESTÁNDAR															
		TELESCOPIO OVER SIZE															
		TIJERA ESTÁNDAR															
		TIJERA OVER SIZE															
		TORNILLO PARA EJE DE CENTRO															
		PARCHADO DE CÁMARAS															
		ENRAYADO DE RINES															

Fecha:  /  /

Nombre del Técnico: \_\_\_\_\_

Vo.Bo Jefe de Taller:  
Bacilio M. Hernandez Martinez

## 12.3 Anexo 3

### Creación de ensemble para lotBike

Dirección de la carpeta que contiene los archivos CSV referente a los datos de las pruebas.

```
location = 'D:\fcomi\Documents\MAESTRIA\Semestre4\ analisis de
datos\data_set_test';
extension = '.csv';
%Creación del ensemble
ens_bike = fileEnsembleDatastore(location,extension);
```

Configurar la función de lectura (ReadFcn) para ser empleada en el ensemble con "readBikeData"

```
addpath(fullfile(location))
ens_bike.ReadFcn = @readBikeData;
```

Definir los títulos de las **variables de datos**: *data\_Eje1X*, *data\_Eje1Y*, *data\_Eje1Z*, *data\_Eje2X*, *data\_Eje2Y*, *data\_Eje2Z*

```
ens_bike.DataVariables =
["data_Eje1X";"data_Eje1Y";"data_Eje1Z";"data_Eje2X";"data_Eje2Y";"data_Eje2
Z"];
```

Se crean las variables "label y file" para indicar la condición de las bicicletas y el nombre del archivo, respectivamente

```
ens_bike.ConditionVariables = ["label";"file"];
```

Especificar todas las variables de datos e independientes como variables seleccionadas para leer del ensemble.

```
ens_bike.SelectedVariables =
[ens_bike.ConditionVariables;ens_bike.DataVariables];
%fensemble.SelectedVariables = [fensemble.DataVariables];
ens_bike
```

```
ens_bike =
fileEnsembleDatastore with properties:
    ReadFcn: @readBikeData
    WriteToMemberFcn: @writeBikeData
    DataVariables: [6x1 string]
    IndependentVariables: [0x0 string]
```



```

ConditionVariables: [2x1 string]
SelectedVariables: [8x1 string]
    ReadSize: 1
    NumMembers: 40
    LastMemberRead: [0x0 string]
    Files: [40x1 string]

```

Leer los componentes del ensamble uno por uno

```
data1= read(ens_bike)
```

```
data1 = 1x8 table
```

	label	file	data_Eje1X	data_Eje1Y	data_Eje1Z	data_Eje2X	...
1	1	"F05M090PV01"	348x1 timetable	348x1 timetable	348x1 timetable	348x1 timetable	

```
data2= read(ens_bike)
```

```
data2 = 1x8 table
```

	label	file	data_Eje1X	data_Eje1Y	data_Eje1Z	data_Eje2X	...
1	1	"F05M090PV02"	354x1 timetable	354x1 timetable	354x1 timetable	354x1 timetable	

Se seleccionan solo las variables que se van a procesar.

```

reset(ens_bike)
ens_bike.DataVariables =
["data_Eje1X";"data_Eje1Y";"data_Eje1Z";"data_Eje2X";"data_Eje2Y";"data_Eje2Z"];
ens_bike.ConditionVariables = "label";
ens_bike.SelectedVariables =
[ens_bike.ConditionVariables;ens_bike.DataVariables];
data_A = read(ens_bike)

```

```
data_A = 1x7 table
```

	label	data_Eje1X	data_Eje1Y	data_Eje1Z	data_Eje2X	data_Eje2Y	...
1	1	348x1 timetable	348x1 timetable	348x1 timetable	348x1 timetable	348x1 timetable	

Se muestra el ensamble en tabla con todos los miembros de este.

```

reset(ens_bike)
ens_bike.ReadSize =ens_bike.NumMembers; %La propiedad ReadSize permite que
la función read()
% lea los la cantidad de miebros del ensamble (fensemble.NumMembers), para
% que esten contenidos en una sola tabla

```

```
data_B = read(ens_bike)
```

```
data_B = 40x7 table
```

	label	data_Eje1X	data_Eje1Y	data_Eje1Z	data_Eje2X	data_Eje2Y	...
1	1	348x1 timetable	348x1 timetable	348x1 timetable	348x1 timetable	348x1 timetable	
2	1	354x1 timetable	354x1 timetable	354x1 timetable	354x1 timetable	354x1 timetable	
3	1	356x1 timetable	356x1 timetable	356x1 timetable	356x1 timetable	356x1 timetable	
4	1	352x1 timetable	352x1 timetable	352x1 timetable	352x1 timetable	352x1 timetable	
5	1	359x1 timetable	359x1 timetable	359x1 timetable	359x1 timetable	359x1 timetable	
6	1	364x1 timetable	364x1 timetable	364x1 timetable	364x1 timetable	364x1 timetable	
7	1	374x1 timetable	374x1 timetable	374x1 timetable	374x1 timetable	374x1 timetable	
8	1	364x1 timetable	364x1 timetable	364x1 timetable	364x1 timetable	364x1 timetable	
9	1	366x1 timetable	366x1 timetable	366x1 timetable	366x1 timetable	366x1 timetable	
10	1	362x1 timetable	362x1 timetable	362x1 timetable	362x1 timetable	362x1 timetable	
11	1	410x1 timetable	410x1 timetable	410x1 timetable	410x1 timetable	410x1 timetable	
12	1	420x1 timetable	420x1 timetable	420x1 timetable	420x1 timetable	420x1 timetable	
13	1	410x1 timetable	410x1 timetable	410x1 timetable	410x1 timetable	410x1 timetable	
14	1	358x1 timetable	358x1 timetable	358x1 timetable	358x1 timetable	358x1 timetable	
15	1	355x1 timetable	355x1 timetable	355x1 timetable	355x1 timetable	355x1 timetable	
16	0	320x1 timetable	320x1 timetable	320x1 timetable	320x1 timetable	320x1 timetable	
17	0	360x1 timetable	360x1 timetable	360x1 timetable	360x1 timetable	360x1 timetable	
18	0	333x1 timetable	333x1 timetable	333x1 timetable	333x1 timetable	333x1 timetable	
19	0	338x1 timetable	338x1 timetable	338x1 timetable	338x1 timetable	338x1 timetable	
20	0	192x1 timetable	192x1 timetable	192x1 timetable	192x1 timetable	192x1 timetable	
21	0	362x1 timetable	362x1 timetable	362x1 timetable	362x1 timetable	362x1 timetable	
22	0	363x1 timetable	363x1 timetable	363x1 timetable	363x1 timetable	363x1 timetable	
23	0	414x1 timetable	414x1 timetable	414x1 timetable	414x1 timetable	414x1 timetable	
24	0	346x1 timetable	346x1 timetable	346x1 timetable	346x1 timetable	346x1 timetable	
25	0	342x1 timetable	342x1 timetable	342x1 timetable	342x1 timetable	342x1 timetable	
26	0	354x1 timetable	354x1 timetable	354x1 timetable	354x1 timetable	354x1 timetable	
27	0	362x1 timetable	362x1 timetable	362x1 timetable	362x1 timetable	362x1 timetable	
28	0	350x1 timetable	350x1 timetable	350x1 timetable	350x1 timetable	350x1 timetable	
29	0	349x1 timetable	349x1 timetable	349x1 timetable	349x1 timetable	349x1 timetable	
30	0	370x1 timetable	370x1 timetable	370x1 timetable	370x1 timetable	370x1 timetable	
31	0	342x1 timetable	342x1 timetable	342x1 timetable	342x1 timetable	342x1 timetable	
32	0	346x1 timetable	346x1 timetable	346x1 timetable	346x1 timetable	346x1 timetable	
33	0	353x1 timetable	353x1 timetable	353x1 timetable	353x1 timetable	353x1 timetable	
34	0	349x1 timetable	349x1 timetable	349x1 timetable	349x1 timetable	349x1 timetable	
35	0	346x1 timetable	346x1 timetable	346x1 timetable	346x1 timetable	346x1 timetable	
36	0	358x1 timetable	358x1 timetable	358x1 timetable	358x1 timetable	358x1 timetable	
37	0	355x1 timetable	355x1 timetable	355x1 timetable	355x1 timetable	355x1 timetable	
38	0	356x1 timetable	356x1 timetable	356x1 timetable	356x1 timetable	356x1 timetable	
39	0	341x1 timetable	341x1 timetable	341x1 timetable	341x1 timetable	341x1 timetable	
40	0	351x1 timetable	351x1 timetable	351x1 timetable	351x1 timetable	351x1 timetable	

## **Función para leer los archivos CSV de las pruebas.**

```
function data = readBikeData(filename,variables)

    Labels =
    ["data_Eje1X","data_Eje1Y","data_Eje1Z","data_Eje2X","data_Eje2Y","data_Eje2Z"];
    s = csvread(filename,1,2);
    % s = csvread(filename,1,2); % lee la matriz omitiendo la fila 1, columna 1
    hasta la 2
    data = table(); %La matriz se guarda en la variable data

    isLabel = any(strcmp(variables,'label'));
    isFile = any(strcmp(variables,'file'));
    if (isLabel || isFile)
        [~, fname] = fileparts(filename);

        if isLabel
            fname = char(fname);
            switch fname(1:1)
                case 'H' %Buena condición
                    label = 0;
                case 'F' %Mala condición
                    label = 1;
                otherwise
                    label = "Unknown";
            end
            % Add label to the output table
            data.label = label;
            % Remove "label" from the variables list
            variables(strcmp(variables,'label')) = [];
        end

        if isFile
            % Add file to the output table
            data.file = string(fname);
            % Remove "file" from the variables list
            variables(strcmp(variables,'file')) = [];
        end
    end

    for ct = 1:numel(variables) %ct empieza de 1 hasta el última fila
        (variables)
        idx = strcmp(Labels,variables(ct));
        % Aquí se comparan los encabezados de Labels contra lo que se guardo en
        % variables del ensamble, si la comparación es correcta idx=1; caso
        contrario idx=0

        val = {timetable(s(:,idx),'TimeStep',seconds(1))};
        %se guarda en la variable un arreglo de tiempo del mismo tamaño de
        %las filas de las variables de la matriz variables, con saltos dt=1
        val{1}.Time.Format = 's'; %adquiere el formato de segundos
        data.(variables{ct}) = val; %los valores de Val se guardan en
        variables(ct)

    end
end
```