

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ciencias**

**Escuela Profesional de Física Aplicada**

CONSTRUCCIÓN DE UN RUGOSÍMETRO BUMP INTEGRATOR CLASE 3 PARA  
MEDICIÓN DEL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD IRI

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Presentado por:

Bach. Cristian Gilberto Mamani Mamani

Para optar el Título Profesional de:

**LICENCIADO EN FÍSICA APLICADA**

TACNA – PERÚ

2024

ACTA DE SUSTENTACION N° 416

En la ciudad de Tacna, en el auditorium de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, siendo las 11:45 h del día 24 de junio del 2024, estando presente el jurado calificador nombrado por resolución de facultad N° 10950-2024-FACI-UN/JBG conformado por los siguientes docentes:


Dr. Hugo Alfredo Torres Muro                      PRESIDENTE

Dr. Eduardo Rodriguez Delgado                      SECRETARIO

Mgr. Edith Carmen Paredes Choque                      VOCAL

Acto seguido, se dio lectura a la resolución correspondiente y a los artículos del reglamento de grados y títulos para llevar a cabo la presente sustentación. A continuación el señor presidente del jurado calificador insta al señor Bachiller Cristian Gilberto Mamani Mamani a exponer el trabajo de suficiencia profesional titulado “CONSTRUCCION DE UN RUGOSIMETRO BUMP INTEGRATOR CLASE 3 PARA MEDICION DEL INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD IRI” para optar el título profesional de Licenciado en Física Aplicada.

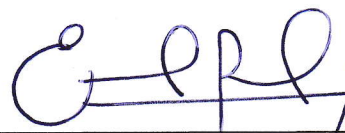
Siendo las 12:15 h, el tesista concluye con su exposición, luego se procede a la formulación de las preguntas por parte del jurado calificador, terminando este proceso a 12:51 h, luego se invito a que los miembros del jurado emitan su calificación de acuerdo a reglamento. El promedio de la calificación dio el siguiente resultado: Aprobado por unanimidad con el calificativo de 17, de acuerdo a reglamento de grados y títulos de la Facultad de Ciencias. Siendo las 13:15 h se dio por concluido el acto de sustentación del trabajo de suficiencia, firmando los señores miembros del jurado calificador en señal de conformidad.



---

Dr. Hugo A. Torres Muro

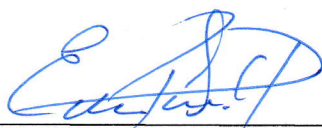
PRESIDENTE



---

Dr. Eduardo Rodriguez Delgado

SECRETARIO



---

Mgr. Edith Paredes Choque

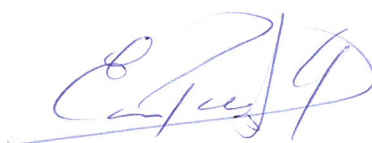
VOCAL

### CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Edith Carmen Paredes Choque en calidad de asesor acreditado con resolución de Facultad Nº 10715-2023-FACI-UN/JBG, en relación con el trabajo de suficiencia titulada "Construcción de un rugosímetro Bump Integrator Clase 3 para medición internacional de Rugosidad IRI", presentado por el bachiller CRISTIAN GILBERTO MAMANI MAMANI para optar el Título Profesional de Licenciado en Física Aplicada.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con un NIVEL DE SIMILITUD de 1%. Por lo que certifico la similaridad del trabajo informe, que está de acuerdo al NIVEL PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del Título Profesional.



MSc. Edith Carmen Paredes Choque

Asesor

## DEDICATORIA

A TI MAMA, EMILIA MAMANI LAQUI POR TU AMOR, CUIDADO Y APOYO HA SIDO FUNDAMENTAL PARA ALCANZAR ESTE LOGRO.

A TI PAPA, GILBERTO MAMANI VILLANUEVA INCLUSO EN TU AUSENCIA, TU LEGADO SIGUE ILUMINANDO MI CAMINO.

A MI HIJA, ASEMI HAMYDE MAMANI CAJAHUAMAN ESPERO SER UN BUEN EJEMPLO PARA TI Y SIEMPRE GUIARTE CON AMOR Y SABIDURIA.

## AGRADECIMIENTO

A MI AMADA ESPOSA MARLENI CAJAHUAMAN FLORES, POR TU ANIMO Y EMPUJE PARA CONTINUAR Y TERMINAR MI TITULACION.

A MIS HERMANOS:

REY, EL PRIMERO Y EJEMPLO DE LA FAMILIA, POR TUS ENSEÑANZAS Y CONSEJOS DE VIDA.

BRAULIO, EN SILENCIO ELEVAS ORACIONES POR MI Y LLEVAS A NUESTRA FAMILIA EN TU CORAZON.

WILFREDO, POR TU CARIÑO SILENCIOSO Y TU ENORME DESPRENDIMIENTO.

YLDA, POR TU GRAN CORAZON Y ENSEÑARME A LLEVAR UNA SONRISA AUN EN LOS PEORES MOMENTOS.

ROSA, POR TU INMENSA AYUDA EN TODOS MIS PROYECTOS, SIN TU APOYO NO PODRIA HABER CULMINADO; POR NUESTRAS LARGAS CONVERSACIONES DE FIN DE SEMANA.

## INDICE

	Pág.
PAGINA DE JURADO.....	ii
CERTIFICADO DE SIMILITUD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
CAPITULO I : ASPECTOS GENERALES .....	5
1.1 Trayectoria Profesional .....	5
1.2 Objetivos.....	9
1.3 Antecedentes .....	10
CAPITULO II : FUNDAMENTO TEORICO .....	13
2.1 Índice Internacional de Rugosidad IRI .....	13
2.2 Cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI).....	14
2.3 Rugosímetro Bump Integrator .....	15
2.4 Métodos de Medición de Rugosidad.....	18
2.5 Adquisición de Datos .....	20
2.6 Sensores, Transductores y Dispositivos Electrónicos .....	21
2.7 Acondicionamiento de Señal .....	22

2.8	Microcontrolador .....	23
2.9	Plataformas de Programación .....	24
CAPITULO III : MATERIALES Y METODOS .....		25
3.1	Método .....	25
3.1.1	Requerimiento .....	25
3.1.2	Diseño.....	26
3.1.3	Implementación .....	26
3.2	Componentes.....	28
CAPITULO IV : PROPUESTA DE DISEÑO .....		30
4.1	Requerimiento de diseño.....	30
4.2	Unidad de Adquisición y Control.....	32
4.2.1	Dispositivo de control (microcontrolador) .....	33
4.2.2	Canal de entrada para sensor mecánico .....	36
4.2.3	Canal de entrada para dispositivo medición distancia .....	37
4.2.4	Dispositivo de Geoposicionamiento .....	38
4.2.5	Dispositivo de ingreso de datos .....	39
4.2.6	Dispositivo de visualización de datos.....	40
4.2.7	Almacenamiento en memoria no volátil.....	41
4.2.8	Puerto de comunicación USB para descarga de datos .....	42
4.2.9	Voltaje de alimentación.....	43
4.2.10	Calculo de diseño alimentación .....	44

4.3	Unidad Medición de Distancia.....	49
4.3.1	Calculo de medición de distancia .....	50
4.4	Diseño unidad mecánica de medición (Bump Integrator).....	51
4.5	Dispositivo de Geoposicionamiento (GPS) .....	54
4.6	Software Embebido, Software Escritorio.....	55
4.6.1	Diseño Software Embebido .....	55
4.6.2	Diseño Software Escritorio.....	58
CAPITULO V : IMPLEMENTACION E INSTALACION .....		60
5.1	Unidad Adquisición de Datos y Control .....	60
5.2	Unidad Mecánica de Medición .....	63
5.3	Dispositivo Medición de Distancia .....	67
5.4	Dispositivo de Geoposicionamiento (GPS) .....	69
5.5	Software Embebido y Software Escritorio.....	70
5.5.1	Software Embebido .....	70
5.5.2	Software Escritorio .....	71
CAPITULO VI : RESULTADOS .....		73
6.1	Procedimiento de validación.....	73
6.2	Resultados .....	80
CONCLUSIONES .....		81
RECOMENDACIONES.....		83
REFERENCIAS.....		84

ANEXOS .....	87
ANEXO A: Hoja de datos sensor encoder serie 600 .....	87
ANEXO B: Hoja de datos Sensor Encoder Serie TRDA.....	88
ANEXO C: Especificaciones técnicas GPS GARMIN 18x.....	89
ANEXO D: Especificaciones microcontrolador ATMEL AT90USB1287.....	90
ANEXO E: Especificaciones electricas memoria 24xx512 .....	91
ANEXO F: Firmware microcontrolador AT90USB1287.....	92

## INDICE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Equipos de medición para carreteras .....	8
Figura 2 Cuadro de valores IRI .....	14
Figura 3 <i>Perfil Longitudinal y Transversal de carretera</i> .....	15
Figura 4 Esquema básico de instalación “ROAD METER” .....	16
Figura 5 Bump Integrator CNS FARNELL .....	17
Figura 6 <i>Bump Integrator MiniROMDAS</i> .....	18
Figura 7 <i>Requerimiento precisión para medición de rugosidad</i> .....	18
Figura 8 <i>Equipos y métodos para medición perfil longitudinal</i> .....	19
Figura 9 <i>Esquema de Adquisición de datos</i> .....	21
Figura 10 <i>Microcontrolador AT90USB1287</i> .....	23
Figura 11 Metodología en cascada .....	25
Figura 12 Esquema del diseño e implementación .....	27
Figura 13 Componentes Rugosímetro Bump Integrator .....	30
Figura 14 Esquema distribución de componentes Adquisidor de datos .....	32
Figura 15 Vista frontal y posterior caja rugosímetro bump integrator .....	33
Figura 16 Circuito eléctrico de microcontrolador AT90USB1287 .....	34
Figura 17 Esquema conexiones del microcontrolador .....	35
Figura 18 Esquema conexión sensor mecánico .....	36
Figura 19 Circuito eléctrico para entrada de sensor mecánico .....	37
Figura 20 Esquema conexión dispositivo medición distancia .....	37

Figura 21	Circuito eléctrico para entrada dispositivo medición distancia .....	38
Figura 22	Esquema conexión GPS con microcontrolador .....	38
Figura 23	Circuito eléctrico GPS .....	39
Figura 24	Circuito eléctrico conexión teclado matricial 4x4 .....	39
Figura 25	Circuito eléctrico conexión pantalla LCD .....	40
Figura 26	Circuito eléctrico memoria 24LC512 protocolo I2C .....	41
Figura 27	Circuito eléctrico protocolo USB en microcontrolador .....	43
Figura 28	Esquema regulador de voltaje en serie.....	43
Figura 29	Circuito de protección de entrada y circuito eléctrico de reguladores.....	45
Figura 30	Esquema general de conexiones del adquisidor de datos .....	46
Figura 31	Circuito eléctrico general - A.....	47
Figura 32	Circuito eléctrico general - B.....	48
Figura 33	Esquema de instalación dispositivo de medición de distancia.....	49
Figura 34	Plano disco de acople, varilla, soporte y acople flexible .....	50
Figura 35	Esquema disco y fleje para sensor bump integrator.....	52
Figura 36	Planos cilindro aluminio para sensor mecánico.....	52
Figura 37	Planos vástago interno cilindro aluminio.....	53
Figura 38	Vista sensor mecánico completo .....	53
Figura 39	Software SNSRXCFG para configurar GPS GARMIN 18x .....	54
Figura 40	Plataforma de desarrollo AVRStudio – Microchip .....	56
Figura 41	Algoritmo general para software embebido.....	57
Figura 42	Algoritmo general para software de escritorio.....	59

Figura 43	Circuito eléctrico impreso PCB .....	60
Figura 44	Enclosure Box para adquisidor de datos .....	61
Figura 45	Adquisidor de datos vista posterior .....	62
Figura 46	Adquisidor de datos vista lateral .....	62
Figura 47	Unidad mecánica del rugosímetro bump integrator .....	63
Figura 48	Unidad mecánica con soporte de fijación .....	63
Figura 49	Modo instalación sensor mecánico .....	64
Figura 50	Instalación sensor mecánico, ubicación en la camioneta .....	65
Figura 51	Instalación sensor mecánico, perforaciones en la camioneta .....	66
Figura 52	Instalación sensor mecánico, fijación .....	66
Figura 53	Disco de aluminio para neumático y pernos separadores .....	67
Figura 54	Varilla guía, soporte y acople flexible .....	67
Figura 55	Instalación dispositivo de medición distancia .....	68
Figura 56	Instalación final dispositivo de medición de distancia .....	68
Figura 57	Instalación dispositivo de geoposicionamiento GPS .....	69
Figura 58	Esquema de mensajes de configuración rugosímetro bump integrator .....	70
Figura 59	Pantalla de inicio software de descarga de datos .....	71
Figura 60	Software de descarga de datos, listado de archivos .....	72
Figura 61	Archivo con datos de medición en formato ".txt" .....	72
Figura 62	Valores de IRI y perfil superficial .....	73
Figura 63	Ecuación de correlación rugosímetro bump integrator .....	74
Figura 64	Marcación punto inicio zona de validación .....	76

Figura 65 Ubicación vehículo punto de inicio .....	76
Figura 66 Vista sector validación .....	77
Figura 67 Punto final de la zona de validación .....	77
Figura 68 Resumen evaluación de datos - validación rugosímetro.....	78
Figura 69 Grafica ecuación de correlación - validación rugosímetro .....	79

## INDICE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Lista de componentes Rugosimetro Bump Integrator .....	29
Tabla 2 Cálculo diámetro y circunferencia neumáticos .....	50
Tabla 3 Cálculo diámetro y circunferencia sensor mecánico .....	54
Tabla 4 Cuadro de configuración GPS GARMIN 18x.....	55
Tabla 5 Criterios de validacion Rugosimetro Bump Integrator .....	75

## ÍNDICE NOMENCLATURA

IRI	Índice Internacional de Rugosidad
DMI	Dispositivo Medición de Distancia
BI	Bump Integrator
IDI	Investigación, Desarrollo e Innovación
ASTM	American Society for Testing and Materials
RTRRMS	Response-Type Road Roughness Measuring Systems
TRRL	Transport and Road Research Laboratory
MERLIN	Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation
DAQ	Data Acquisition
PCI	Peripheral Component Interconnect
PXI	PCI eXtensions for Instrumentation
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
USB	Universal Serial Bus
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
MCU	Microcontrolador
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
PPR	Pulsos por revolución
PCA ROAD METER	Portland Cement Association Meter
DSP	Procesador Digital de Señales
RPM	Revolución por minuto

## RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional describe el procedimiento de fabricar un equipo rugosímetro bump integrator para medir el índice internacional de rugosidad “IRI”, mejorando las características de los equipos presentes en el mercado nacional. Utilizando los mejores componentes eléctricos, sensores y dispositivos electrónicos combinado con el desarrollo de un robusto y preciso software. El equipo fabricado cumple con los requisitos establecidos por normas internacionales, se cumple con los valores recomendados de precisión, resolución, número de sensores, entre otros parámetros. Finalmente, para validar los resultados se establece una ecuación de correlación, utilizando valores reales de IRI versus valores obtenidos con el equipo rugosímetro, los parámetros obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos en las normas internacionales y garantizan los resultados obtenidos.

*Palabras clave* : Rugosímetro bump integrator, índice internacional de rugosidad, ecuación de correlación, rugosidad carretera.

## ABSTRACT

This report describes the procedure to manufacture a bump integrator roughness tester to measure the international roughness index "IRI", updating the characteristics of the equipment present in the national market. Using better electrical components, sensors and electronic devices combined with the development of a robust and accurate software. The equipment manufactured meets the requirements established by international standards, with the recommended values of accuracy, resolution, number of sensors, among other parameters. Finally, to validate the results a correlation equation is established, using real values of IRI versus values obtained with the roughness meter equipment, the parameters obtained are within the limits established by international standards and guarantee the results obtained.

Keywords : bump integrator roughness meter, international roughness index, correlation equation, road roughness.

## INTRODUCCIÓN

En nuestro país se utilizan equipos rugosímetros bump integrator con características y funcionalidades no acordes con las posibilidades que ofrece la electrónica actual. En contra parte los equipos más actualizados tienen costos muy elevados, son fabricados para medir en carreteras con geometría diferente a nuestra red vial nacional. Esta razón motiva a desarrollar y construir un equipo para medir nuestras carreteras, capaz de realizar mediciones confiables y seguras, disminuyendo tiempo y personal para la medición.

En el capítulo I se hace una reseña de la empresa HOB CONSULTORES, se describe los servicios y equipos desarrollados HOB INNOVA. Se presenta un resumen de las funciones, cargos y actividades realizados en la empresa. Se plantean los objetivos y antecedentes del presente informe.

En el capítulo II, se hace una descripción de los equipos rugosímetro bump integrator y también del índice internacional de rugosidad, el banco mundial apoya los proyectos iniciales para establecer un parámetro standard para la medición de la calidad superficial de la carretera.

En el capítulo III, se describe el método de trabajo utilizado y se analiza los requerimientos propuestos por el banco mundial, finalmente se plantea la lista de partes y componentes a utilizar.

En el capítulo IV, se establece los parámetros del diseño eléctrico y mecánico para la fabricación del equipo, se describen componentes electrónicos, cálculos, funcionalidades y planos

de piezas metálicas. Finalmente se plantea el algoritmo para el software de comunicación y control.

En el capítulo V, se muestran los componentes del rugosímetro terminados se describe los pasos para instalación en una camioneta pick-up.

En el capítulo VI, se muestra el procedimiento para determinar una ecuación de correlación para la medición del IRI, así como los cálculos, criterios y tolerancias requeridos por la normativa actual.

## CAPITULO I : ASPECTOS GENERALES

### 1.1 Trayectoria Profesional

#### 1.1.1 Perfil

Egresado de la Escuela Académico Profesional de Física, orientado hacia las metas y objetivos de la organización, aplicando conocimientos tecnológicos para lograr eficiencias y mejoras

#### 1.1.2 Área, cargo y funciones desempeñadas

El trabajo fue desarrollado en el área HOB INNOVA, las funciones desarrolladas son las siguientes:

- Control de Calidad

Supervisar, revisar y ejecutar los servicios de medición de carreteras. Los equipos deben ser verificados, testeados.

- Asistente de Ingeniería

Apoyo en la administración y mantenimiento de los equipos de medición. Generar cuadros de compras de repuestos, cuadros de reparación y/o mantenimiento.

- Investigación, Desarrollo e Innovación (IDI)

Participación en proyectos de desarrollo tecnológico. Programador desarrollador de equipos de medición para carreteras. Mantenimiento y actualización de los equipos existentes.

### 1.1.3 Descripción de la empresa

HOB CONSULTORES es una empresa peruana fundada en 1971, con más de 45 años de trayectoria en proyectos de ingeniería que avalan su desarrollo, seriedad y búsqueda de valor, plasmando de manera indeleble su sello de calidad y prestigio en los múltiples proyectos de Ingeniería, Supervisión e Innovación Tecnológica (HOB INNOVA).

Este profesionalismo, sumado al soporte técnico que nos dan los equipos de ingeniería de última generación con la que contamos, como son los equipos de evaluación de pavimentos, desarrollados por nuestra división HOB INNOVA, nos permite ofrecer un servicio de calidad, cuyo reconocimiento se evidencia en nuestra larga permanencia y vigencia en esta actividad, reconocida por nuestros contratantes del ámbito nacional e internacional.

HOB INNOVA viene desarrollando actividades de investigación, desarrollo e innovación tecnológica en el sector industrial y vial. Ofrece también servicios de medición electrónica de carreteras y mantenimiento de equipos. Los equipos de medición se muestran en la figura 1, los servicios de medición están divididos de acuerdo al tipo de equipos que dispone:

#### ***Perfilómetros.***

Los equipos perfilómetros laser están basados en la medición del perfil longitudinal y/o transversales de las carreteras usando sensores laser, de manera simultáneamente pueden tomar datos de textura.

### ***Video Imágenes.***

Los equipos de video imágenes se dividen en dos categorías: Video Ruta y Video Pavimento.

El equipo Video Ruta toma fotos secuenciales de la carretera para realizar inventario vial (conteo de señales de tráfico, postes de iluminación, postes kilométricos, gibas, rompemuelleres, etc.).

El equipo Video Pavimento, toma fotos secuenciales del asfalto en la carretera para realizar un inventario de fallas (grietas, fisuras, piel de cocodrilo, parches, entre otros).

### ***Deflectómetros.***

Los equipos deflectómetros se utilizan para la medición estructural de la carretera, evaluar los módulos de elásticos de las capas que conforman el pavimento. El equipo genera golpes sobre el asfalto por medio de la caída controlada de un peso.

### ***Georadares.***

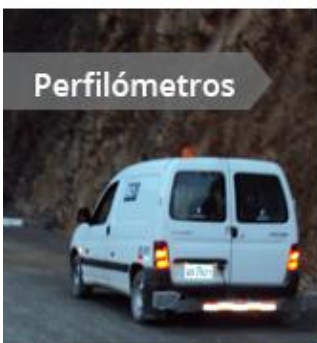
Un georadar es un equipo de penetración a tierra que emplea la emisión de impulsos electromagnéticos que son capaces de detectar diferentes elementos como tuberías, accesorios hidráulicos, conexiones de agua clandestinas, cables enterrados entre otros.

### ***Fricción.***

Los equipos de fricción realizan mediciones de textura de un pavimento para determinar su resistencia al deslizamiento y/o adherencia del neumático.

## Figura 1

### *Equipos de medición para carreteras*



Láser Clase I  
Láser Multi-punto  
Longitudinal Tipo Respuesta



GPR Aéreo  
GPR de contacto



Ruta y Pavimento



Mu Meter



FWD – 50  
HWD – 240  
LWD – HMP  
LWD – KUAB

Fuente: Pagina web HOB INNOVA, equipos y servicios

### 1.1.4 Misión

Brindar las mejores soluciones en ingeniería vial, poniendo a disposición de nuestros clientes conocimiento y tecnología de vanguardia.

### **1.1.5 Visión**

Consolidarnos como la empresa líder y referente en ingeniería en el Perú, exportando nuestra experiencia y tecnología a la región. Fomentando la formación y especialización de expertos en vialidad.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Construir un rugosímetro bump integrator clase 3 para medición del índice internacional de rugosidad IRI

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar y seleccionar componentes para la fabricación del rugosímetro bump integrator electrónico.
- Diseñar e implementar un algoritmo para adquirir, procesar, almacenar, transferir y recibir datos para el cálculo del índice internacional IRI.
- Construir un rugosímetro que cumpla con los estándares internacionales publicados por el Banco Mundial para la medición del índice internacional de rugosidad IRI.
- Evaluar los resultados de la curva de correlación entre el rugosímetro bump integrator versus equipo perfilómetro clase I.

### 1.3 Antecedentes

Existe variada investigación nacional referente al impacto y uso del IRI como valor referencial para control del estado de carreteras, también se dispone de investigaciones nacionales e internacionales referidas a la construcción de dispositivos para la medición de IRI tomando como base los requerimientos del Banco Mundial y/o equipos de carácter industrial.

Deza García, Obeso Alcántara (2018), plantean la construcción de un Rugosímetro MERLIN Digital, siendo una modificación del modelo tradicional para uso continuo, con sensores y dispositivos electrónicos para control y adquisición de datos. Teniendo como resultado un equipo original de desarrollo propio que permite la medición del índice internacional de rugosidad, siendo aplicado a condiciones reales sobre un tramo de la vía de evitamiento en Trujillo a la altura de los kilómetros 557 - 558. Los valores de IRI obtenidos fueron comparados con el IRI de un perfilómetro laser Clase I dando como resultado un margen de error de 2%.

Rodríguez Zelaya (2019), plantean una variante del Rugosímetro MERLIN para uso continuo, implementado de sensores “Desarrollo de metodología para la medición de IRI (International Roughness Index) , mediante el uso de un rugosímetro basado en el MERLIN (Machine Evaluation Roughness using Low Cost Instrumentation), para evaluación de pavimentos flexibles y rígidos en el salvador”. El equipo desarrollado permite medición confiable de IRI en pavimentos flexibles y rígidos, con una precisión dentro del concepto de “equipo de bajo costo” clase 3.

Álvarez Servando, Rafael Rivero (2012), en su trabajo de investigación “Instrumento electrónico para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) con base en el perfilómetro estático MERLIN” ha implementado un Rugosímetro MERLIN tradicional con electrónica. No se varía el diseño ni funcionamiento del instrumento MERLIN, siendo la principal diferencia con los trabajos antes mencionados. Menciona que puede proveer la capacidad de alto almacenamiento de datos de manera confiable, permitiendo al operador realizar ensayos consecutivos durante una jornada laboral.

Laura Hirpahuanca (2016), en su trabajo “Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco-Urcos, usando teléfonos inteligentes y el rugosímetro MERLIN – 2016” establece la relación entre la medición de Índice Internacional de Rugosidad utilizando el Rugosímetro MERLIN versus teléfonos inteligentes. Se determinó una diferencia de 11% de los resultados obtenidos entre la aplicación ROADROID y los obtenidos con el rugosímetro MERLIN, esta diferencia está asociada a la técnica de recolección de datos.

Manco Castillo (2020), presenta su trabajo “Análisis de la variabilidad del índice de rugosidad internacional (IRI) de la carretera baños del inca – Llacanora, utilizando el equipo MERLIN y la aplicación ROADROID en un smartphone”. Este trabajo fue desarrollado en Cajamarca para evaluación de la carretera de acceso a los Baños de Inca donde se observó la variabilidad del IRI entre el ROADROID y el rugosímetro MERLIN, el ROADROID depende mucho de los factores externos como: velocidad de recorrido, tráfico vehicular, número de singularidades, distancia entre singularidades, geometría de la carretera en estudio.

La tesis presentada por Vidal Asencios (2016), “Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco: mediante smartphone y un método tradicional” hace uso también del aplicativo ROADROID y una ecuación de correlación para determinar el IRI de una carretera. Se comprobó que el ROADROID proporciona valores de IRI más parecidos al método tradicional (rugosímetro MERLIN) mientras aumenta la velocidad del vehículo, siendo esta diferencia más notoria a partir de los 18.6 m/s.

## CAPITULO II : FUNDAMENTO TEORICO

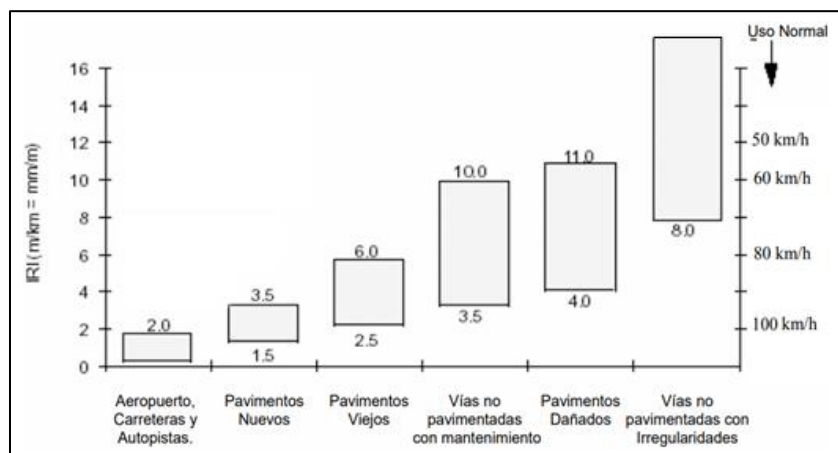
### 2.1 Índice Internacional de Rugosidad IRI

El Índice Internacional de Rugosidad “IRI” es un indicador estadístico de la rugosidad de las carreteras. El IRI fue propuesto por el Banco Mundial en 1986 y sirve como parámetro de referencia de la calidad de rodadura en una carretera.

La norma internacional ASTM E 867 define rugosidad como “desviación de una determinada superficie de pavimento respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo y la calidad al manejar”. Es decir, se plantea una línea recta plana sobre la carretera, las ondulaciones sobre esta línea imaginaria que afectan la conducción de un vehículo representan la rugosidad.

El cálculo matemático del IRI está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior de un vehículo, dividido entre la distancia recorrida sobre una carretera. Sayers et al., (1986b, pp IV).

Posterior al estudio realizado en Brasil se planteó una escala de medición de IRI, que relaciona la calidad de conducción versus el estado general de la superficie de la carretera. Los rangos de IRI son mostrados en la figura 2, y son utilizados para determinar los requerimientos de mantenimiento, reparación o cambio total en carreteras.

**Figura 2***Cuadro de valores IRI*

Fuente: Adaptado de Sayers & Karamihas (1998)

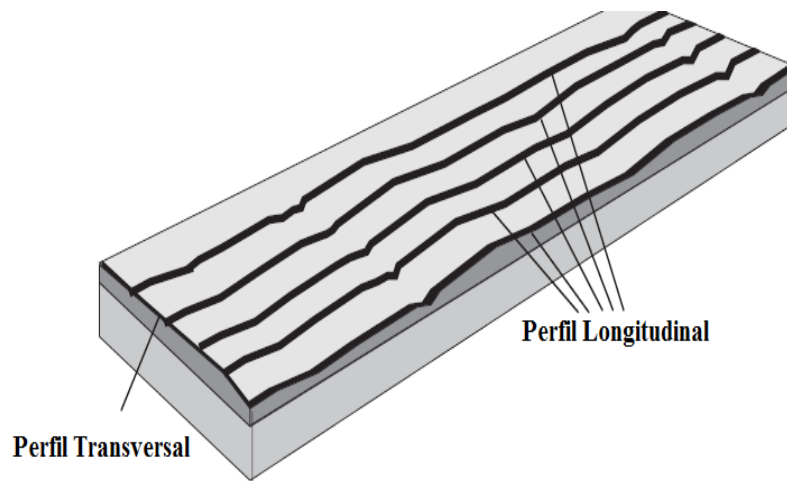
El IRI también se define como una característica del perfil longitudinal de una carretera. La norma ASTM E867 “Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems”, define rugosidad como la “desviación de una determinada superficie de pavimento respecto a una superficie plana teórica, con dimensión que afectan la dinámica del vehículo y la calidad al manejar”. Sayers & Karamihas (1998, pp 37).

## 2.2 Cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

El primer paso del procedimiento para el cálculo del IRI, consiste en medir las cotas o elevaciones del terreno que permiten representar el perfil real del camino, la figura 3 muestra una representación de perfil longitudinal. Esto significa que el IRI es independiente de la técnica o equipo utilizado para obtener el perfil, y dependerá únicamente de la calidad del perfil longitudinal. Sayers & Karamihas (1998, pp 44).

### Figura 3

#### *Perfil Longitudinal y Transversal de carretera*



Fuente: Adaptado de Sayers & Karamihas (1998)

A través de este perfil, se registran las características asociadas al camino basadas en los desplazamientos verticales inducidos a un vehículo estándar, el cual es modelado de forma simplificada como un conjunto de masas ligadas entre sí y con la superficie de la carretera, mediante resortes y amortiguadores.

El movimiento sobre el perfil de la carretera produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones en las masas, que nos lleva a medir los movimientos verticales no deseados atribuibles a la irregularidad del camino.

### 2.3 Rugosímetro Bump Integrator

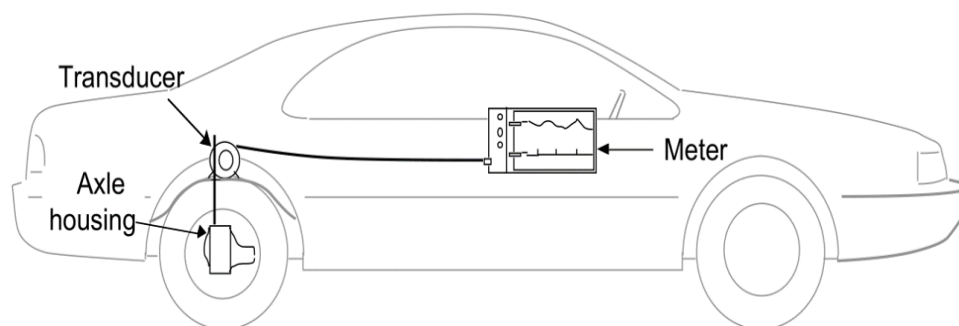
Una definición de “rugosímetro bump integrator” fue postulada en la publicación “The Little Book of Profiling”. En la década de 1920, los ingenieros de carreteras instalaron dispositivos

en los coches para registrar el movimiento de la suspensión como medida de la rugosidad. Se llamaban medidores de carretera y tenían varios nombres genéricos, entre ellos: sistemas de medición de rugosidad para carretera de tipo respuesta “Response-Type Road Roughness Measuring Systems RTRRMS”, sistemas tipo respuesta “response-type systems” y sistemas de medición de carretera “road meter systems”. En estos sistemas, el vehículo es un automóvil de pasajeros, una camioneta, un camión ligero o un remolque especial. Un medidor de carretera es un transductor que acumula los movimientos de la suspensión. Algunas de las marcas más populares son el Mays Ride Meter, el PCA Road Meter, el Cox Meter, y varios modelos caseros. Sayers & Karamihas (1998 pp. 39)

La mayoría de los sistemas de medición de carretera acumulan el movimiento en la suspensión del vehículo mientras se desplaza por la carretera, fueron instalados en vehículos como se muestra en la figura 4.

#### Figura 4

*Esquema básico de instalación “ROAD METER”*

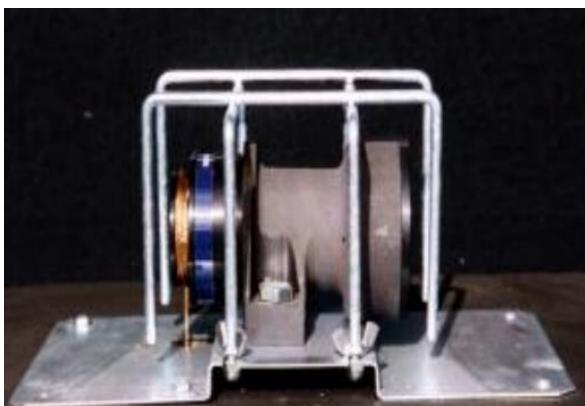


Fuente: Sayers & Karamihas (1998)

El “Transport and Road Research Laboratory – TRRL” desarrolló la unidad integradora para registrar el movimiento del eje posterior de un vehículo, el cual fue ampliamente utilizado por obtener resultados coherentes y fiables para control de rugosidad. La empresa CNS FARNELL comercializó el rugosímetro bump integrator modelo “Unit Matk III – Model A1471”, equipo ampliamente utilizado en nuestro territorio (figura 5).

### Figura 5

*Bump Integrator CNS FARNELL*



Fuente: Rugosímetro Bump Integrator MARK III - A1471 – CNS FARNELL (2012)

La empresa ROMDAS fabrica y comercializa el modelo MiniROMDAS, equipo “bump integrator” para medición de rugosidad. Este equipo es usado en más de 60 países, cuenta con un diseño flexible y permite una sencilla instalación en vehículos y cumple con las normas internacionales. El bump integrator ROMDAS se utiliza para realizar estudios de rugosidad de la carretera a velocidades normales de tráfico. Es clase 3 y ha demostrado su eficacia en algunas de las condiciones más duras de todo el mundo, los componentes se muestran en la figura 6.

**Figura 6***Bump Integrator MiniROMDAS*

Fuente: Sistema de medición de rugosidad MiniROMDAS - ROMDAS (2016)

## 2.4 Métodos de Medición de Rugosidad

Los diferentes métodos de medición usados en el mundo se pueden agrupar en 4 clases sobre la base de cómo miden pertinentemente el IRI. La figura 7 muestra los rangos de precisión que los equipos de medición deben cumplir para ser considerados Clase 1, 2, 3 o 4.

**Figura 7***Requerimiento precisión para medición de rugosidad*

<b>Longitudinal Sampling</b>	
Class 1	less than or equal to 25 mm (1 in.)
Class 2	greater than 25 mm (1 in.) to 150 mm (6 in.)
Class 3	greater than 150 mm (6 in.) to 300 mm (12 in.)
Class 4	greater than 300 mm (12 in.)
<b>Vertical Measurement Resolution</b>	
Class 1	less than or equal to 0.1 mm (0.005 in.)
Class 2	greater than 0.1 mm (0.005 in.) to 0.2 mm (0.010 in.)
Class 3	greater than 0.2 mm (0.010 in.) to 0.5 mm (0.020 in.)
Class 4	greater than 0.5 mm (0.020 in.)

Fuente: ASTM E 950 “Standard test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with Accelerometer Established Inertial Profiling Reference”

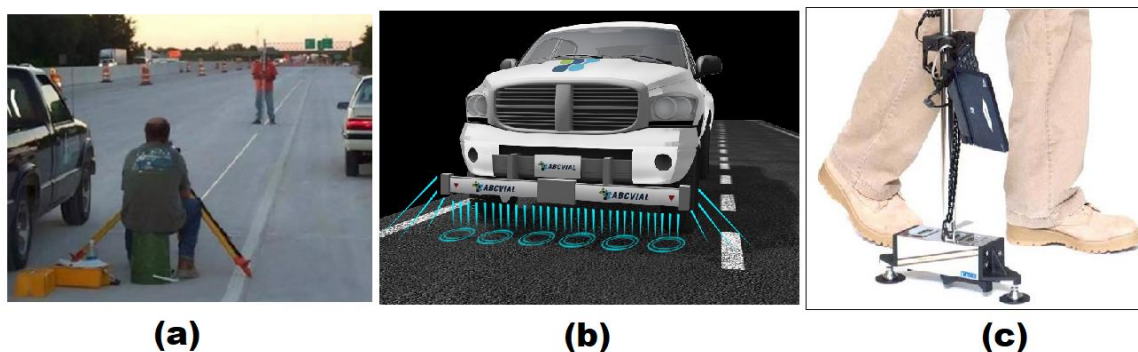
### 2.4.1 Clase 1: Perfilómetros de precisión

Esta clase representa el estándar más alto de precisión para mediciones de IRI. El método de clase 1 requiere el perfil longitudinal de una huella a ser medida (como una serie de precisos puntos de elevación muy cercanos a lo largo de la huella de tránsito vehicular), para ser usado como base para calcular el valor de IRI. Sayers & Gillespie (1986).

Algunos de los equipos y métodos que pertenecen a esta categoría son mostrados en la figura 8, como son: (a) método Mira y Nivel, (b) Perfilómetros laser, (c) Perfilador de referencia, entre otros.

### Figura 8

*Equipos y métodos para medición perfil longitudinal*



Nota: (a) Método Mira y Nivel, (b) Perfilómetro Laser, (c) Perfilador Dipstick

### 2.4.2 Clase 2: Otros métodos perfilométricos

Esta clase incluye todos los otros métodos (perfilómetros laser, perfilómetros inerciales, mira y nivel, perfiladores de referencia, entre otros) y equipos que miden el perfil como base para

el cálculo de IRI, pero no son capaces de cumplir con la precisión de la Clase I mostrado en la figura 7. Sin embargo, el hardware y métodos usados para medición de perfil son funcionalmente verificados por un independiente proceso de calibración, ellos son limitados por la precisión. Sayers & Gillespie (1986).

#### 2.4.3 Clase 3: IRI estimado por ecuaciones de correlación

La mayoría de datos de rugosidad de carreteras que se obtienen en el mundo son obtenidos con RTRRMS. Las mediciones RTRRMS dependen de la dinámica del vehículo para escalar las mediciones y convertirse en propiedades de rugosidad comparables de IRI. Las propiedades dinámicas son únicas para cada vehículo, y cambian con el tiempo. Así las mediciones obtenidas con los RTRRMS deben ser corregidas para la escala IRI usando una ecuación de calibración que es obtenida experimentalmente para cada RTRRMS. Sayers & Gillespie (1986).

#### 2.4.4 Clase 4: Evaluación subjetiva y mediciones no calibradas

Hay situaciones en las cuales los datos de rugosidad son necesarios, pero la alta precisión no es esencial o no puede ser determinada. En estos casos, una evaluación subjetiva que implica un recorrido a pie sobre la pista o una inspección visual podría ser usada. Otra posibilidad es usar instrumentos no calibrados. La conversión de estas observaciones a la escala IRI es limitada a una equivalencia aproximada. Sayers & Gillespie (1986).

### 2.5 Adquisición de Datos

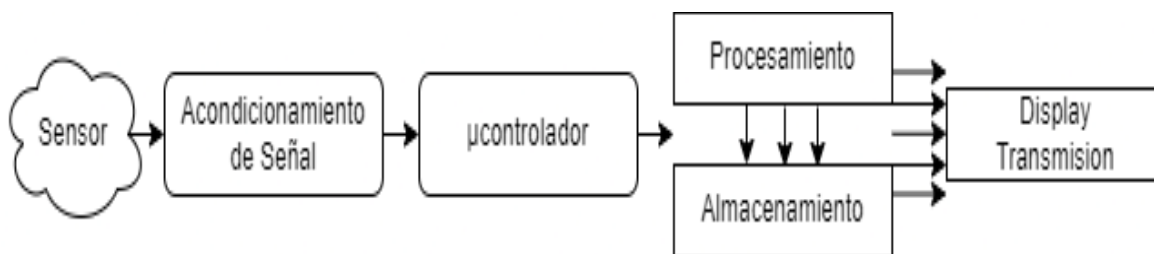
La adquisición de datos implica tomar muestras de eventos o fenómenos físicos del mundo real y generar datos que pueden ser manipulados por dispositivos electrónicos. Se toma un

conjunto de señales físicas, se convierten a voltajes y/o corriente para ser digitalizadas. El elemento que realiza esta conversión es el módulo de digitalización o tarjeta de adquisición de datos (DAQ).

En la actualidad la mayoría de científicos e ingenieros utilizan un computador personal para la adquisición de datos mediante dispositivos PCI, PXI/Compactica, PCMCIA, USB, IEEE 1394, puertos serie o paralelo, en la figura 9 se muestra un esquema general de adquisición de datos.

**Figura 9**

*Esquema de Adquisición de datos*



En un sistema de adquisición de datos se debe coleccionar la información (en forma de señales analógicas o digitales), acondicionarla, procesarla y presentarla. En algunas ocasiones también se considera registrar y/o almacenar dicha información.

## 2.6 Sensores, Transductores y Dispositivos Electrónicos

Los transductores básicamente transforman un tipo de energía en otra, mientras los sensores convierten una variable física en señales eléctricas. Por ejemplo, termopares, termómetros de resistencia, termistores y sensores integrados convierten la temperatura en una señal de voltaje o corriente. Otros ejemplos son galgas extensométricas, los sensores de flujo y los sensores de

presión. La señal de salida de un sensor por lo general se debe procesar de una forma adecuada para la siguiente etapa de la operación. La señal puede ser demasiado pequeña, siendo necesario amplificarla; podría contener interferencias que eliminar (ruido eléctrico), ser no lineal y requerir linealización; ser analógica y requerir digitalización; ser digital y convertirla en analógica; ser un cambio de voltaje y convertirla a un cambio de corriente de magnitud adecuada, etc.

Se dispone de una gran variedad de dispositivos electrónicos, los cuales varían en su función, tamaño, uso, etc. Para mostrar información se dispone de pantallas cristal líquido LCD, 8 segmentos, entre otros. Para ingreso de datos se dispone de teclado matriciales, botones, pulsadores, etc.

## **2.7 Acondicionamiento de Señal**

La señal de salida de los sensores en general se debe procesar de una forma adecuada para la siguiente etapa. La señal puede ser demasiado pequeña, y sería necesario amplificarla; puede requerir eliminar ruido eléctrico; ser no lineal; convertir de analógica a digital; convertir de digital a analógica, etc. A todas estas modificaciones se les designa por lo general con el término “Acondicionamiento de Señales”.

Por lo general la etapa de acondicionamiento prepara las señales de voltaje o corriente para un convertidor Analógico-Digital o un dispositivo de control como puede ser microcontroladores, microprocesadores, Dispositivo de Procesamiento de Señales, etc.

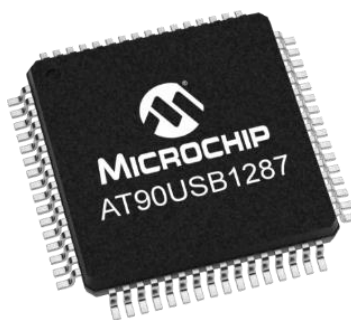
## 2.8 Microcontrolador

Un microcontrolador (MCU) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres unidades funcionales principales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida.

Son diseñados para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema. Por eso el tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación. Atmel es una compañía de semiconductores, fundada en 1984. Su línea de productos incluye microcontroladores, dispositivos de radiofrecuencia, memorias y muchas otras. Actualmente Microchip Technologies ha adquirido y asimilado a la empresa ATMEL.

### Figura 10

*Microcontrolador AT90USB1287*



Fuente: Microchip Technology Inc. (2012)

## 2.9 Plataformas de Programación

En los sistemas de adquisición de datos modernos se aprecia una parte intangible, encargada de controlar y administrar los recursos de un microcontrolador, microprocesador, computador, etc.

El software es un tópico muy importante que requiere de especial cuidado, para los sistemas de adquisición de datos se requiere un software de instrumentación, que sea flexible para futuros cambios, y preferiblemente que sea de fácil manejo, siendo lo más ilustrativo posible. Debemos diferenciar 2 tipos de software, el primero que se usa para dispositivos embebidos (microcontroladores, microprocesadores, FPGA, etc.) que es comúnmente llamado firmware (software embebido), y el software para la computadora personal. Para dispositivos embebidos normalmente se usa software propio del fabricante, como es el caso de Microchip, los cuales pueden ser programados usando el MPLAB y/o AVRStudio. Estas dos plataformas de desarrollo para microcontroladores son ofrecidas gratuitamente.

La empresa Microchip ofrece una plataforma de desarrollo integrado para la programación de microcontroladores de la familia Atmel AVR. El “Microchip Studio for AVR® and SAM Devices” ofrece un entorno integrado y fácil de usar para escribir, generar y depurar sus aplicaciones escritas en lenguaje C, C++ o assembler. Visual Studio es un conjunto completo de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones web ASP.NET, Servicios Web XML, aplicaciones de escritorio y aplicaciones móviles. Visual Basic, Visual C# y Visual C++ utilizan el mismo entorno de desarrollo integrado, que habilita el uso compartido de herramientas y hace más sencilla la creación de soluciones en varios lenguajes.

## CAPITULO III : MATERIALES Y METODOS

### 3.1 Método

El presente trabajo hace uso del método de desarrollo en cascada, cada etapa será implementada en secuencia: evaluación de requerimientos, cálculos y diseño, finalmente ensamblar e implementar todos los componentes del equipo Rugosímetro Bump Integrator. Las etapas son definidas en la figura 11.

**Figura 11**

*Metodología en cascada*



#### 3.1.1 Requerimiento

Para determinar los requerimientos referidos a precisión, rango, número de sensores, etc. se toma como referencia el “Generic Equipment Specification Multi-Function Road Data Collection System”, Bennett et al. (2007) documento publicado por el Banco Mundial.

El equipo Rugosímetro Bump Integrator debe registrar 3 eventos: el movimiento acumulado del eje posterior, la distancia recorrida por el vehículo y la ubicación mediante coordenadas geográficas. Esta información debe ser ordenada, preparada y almacenada simultáneamente.

### **3.1.2 *Diseño***

Una vez determinado los requerimientos para el equipo rugosímetro Bump Integrator se procede al diseño eléctrico y electrónico, selección de componentes electrónicos, sensores, componentes mecánicos, caja, cálculos eléctricos, etc. Las piezas y planos mecánicos son diseñados utilizando software de diseño asistido por computadora para evitar maquetas y moldes de descarte, también se define el algoritmo del firmware para microcontrolador y software para la computadora.

### **3.1.3 *Implementación***

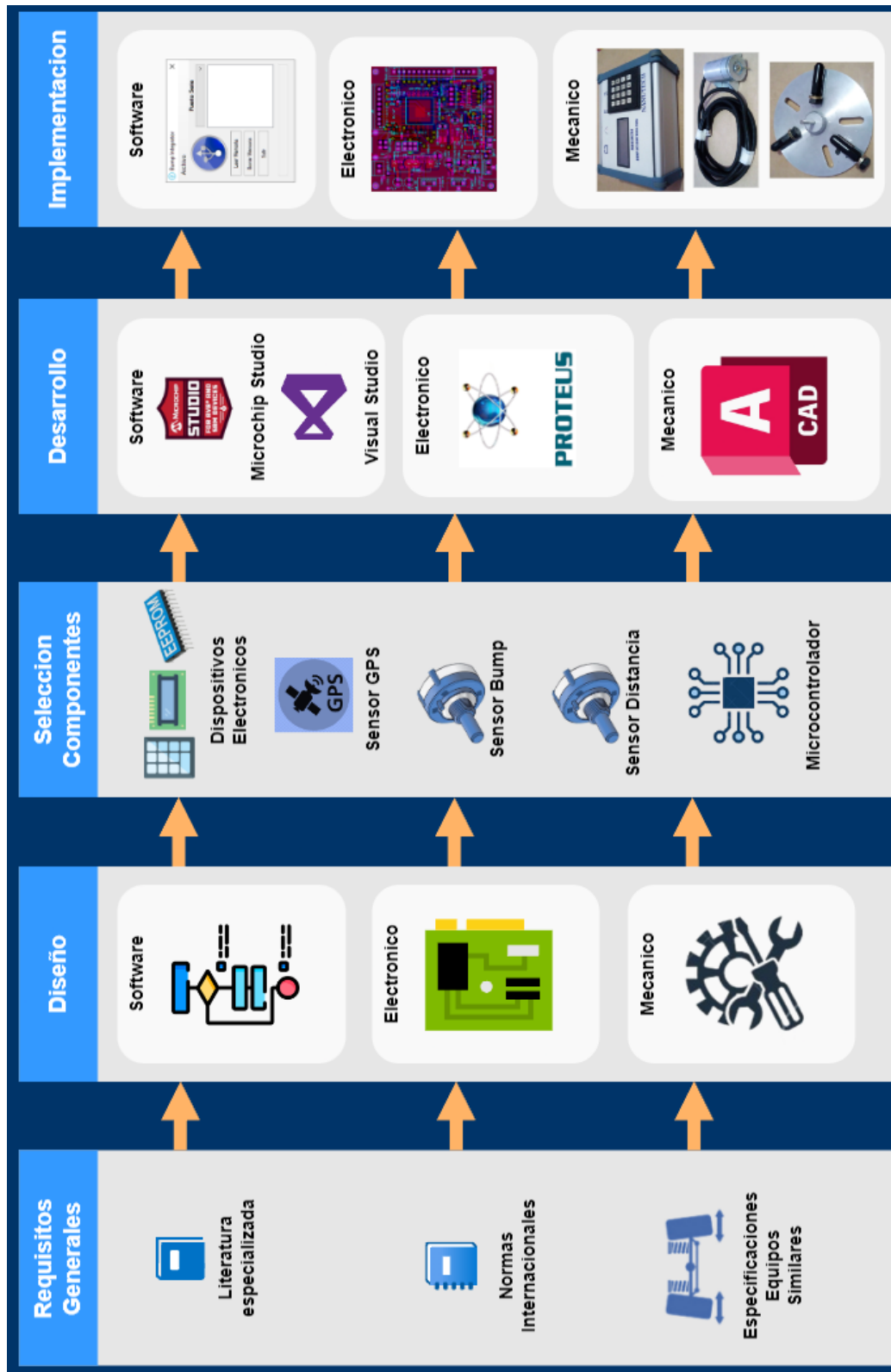
Cada uno de los componentes es apropiadamente ensamblado y se verifica las conexiones a tierra, soldadura, pruebas de resistencia, pruebas de funcionamiento, test de comunicación, etc.

Mediante el uso de un motor simulador se realizan pruebas con el sensor distancia, permitiendo hacer un test funcional completo del sistema.

La metodología antes mencionada es resumida en la figura 12, se muestran el desarrollo de las etapas desde los requerimientos hasta la implementación.

Figura 12

Esquema del diseño e implementación



### 3.2 Componentes

El equipo Rugosímetro Bump Integrator está conformado por los siguientes componentes:

- Unidad Adquisidor de datos
- Unidad Bump Integrator
- Unidad medición de distancia DMI (Odómetro)
- Dispositivo de Geoposicionamiento (GPS)
- Software embebido (firmware), software de escritorio

Los dispositivos electrónicos, piezas mecánicas, sensores, etc. necesarios para implementar cada componente del equipo Rugosímetro Bump Integrator son descritos en la tabla 1.

**Tabla 1***Lista de componentes Rugosimetro Bump Integrator*

DESCRIPCION	MODELO	CANTIDAD
<b>UNIDAD ADQUISIDOR DE DATOS</b>		<b>1</b>
Microcontrolador	AT90USB1287	1
Memoria	24LC512	1
Teclado	Keypad 4x4	1
Pantalla Cristal Liquido	NHD-0420DZ-FSW-FBW	1
Inversor Trigger	74HC14	1
Regulador de Voltaje 5 voltios	LM7805	1
Regulador de Voltaje variable	LM317	1
Conector USB Tipo B	KUSBVXHT-BS1N-O30-HRF	1
Conectores metálicos	EURO DIN (3, 4, 5 pines)	4
Conectores, resistencias, Cristal Oscilador, Condensadores, Cables, etc.	Genérico	Varios
Enclosed Aluminio (Caja)	EXP15-8-20SB	1
<b>UNIDAD BUMP</b>		<b>2</b>
Encoder Óptico	600-128-C24	2
Cilindro de Aluminio	Diseño Propio	2
Base metálica	Diseño Propio	2
Cable acerado	Genérico	2
Conector	EURODIN 4 pines	2
<b>UNIDAD ODÓMETRO (DMI)</b>		<b>1</b>
Encoder Óptico	TRD-N2500-RZWD	1
Disco acople	Diseño Propio	1
Soporte + Varilla guía	Diseño Propio	1
Conector	EURODIN 5 pines	1
<b>UNIDAD GEOPOSICIONAMIENTO</b>		<b>1</b>
<b>GPS</b>		<b>1</b>
Unidad GSP	Garmin 18x	1
Conector	Mini EURODIN 4 pines	1

## CAPITULO IV : PROPUESTA DE DISEÑO

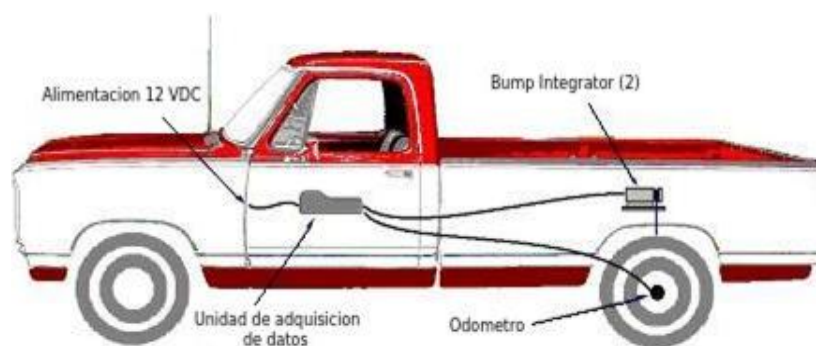
### 4.1 Requerimiento de diseño

Para el diseño del equipo rugosímetro bump integrator nos basaremos en los requerimientos publicados por el Banco Mundial “Generic Equipment Specification Multi-Function Road Data Collection System”, además de considerar las especificaciones de equipos de medición similares presentes en el mercado local.

La normativa nacional para los equipos de medición de carreteras es publicada por el Ministerio de Transportes y comunicaciones bajo el nombre de “Manual de Inventarios Viales”. La ubicación de los principales componentes que va instalado sobre un vehículo camioneta pick-up, se muestra en la figura 13.

### Figura 13

*Componentes Rugosímetro Bump Integrator*



A continuación, se muestra una lista resumen de los requerimientos para el equipo rugosímetro bump integrator:

- Velocidad de operación (mínima) : 6,9 m/s
- Velocidad operación (máxima) : 16,6 m/s
- Aceleración máxima :  $\pm 2 \text{ m/s}^2$
- Dispositivo medición distancia DMI : 0,1 % valor real
- Unidad Bump Integrator : 2 unidades
- Resolución Bump Integrator : 0,001 m

Finalmente, como última etapa del diseño del equipo rugosímetro Bump Integrator se requiere implementar software de control y software de usuario.

Para la unidad de adquisición de datos requiere de un software de control embebido (firmware), el usuario se requiere un software de escritorio para comunicar el equipo rugosímetro con la computadora y realizar la descarga de datos, liberación de memoria, revisión de datos, etc.

Resumiendo, los criterios antes expuestos Las partes principales del equipo son las siguientes:

- Unidad de adquisición de datos.
- Unidad mecánica de medición (Bump Integrator).
- Unidad medición de distancia DMI (odómetro).
- Dispositivo de Geoposicionamiento (GPS).
- Software embebido (firmware), software de escritorio.

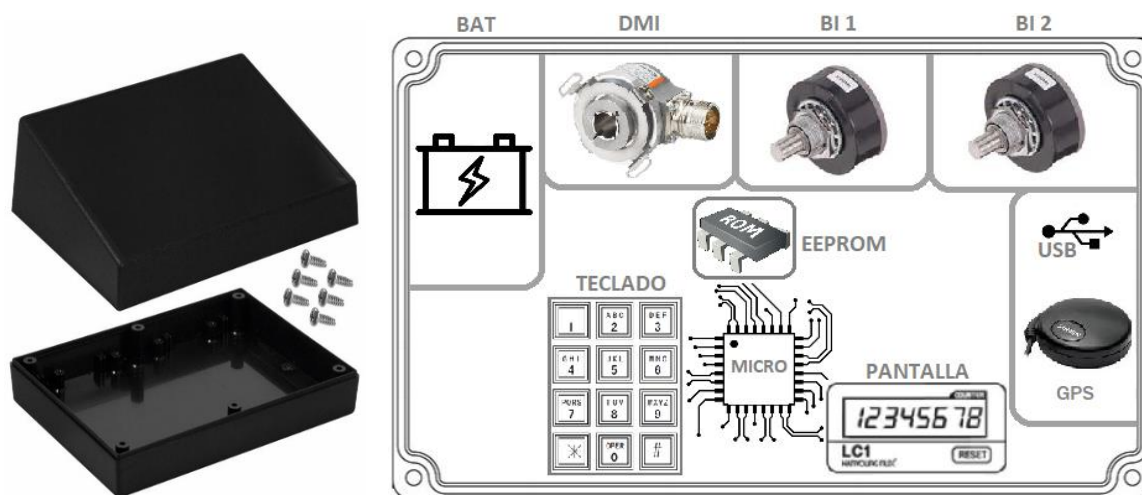
## 4.2 Unidad de Adquisición y Control

La unidad de adquisición de datos es el dispositivo principal del rugosímetro, su función es controlar, configurar, recibir la data de los sensores y dispositivos que componen el rugosímetro (sensor mecánico, dispositivo medición de distancia).

La ubicación para los componentes del adquirente de datos dentro de la caja se muestra en la figura 14.

**Figura 14**

*Esquema distribución de componentes Adquisidor de datos*



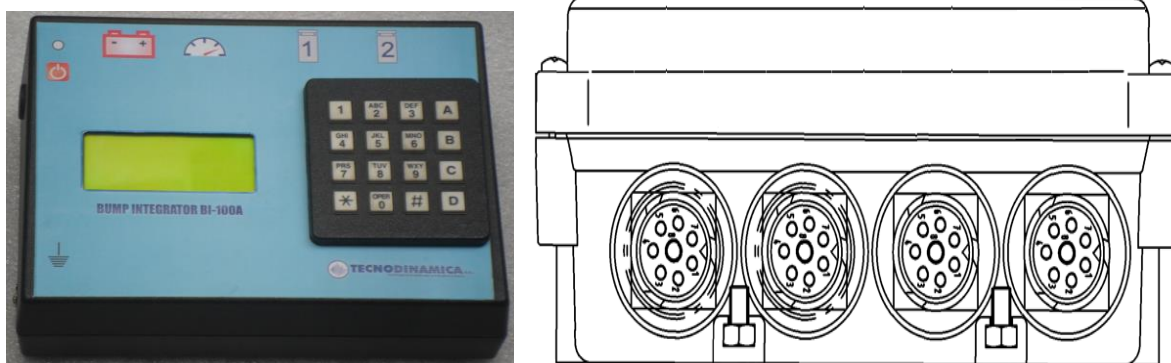
- Unidad de control (microcontrolador).
- Canal de entrada para sensor mecánico (BI1, BI2).
- Canal de entrada para dispositivo medición distancia (DMI).
- Dispositivo de geoposicionamiento (GPS).
- Dispositivo de ingreso de datos (TECLADO).

- Dispositivo de visualización de datos (PANTALLA LCD).
- Almacenamiento en memoria de datos no volátil (MEMORIA EEPROM).
- Puerto de comunicación USB para descarga de datos.
- Voltaje de alimentación.

En la parte posterior del adquisidor de datos se disponen los conectores para la fuente de alimentación, dispositivo de medición de distancia (DMI), sensores mecánicos (BI), En los laterales conectores para fuente de voltaje, USB y GPS. En la parte frontal el teclado y pantalla LCD como se muestra en la figura 15.

**Figura 15**

*Vista frontal y posterior caja rugosímetro bump integrator*



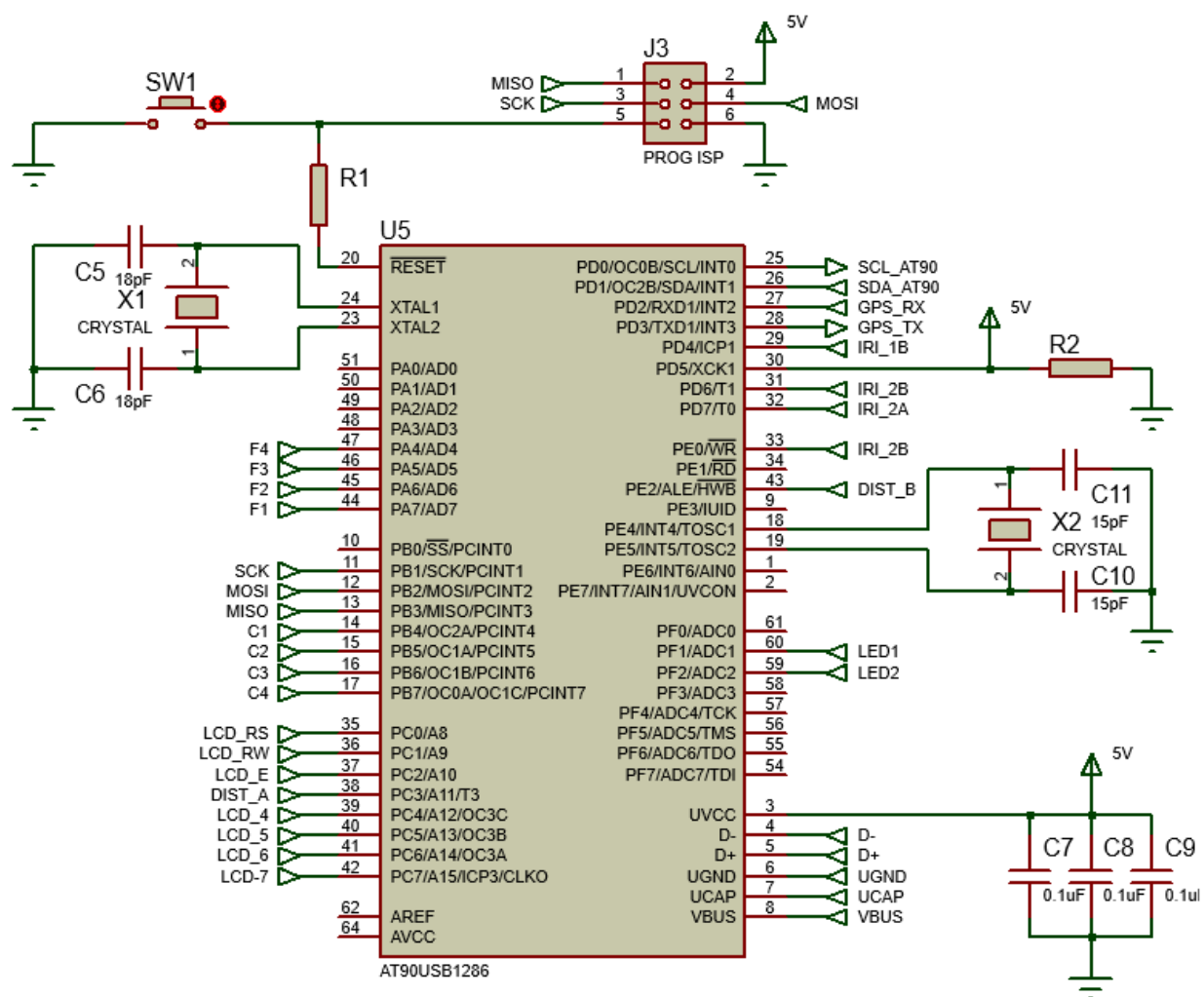
#### **4.2.1 Dispositivo de control (microcontrolador)**

El microcontrolador es el dispositivo central del adquisidor de datos, es el encargado de controlar la recepción de datos, el almacenamiento en memoria, mostrar información mediante pantalla LCD alfanumérico, controlar el teclado 4x4 y gestionar protocolo de comunicación USB.

El modelo seleccionado es AT90USB1287 del fabricante MICROCHIP. El circuito eléctrico propuesto para el microcontrolador se muestra en la figura 16.

**Figura 16**

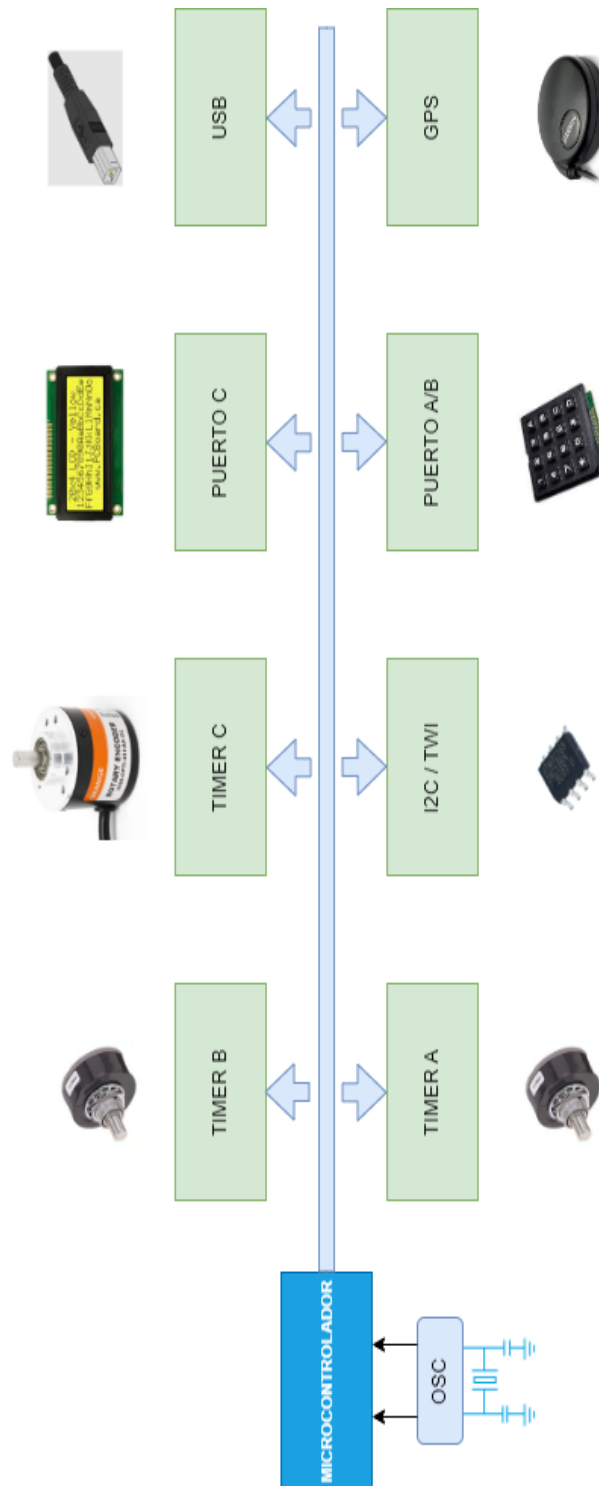
*Circuito eléctrico de microcontrolador AT90USB1287*



El microcontrolador tendrá conexiones hacia dispositivos internos y externos, en la figura 14 se muestra los recursos del microcontrolador que serán utilizados para control y comunicación.

**Figura 17**

*Esquema conexiones del microcontrolador*



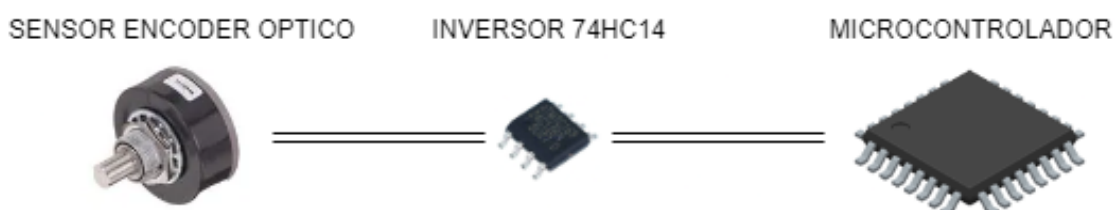
- Sensor mecánico (BI) : Timer A, B (modo contador)
- Dispositivo de medición distancia : Timer C (modo contador)
- Dispositivo de geoposicionamiento : Usart I
- Memoria no volátil 24LC512 : Modulo I2C
- Pantalla LCD 24x4 : Puerto de datos C
- Teclado matricial 4x4 : Puerto de datos A y B
- Puerto comunicación USB : Modulo USB

#### 4.2.2 Canal de entrada para sensor mecánico

El sensor mecánico utiliza un encoder óptico incremental de 128 pulsos y se utiliza para medir los desplazamientos en el eje posterior del vehículo, el esquema del circuito eléctrico se muestra en la figura 18.

**Figura 18**

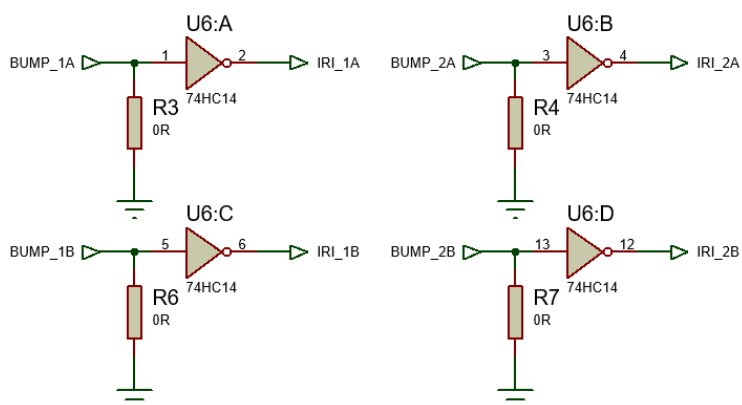
*Esquema conexión sensor mecánico*



El diseño del circuito permite la conexión del microcontrolador con el encoder mediante un inversor de alta velocidad Schmitt Trigger 74HC14, el circuito protege el microcontrolador de posibles sobre cargas y asegurar los niveles de voltaje apropiados para su funcionamiento,

**Figura 19**

*Circuito eléctrico para entrada de sensor mecánico*



#### 4.2.3 Canal de entrada para dispositivo medición distancia

Para medir la distancia y velocidad del vehículo durante la medición de rugosidad se utiliza un sensor encoder óptico incremental de alta resolución 2500 pulsos, el cual va instalado en la llanta posterior derecha del vehículo. El esquema del circuito se muestra en la figura 20.

**Figura 20**

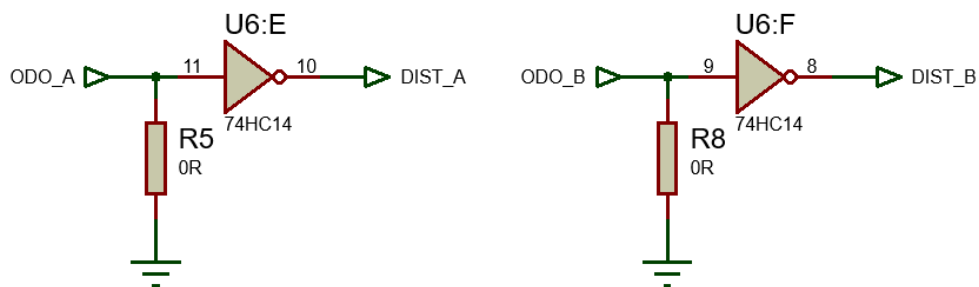
*Esquema conexión dispositivo medición distancia*



El encoder óptico está conectado al microcontrolador mediante un inversor 74HC14, el circuito protege el microcontrolador de posibles sobre cargas y asegurar los niveles de voltaje para su funcionamiento.

**Figura 21**

*Circuito eléctrico para entrada dispositivo medición distancia*

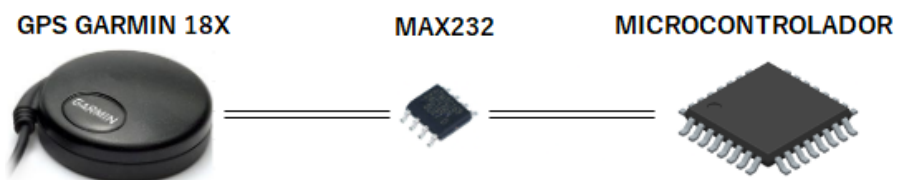


#### 4.2.4 Dispositivo de Geoposicionamiento

Para determinar la ubicación de las mediciones (inicio, final, puntos intermedios) es necesario utilizar un dispositivo de geoposicionamiento. El modelo seleccionado es el GARMIN 18X, dispositivo OEM para uso libre. La figura 22 muestra el esquema de conexión.

**Figura 22**

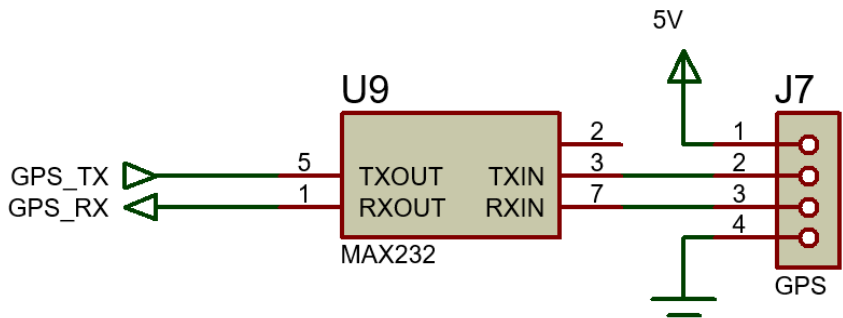
*Esquema conexión GPS con microcontrolador*



El dispositivo GPS se conecta al microcontrolador mediante un chip MAX232, encargado de adaptar los niveles de voltaje para ser reconocida por el microcontrolador.

**Figura 23**

*Circuito eléctrico GPS*

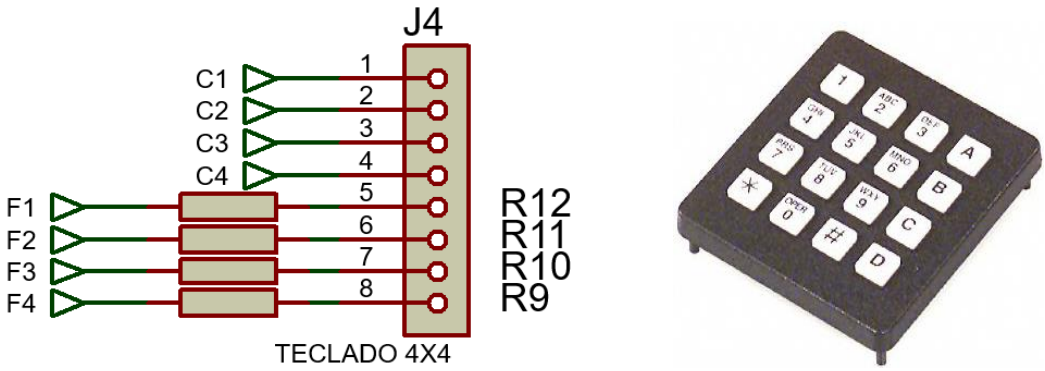


**4.2.5 Dispositivo de ingreso de datos**

Se requiere ingresar datos para configurar el modo de medición, datos de ubicación (inicio, longitud, sentido), además de esta información se debe hacer cambios de pantalla, confirmar eventos, borrar, moverse entre campos, etc. Uno de los dispositivos más usados para ingreso de datos es un teclado matricial. A continuación, mostramos el circuito de interface para la conexión de un teclado. El teclado es conectado con el microcontrolador usando los puertos A y B tal y como se muestra en la figura 24.

**Figura 24**

*Circuito eléctrico conexión teclado matricial 4x4*



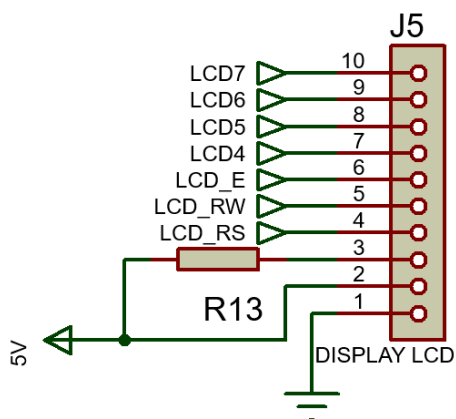
El puerto A es utilizado para controlar las filas, y el puerto B para controlar las columnas. El manejo del teclado es por interrupciones y usando el timer para controlar el tiempo de acceso a los valores del puerto.

#### 4.2.6 Dispositivo de visualización de datos

Para la visualización de datos e información se dispone de una pantalla de cristal líquido LCD con capacidad de mostrar 80 caracteres (20 x 4). A continuación, mostramos el circuito de conexión para la pantalla LCD, el modelo seleccionado es el C-51847NFQJ-LW-AAN del fabricante KYOCERA INDUSTRIAL CERAMIC CORPORATION. La pantalla LCD es configurado para trabajar en modo 4 bits, y es controlado por el Puerto C del microcontrolador, el circuito propuesto y el dispositivo se muestran en la figura 25.

**Figura 25**

*Circuito eléctrico conexión pantalla LCD*



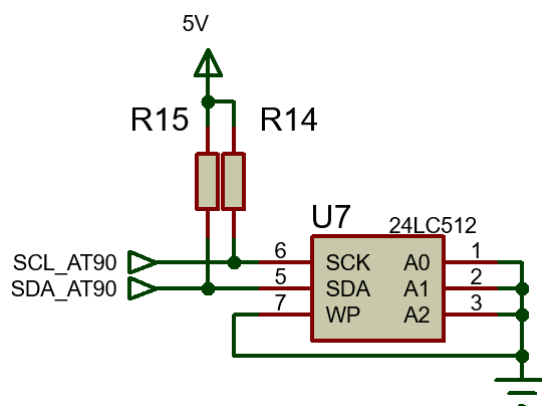
#### 4.2.7 Almacenamiento en memoria no volátil

Para guardar los datos y posterior descarga se utiliza una memoria no volátil, encargada de almacenar y mantener los datos de las mediciones. Se implementa una memoria de alta densidad que permita almacenar una considerable cantidad de datos. El modelo seleccionado es el 24LC512 una memoria que tiene un tamaño de 512 Kbit, organizada en bloques de 64 K x 8 bits.

La característica principal de esta memoria es que implementa el interfaz I2C (SDA / SCL) para su comunicación serie con otros dispositivos electrónicos. A continuación, mostramos la interfaz para conectar la memoria con el microcontrolador en la figura 26.

**Figura 26**

*Circuito eléctrico memoria 24LC512 protocolo I2C*



El rugosímetro bump integrador almacena los desplazamientos del sensor mecánico en intervalos de entre 100 – 1000 m. Tomando estas consideraciones se puede calcular la capacidad de almacenamiento máximo y mínimo del equipo. Para el almacenamiento se forman paquete de datos de 20 bytes, como se muestra a continuación:

Sensores Mecánicos	:	4 Bytes
Fecha / Hora	:	4 Bytes
GPS	:	12 Bytes
<b>Total</b>	<b>:</b>	<b>20 Bytes</b>

Adicional se requiere un grupo de datos para identificar la ubicación, punto de inicio, espaciamiento, sentido:

Cabecera datos	:	20 Bytes
----------------	---	----------

Almacenamiento mínimo (100 m)	=	298 km
Almacenamiento máximo (1000 m)	=	1638 km

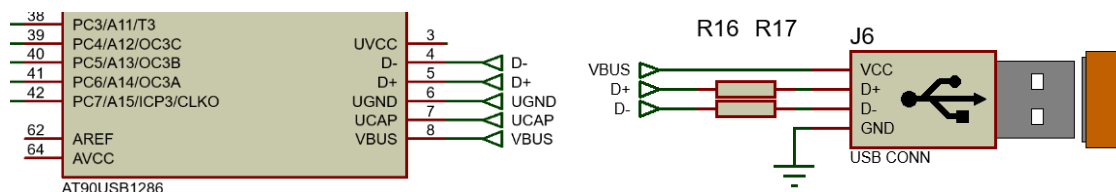
#### **4.2.8 Puerto de comunicación USB para descarga de datos**

Finalmente se debe implementar un protocolo de comunicación para transferir la información desde el adquisidor de datos hacia la computadora.

Se implementa el USB 1.0 en modo Dispositivo de Interfaz Humano HID. Esto permite enviar/recibir información entre la computadora y el adquisidor de datos con toda seguridad. A continuación, se muestra el circuito para el interfaz USB en la Figura 27 se muestra las conexiones en el microcontrolador. El AT90USB1287 viene con el protocolo USB listo para implementarse.

**Figura 27**

*Circuito eléctrico protocolo USB en microcontrolador*



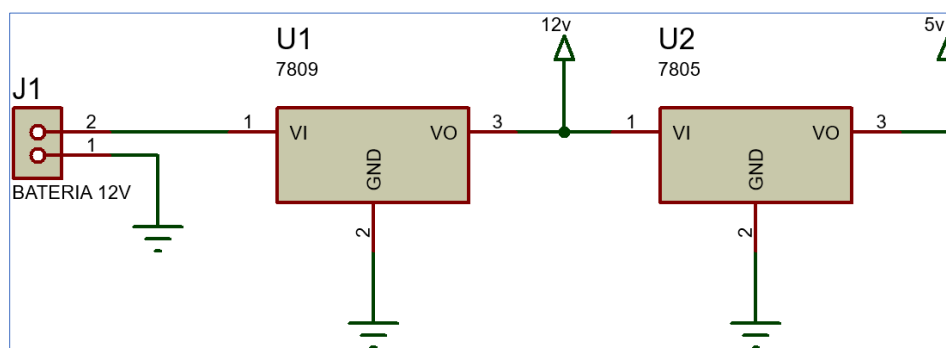
#### 4.2.9 Voltaje de alimentación

La fuente de alimentación para el rugosímetro Bump Integrator es la batería del vehículo, la cual tiene un valor nominal de 12 Voltios, los dispositivos electrónicos del adquirente de datos funcionan con 5 Voltios para obtener un valor estable de voltaje usaremos reguladores de la familia LM78XX.

Para reducir el voltaje de entrada se hará uso de dos reguladores en serie (LM7809, LM7805), se hacen los cálculos en función de la potencia que estos disipan y se muestran en la figura 28.

**Figura 28**

*Esquema regulador de voltaje en serie*



$$P = (V_{in} - V_{out}) \times I_c \quad (1)$$

$$T_j = T_a + (P \times R_{jamb}) \quad (2)$$

Donde :

$V_i$	Voltaje de entrada al regulador
$V_o$	Voltaje de salida del regulador
$I_c$	Corriente que pasa por el regulador
$T_j$	Temperatura de juntura
$T_a$	Temperatura ambiente
$R_{jamb}$	Resistencia térmica entre la juntura y el ambiente

Datos de entrada:

$V_i$	=	Voltaje máximo de entrada (14,4 Voltios )
$I_c$	=	Corriente máxima de consumo (210 mA )
$T_a$	=	40 °C (temperatura ambiente)
$R_{jamb}$	=	65 °C/W

#### 4.2.10 *Calculo de diseño alimentación*

Regulador LM7809:

Cálculo de Potencia

$$P = (14,4V - 9V) \times 0,21A$$

$$P = 1,134 W$$

Cálculo de disipación de potencia

$$T_j = 40^{\circ}\text{C} + (1,134\text{ W} \times 65^{\circ}\text{C/W})$$

$$T_j = 113,7^{\circ}\text{C}$$

Regulador LM7805:

Cálculo de Potencia

$$P = (9\text{V} - 5\text{V}) \times 0,21\text{A}$$

$$P = 0,84\text{ W}$$

Cálculo de disipación de potencia

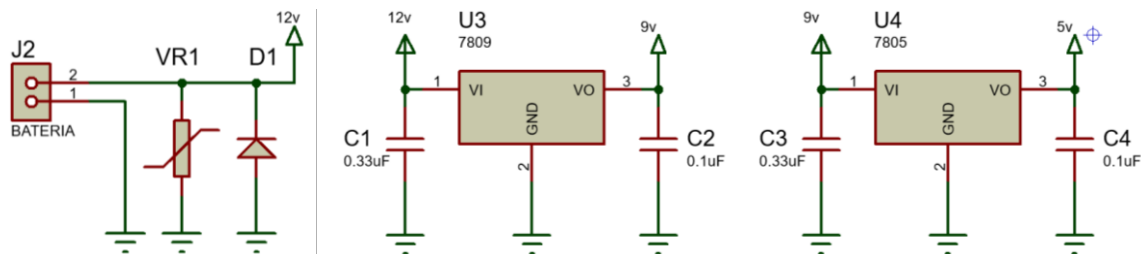
$$T_j = 40^{\circ}\text{C} + (0,84\text{W} \times 65^{\circ}\text{C/W})$$

$$T_j = 94,6^{\circ}\text{C}$$

Para protección de los reguladores de voltaje se usan algunos dispositivos contra picos de voltaje y conexión inversa, los reguladores son dispuestos después de la etapa de protección de entrada. La figura 29 muestra el circuito eléctrico de la etapa de alimentación.

**Figura 29**

*Circuito de protección de entrada y circuito eléctrico de reguladores*



Para protección de picos de voltaje se coloca un varistor VR1, seguidamente se dispone un diodo para prevenir una conexión inversa de voltaje. El regulador U3 y U4 regulan el voltaje a 5 Voltios.

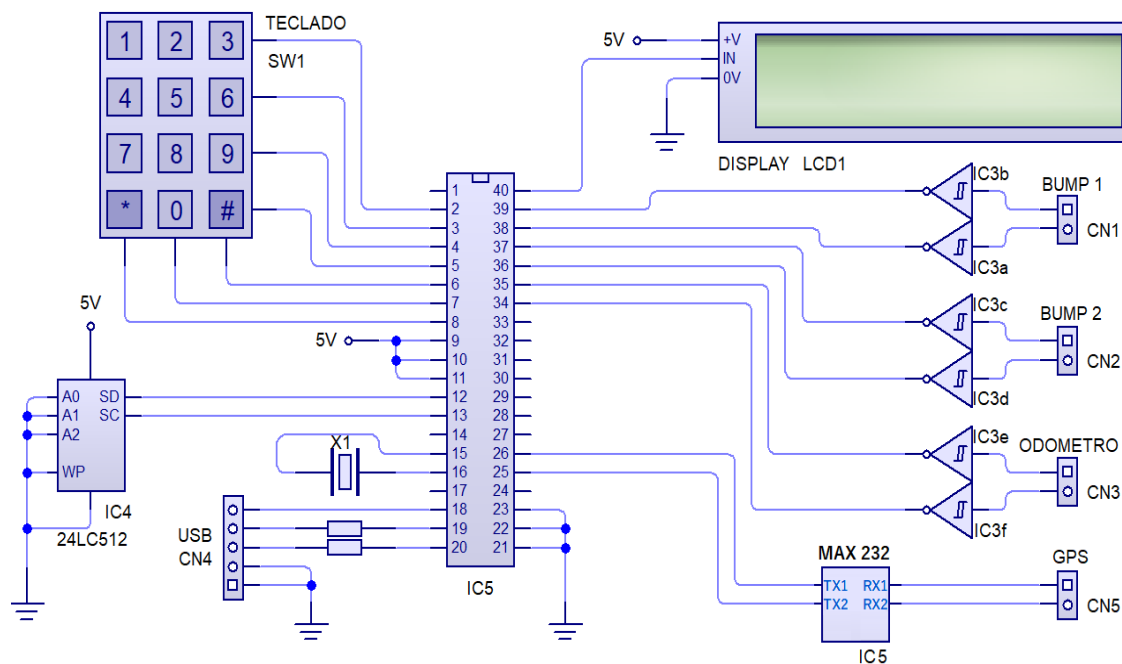
VR1 : Varistor

D1 : Diodo

En la figura 30 se muestra el diagrama general de conexiones del adquisidor de datos compuesto por: teclado 4x4, pantalla LCD, microcontrolador AT90USB1287, memoria 24LC512, dispositivo conversor MAX232, dispositivos interfaz Schmitt trigger y conectores externos.

**Figura 30**

*Esquema general de conexiones del adquisidor de datos*



El circuito eléctrico diseñado se muestra en las siguientes figuras 31, 32 en modo esquemático, se muestran las conexiones y todos los componentes necesarios.

Figura 31

Circuito eléctrico general - A

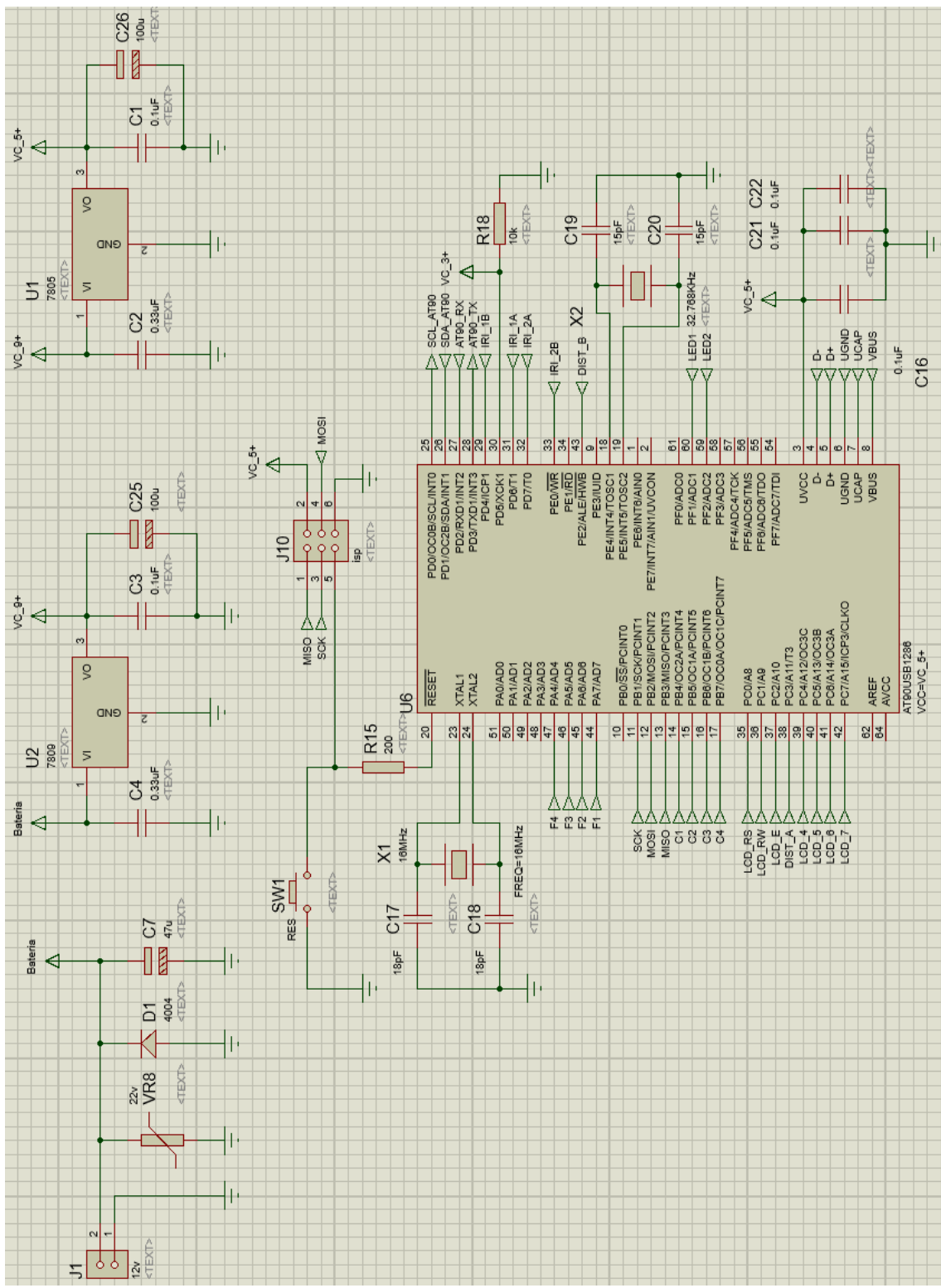
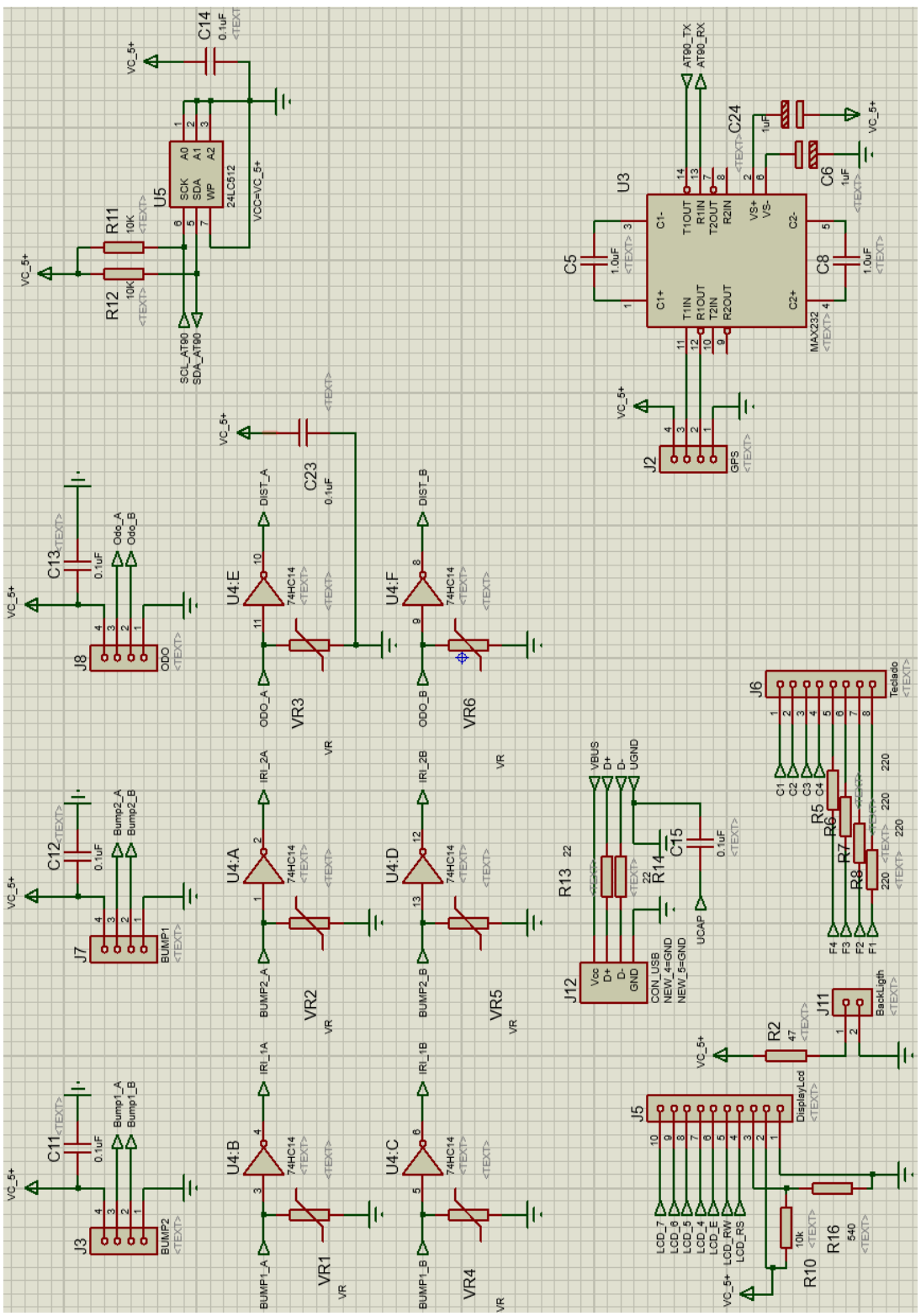


Figura 32

Circuito eléctrico general - B

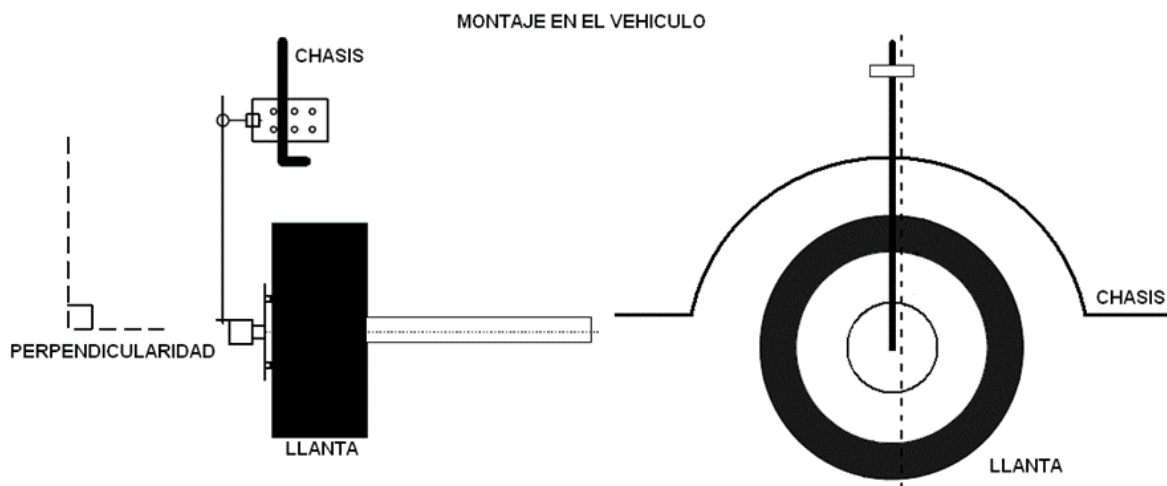


### 4.3 Unidad Medición de Distancia

Para la unidad medición de distancia DMI, se va utilizar un encoder óptico de alta resolución modelo “ TRD-N2500-RZWD” de la empresa Automation Direct. El encoder será instalado en el neumático posterior derecho, tal como se muestra en la figura 33.

**Figura 33**

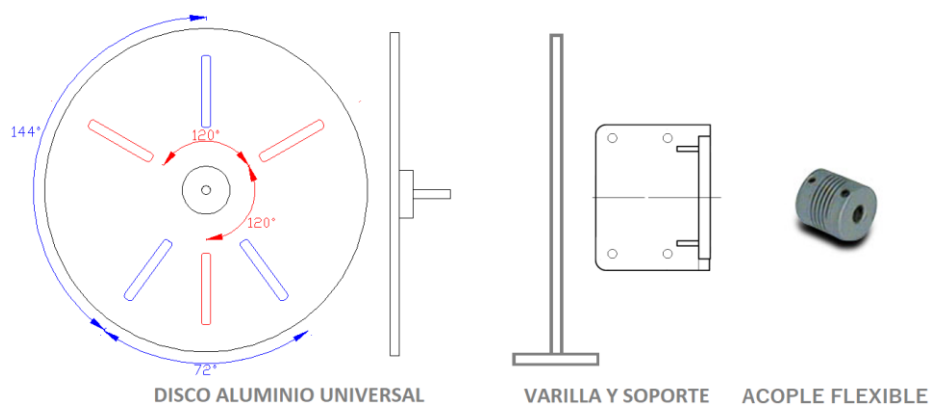
*Esquema de instalación dispositivo de medición de distancia*



Tomando en consideración los modelos más comunes de aros y neumáticos, los cuales utilizan 5 ó 6 pernos de ajuste. Se diseñó un adaptador universal, un disco de aluminio y pernos separadores junto con una varilla y soporte para el encoder. Los planos y diseño se muestran en la figura 34.

**Figura 34**

*Plano disco de acople, varilla, soporte y acople flexible*



#### 4.3.1 *Calculo de medición de distancia*

En la tabla 2, se muestra el diámetro y circunferencia de los neumáticos comerciales más utilizados.

**Tabla 2**

*Cálculo diámetro y circunferencia neumáticos*

MEDIDA NEUMATICO	DIAMETRO (aprox.)	CIRCUNFERENCIA (m) (aprox.)	ENCODER 2500 PPR
ARO 16	0,60860 m	1,912 m	0,00076 m
ARO 17	0,63407 m	1,992 m	0,00079 m
ARO 18	0,65953 m	2,072 m	0,00082 m
PROMEDIO		2,0 m	0,00080 m

Para el cálculo de velocidad RPM y medición de distancia se usan las siguientes características del encoder TRD-N2500-RZWD.

Pulsos por revolución TRD-N2500-RZWD	:	2500 PPR
Máxima velocidad TRD-N2500-RZWD	:	5000 RPM
Circunferencia promedio del neumático	:	2 m

El primer parámetro a evaluar es la velocidad RPM del sensor encoder:

Velocidad mínima : 6,94 m/s

Velocidad mínima RPM	:	$[(6,94 \text{ m/s}) / 2 \text{ m}] \times 60 \rightarrow 208 \text{ RPM}$
----------------------	---	--

Velocidad máxima : 16,6 m/s

Velocidad máxima RPM	:	$[(16,6 \text{ m/s}) / 2 \text{ m}] \times 60 > 498 \text{ RPM}$
----------------------	---	--

Las revoluciones a máxima velocidad están debajo de las características del sensor encoder:

Encoder TRD-N2500-RZWD (5000 RPM)	>	498 RPM (CUMPLE)
-----------------------------------	---	------------------

Para cumplir el requerimiento de resolución de distancia : 0,1% valor real ( $\pm 1$  metro)

Resolución =	Circunferencia Neumático / pulsos por revolución
--------------	--

Resolución = 2 m / 2500

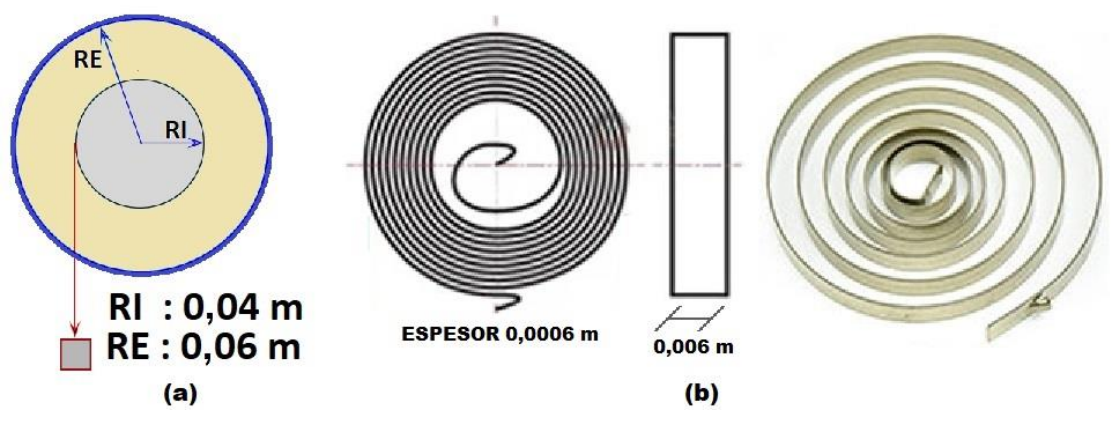
Resolución	:	0,0008 m	(CUMPLE)
------------	---	----------	----------

#### 4.4 Diseño unidad mecánica de medición (Bump Integrator)

La unidad bump integrator se debe cumplir con el requerimiento de resolución de 0,001 m, en base a este requerimiento se diseñó un disco con un diámetro de 0,04 m y un cable acerado de 0,001 m como se muestra en la figura 35(a). El disco gira sobre su eje y para medir los desplazamientos se utiliza un encoder óptico 600-128-C24 de la marca Honeywell, finalmente un fleje tipo muelle es colocado para mantener el giro del disco como se muestra en la figura 35(b).

**Figura 35**

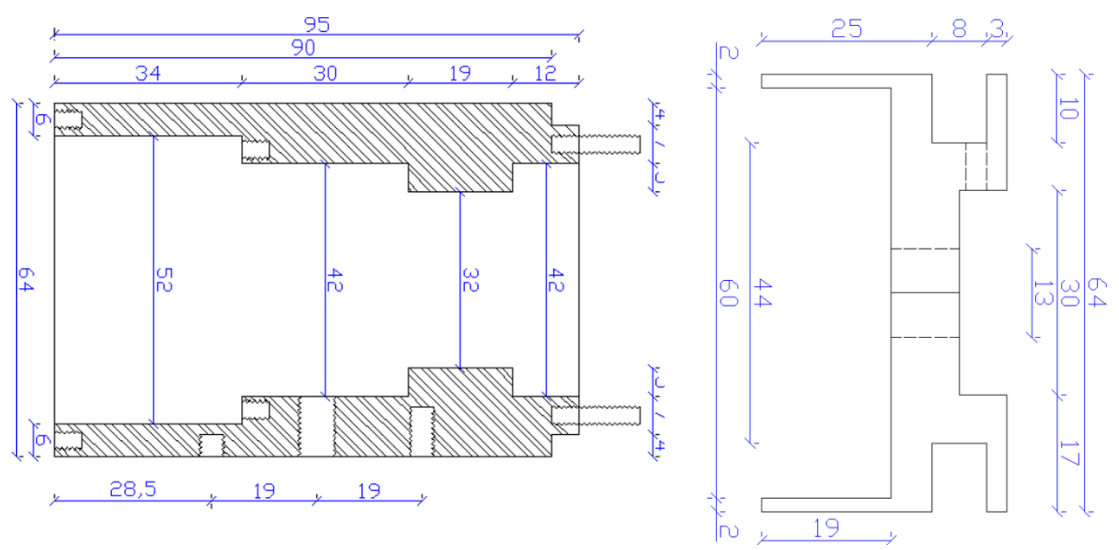
*Esquema disco y fleje para sensor bump integrator*

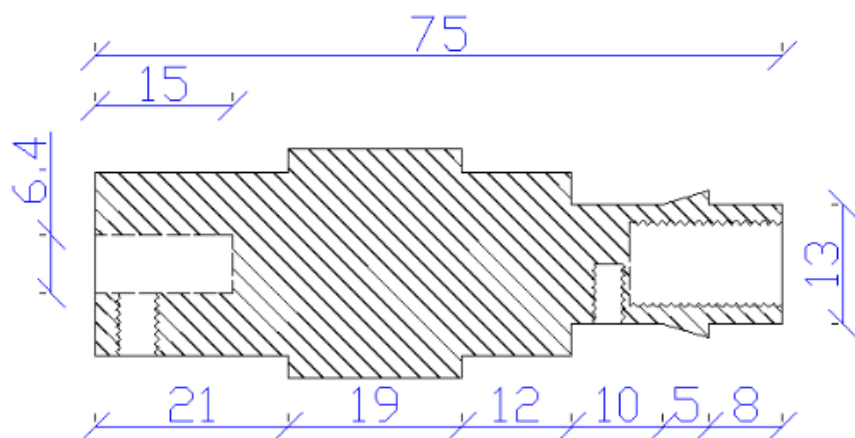
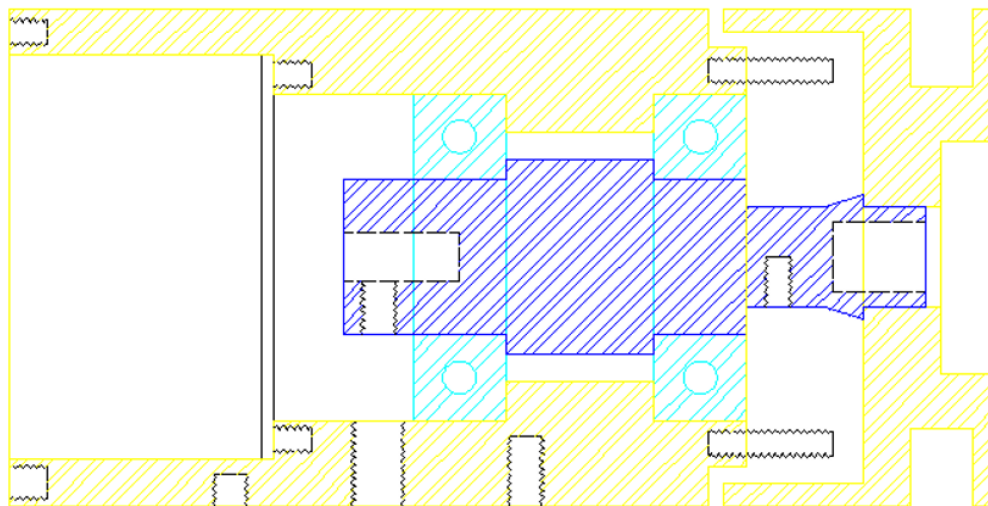


Es necesario una estructura para la unidad bump integrator, el diseño propuesto contempla un cilindro de aluminio, un vástago concéntrico al cilindro y soportado por rodamientos. Esta estructura protege el encoder óptico, permite ser anclado sobre la tolva de una camioneta, los planos y medidas son mostrados en las figuras 36, 37 y 38.

**Figura 36**

*Planos cilindro aluminio para sensor mecánico*



**Figura 37***Planos vástago interno cilindro aluminio***Figura 38***Vista sensor mecánico completo*

El cálculo de la longitud de la circunferencia y la resolución del encoder se muestra en la tabla 3, se está considerando el espesor del cable acerado 1 mm sobre el diámetro sobre del cilindro.

**Tabla 3**

*Cálculo diámetro y circunferencia sensor mecánico*

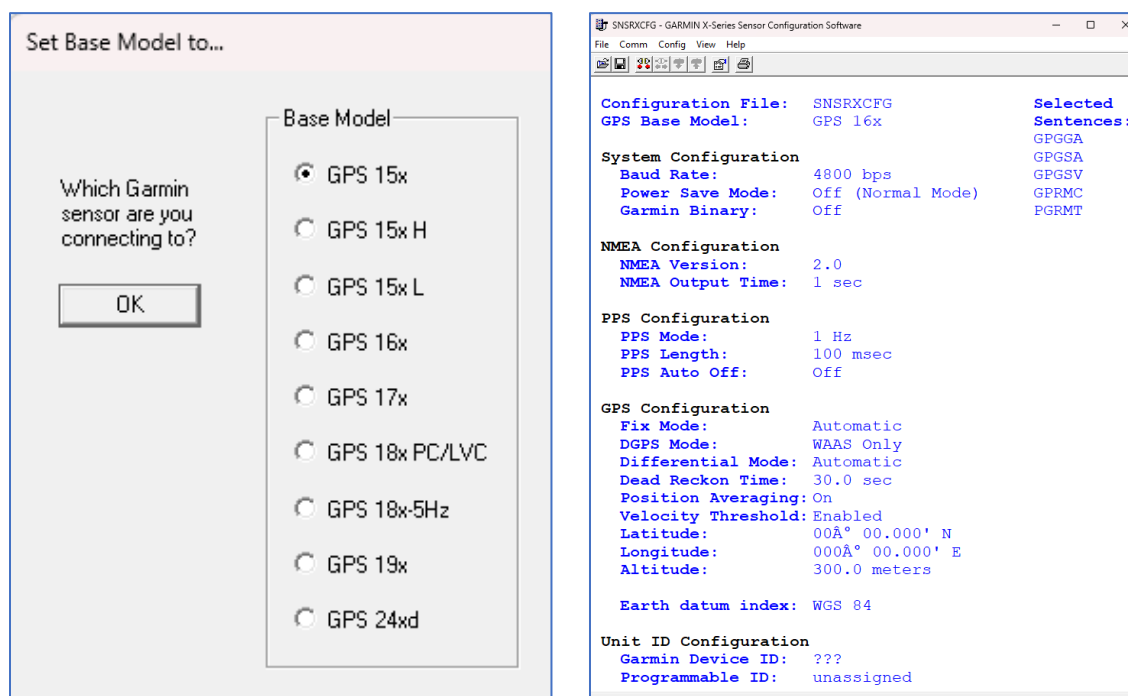
DIAMETRO CILINDRO	CABLE ACERADO	DIAMETRO TOTAL (RI)	CIRCUNFERENCIA	ENCODER 128 PPR
0,04 m	0,001 m	0,041 m	0,1288 m	0,00025 m

#### 4.5 Dispositivo de Geoposicionamiento (GPS)

La unidad de geoposicionamiento GPS GARMIN 18x utiliza un protocolo de comunicación serial RS-232, viene encapsulado para su protección. Adicional se dispone de software del fabricante para programación y actualización SNSRXCFG el cual se muestra en la figura 39.

**Figura 39**

*Software SNSRXCFG para configurar GPS GARMIN 18x*



Las especificaciones del dispositivo GARMIN 18x fueron modificadas para el equipo rugosímetro bump integrator, estos valores se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Cuadro de configuración GPS GARMIN 18x*

PARAMETRO	ESPECIFICACION
VOLTAJE	4,0 – 5,0 VDC
CORRIENTE	90 mA
SALIDA SERIAL	0,0 - 5,5 VDC
VELOCIDAD SERIAL	19200 baudios (defecto)
RATIO SALIDA	1 segundo
PRECISION	< 15 metros
SENTENCIAS	GPRMC ( <i>Recommended Minimum Specific</i> )

#### 4.6 Software Embebido, Software Escritorio.

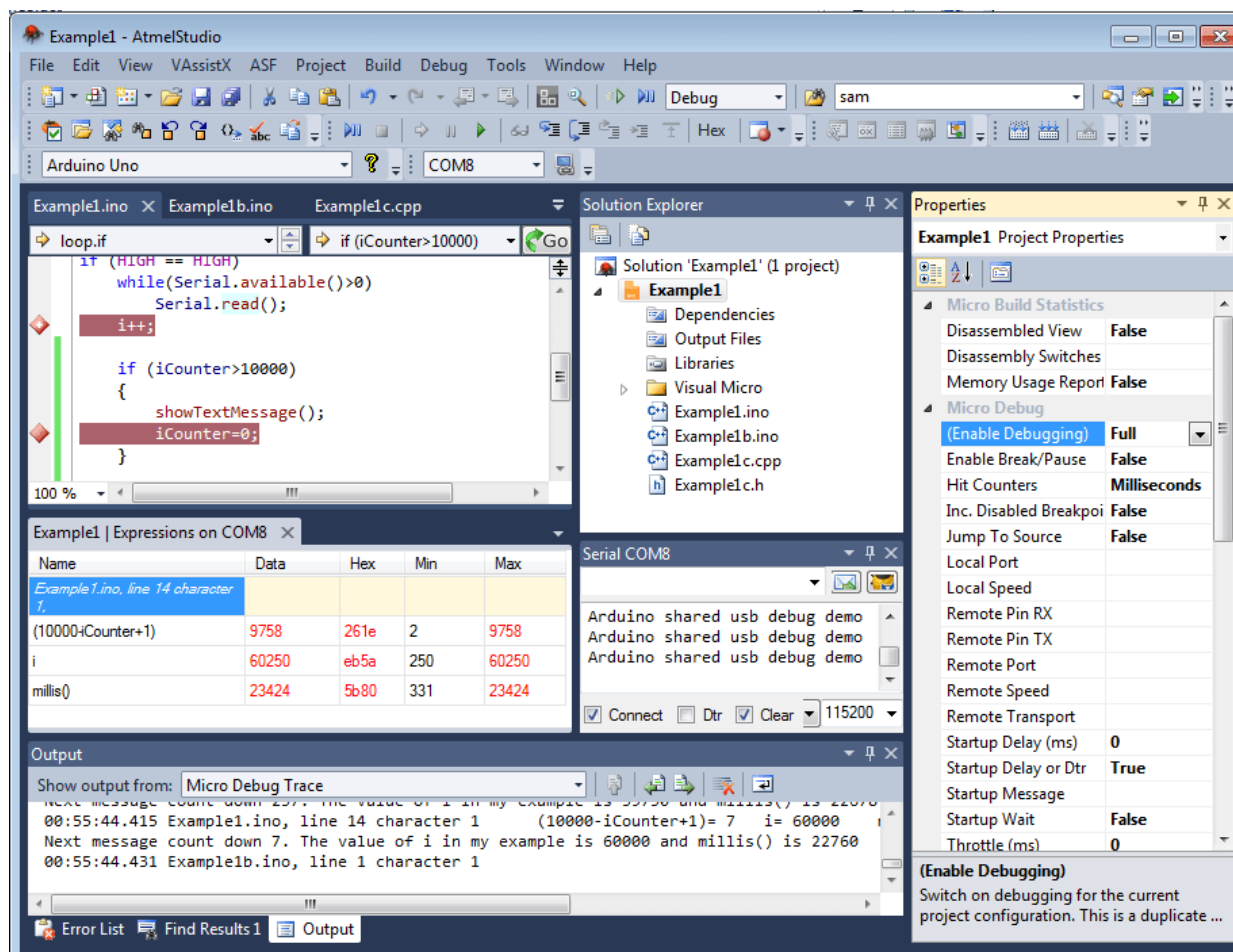
En el apartado de software es necesario diseñar e implementar dos softwares, el primero es un software embebido (microcontrolador) y un software de escritorio y descarga de datos (Computador).

##### 4.6.1 *Diseño Software Embebido*

Para dispositivos embebidos los fabricantes ponen a disposición de los usuarios plataformas de desarrollo y programación, en el caso de Microchip para la programación de dispositivos de la familia AVR ofrece el software **MICROCHIP STUDIO FOR AVR® AND SAM DEVICES** de uso libre y gratuito. La interfaz principal se muestra en la figura 40.

Figura 40

Plataforma de desarrollo AVRStudio – Microchip

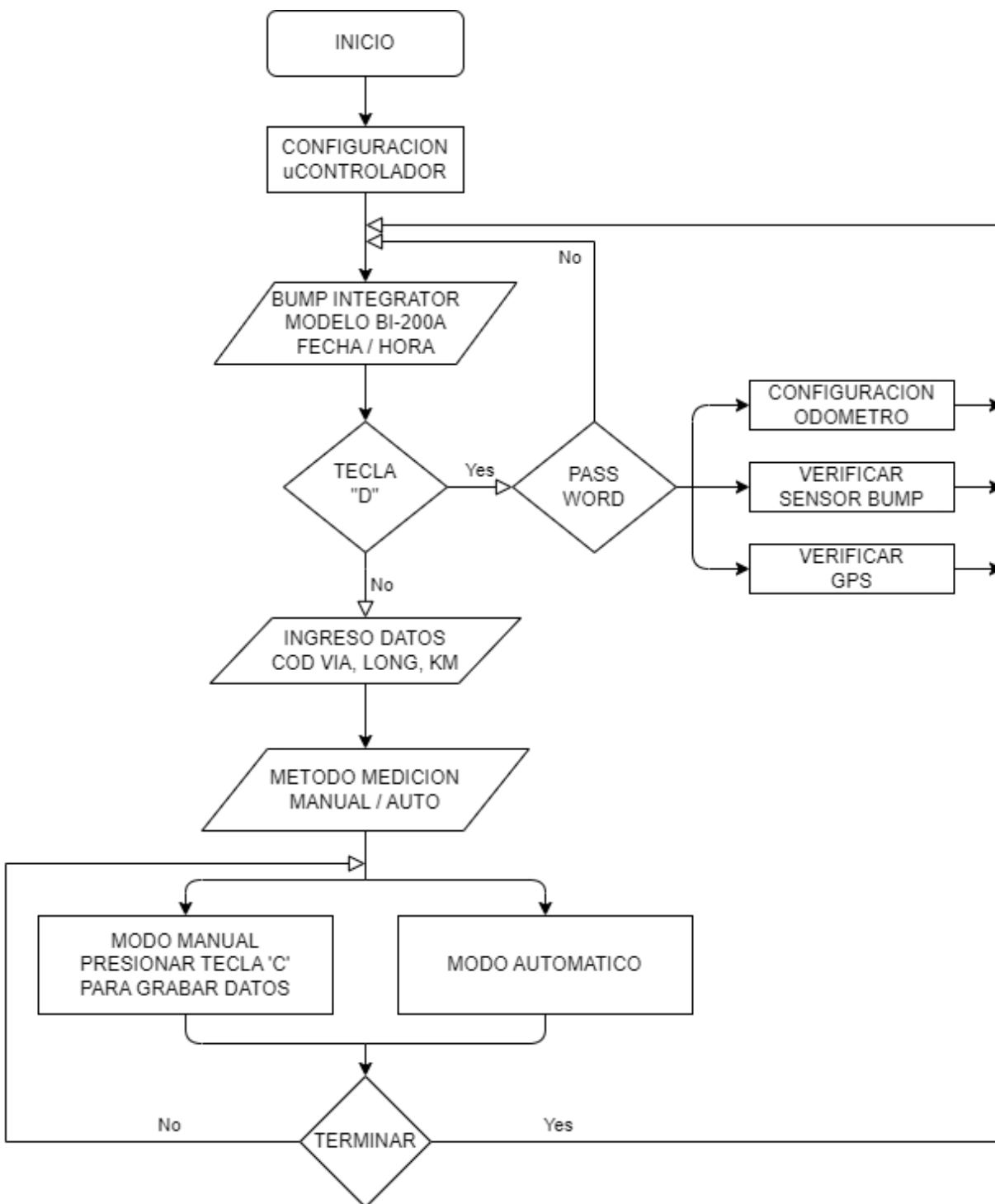


El firmware será implementado usando lenguaje C embebido, un algoritmo base es mostrado en la figura 41, se identifica las principales etapas del programa requerido.

El algoritmo tiene 4 etapas claramente definidas, la primera etapa es la configuración del microcontrolador, la segunda etapa permite ingresar al menú configuración o ingresar al menú ingreso de datos, la tercera etapa es la medición manual o automática, finalmente se termina el ciclo de medición y se reinicia el algoritmo.

Figura 41

Algoritmo general para software embebido



#### **4.6.2 *Diseño Software Escritorio***

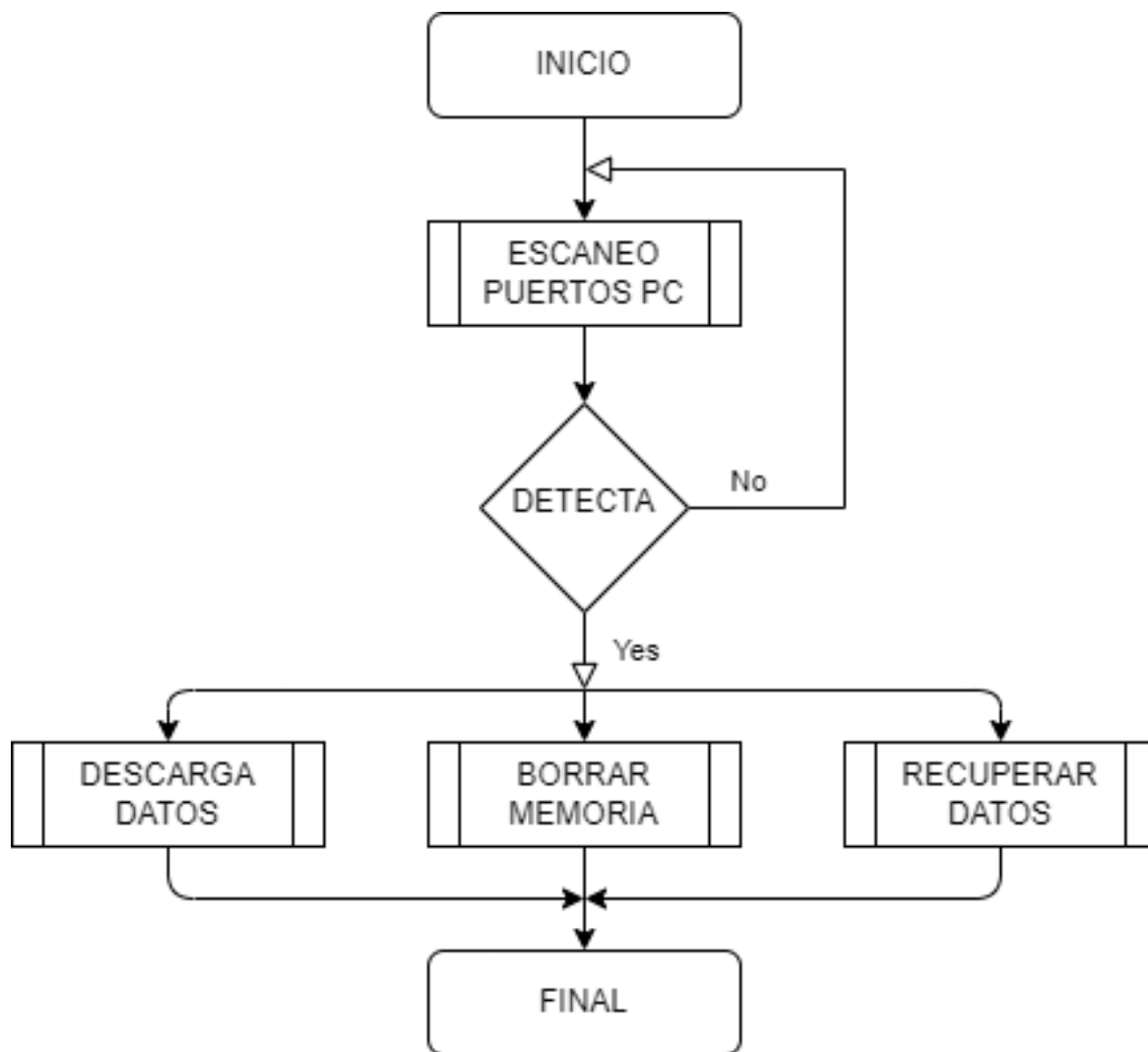
Programas y lenguajes de programación para computadora personal existen en gran número en el mercado actual, como por ejemplo el Visual Basic, C, C++, Pascal, LabWindows CVI, Labview, y muchos otros confeccionados específicamente para las aplicaciones que los necesiten. Microsoft Visual Studio es un entorno de desarrollo integrado para sistemas operativos Windows, soporta múltiples lenguajes de programación tales como C++, C#, Visual Basic .NET, F#, Java, Python, Ruby, PHP, etc.

El software de escritorio será implementado utilizando la plataforma de desarrollo Visual Studio en su versión gratuita, a continuación, se muestra el algoritmo base.

El software de escritorio cuenta con 2 etapas, la primera etapa escanea los puertos serie para detectar el equipo rugosímetro, la segunda etapa permite descargar la información almacenada, borrar la memoria de almacenamiento y la tercera opción permite recuperar los datos desde un archivo fuente.

**Figura 42**

*Algoritmo general para software de escritorio*



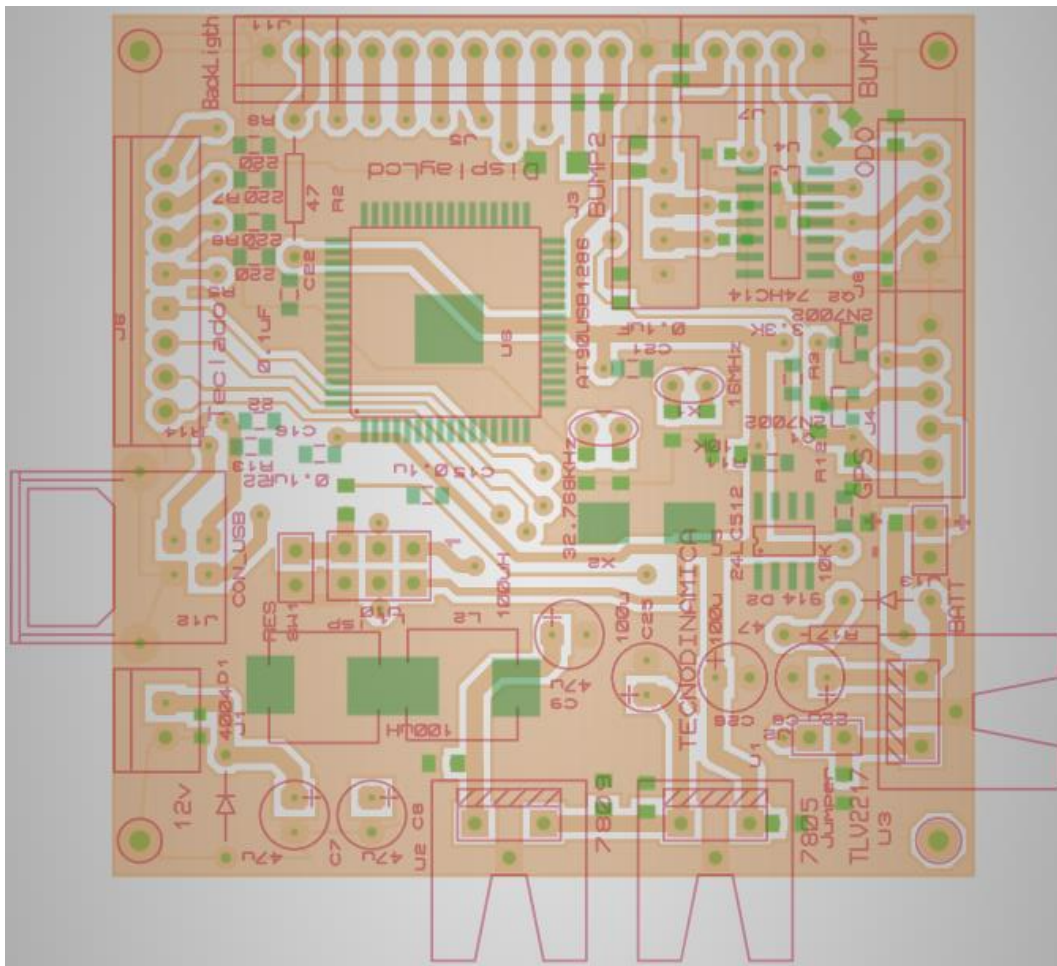
## CAPITULO V : IMPLEMENTACION E INSTALACION

### 5.1 Unidad Adquisición de Datos y Control

El circuito eléctrico en modo esquemático es trasladado al modo PCB (impreso) para el trabajo de soldadura y programación, el software utilizado es PROTEUS en su versión libre. En la figura 43 se muestra el circuito PCB terminado.

**Figura 43**

*Circuito eléctrico impreso PCB*



Material	:	Fibra de vidrio.
Capas	:	2 capas.
Serigrafía	:	Mascara y distribución.
Espesor	:	0,0016 m
Agujero mínimo	:	0,0008 m
Metalizado	:	Sin Metalizar
Medidas	:	0,063 x 0,063 m

La tarjeta electrónica recibe las señales eléctricas de los dispositivos externos a través de los conectores como son: voltaje alimentación, unidad mecánica de medición, odómetro, teclado, pantalla y USB. Todos los conectores y componentes del adquisidor de datos van colocados en una caja de aluminio como se muestra en la figura 44.

#### **Figura 44**

*Enclosure Box para adquisidor de datos*



En las cuatro figuras siguientes se muestra el adquisidor de datos terminado, el teclado y la pantalla LCD se ubican en la parte superior frontal, los conectores para los sensores mecánicos, dispositivo medición de distancia y batería se encuentran en la parte posterior. En la parte posterior izquierda un conector para alimentación externa. En la parte posterior derecha el conector USB para descarga de datos junto al conector de GPS.

**Figura 45**

*Adquisidor de datos vista posterior*



**Figura 46**

*Adquisidor de datos vista lateral*



## 5.2 Unidad Mecánica de Medición

La unidad mecánica de medición es fabricada en base a los planos diseñados y utilizando aluminio de calidad DURALUMINIO. En las figuras 47 y 48 se muestra el producto terminado y listo para ser utilizado.

**Figura 47**

*Unidad mecánica del rugosímetro bump integrator*



**Figura 48**

*Unidad mecánica con soporte de fijación*

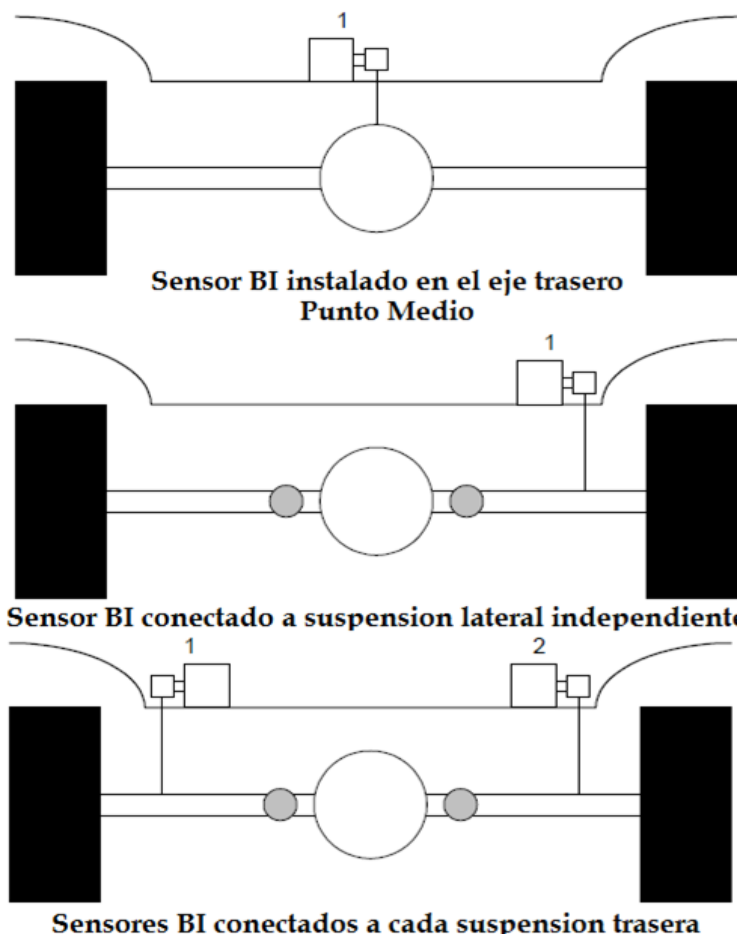


El sensor mecánico está conformado por el encoder óptico, cilíndrico de aluminio, sistema de rotación, fleje metálico y una base metálica para fijarlo en la tolva de la camioneta.

La forma de instalación de los sensores se muestra en la figura 49, existen 3 posibilidades para instalar los sensores, la mejor opción es colocar los 2 sensores (derecha e izquierda), esto permite medir el movimiento vertical de cada lado en la camioneta.

### Figura 49

*Modo instalación sensor mecánico*



Para la instalación del sensor mecánico sobre un vehículo se debe tomar en cuenta los siguientes pasos:

- Ubicar el eje posterior, colocar los sensores sobre el eje lo más próximos a los neumáticos.
- Realizar perforaciones para fijar el sensor y conectar la cuerda metálica sobre el eje.
- Tensar el sensor y anclar la cuerda metálica.

A continuación, en la figura 50 se muestran imágenes de la instalación de un sensor mecánico.

### **Figura 50**

*Instalación sensor mecánico, ubicación en la camioneta*

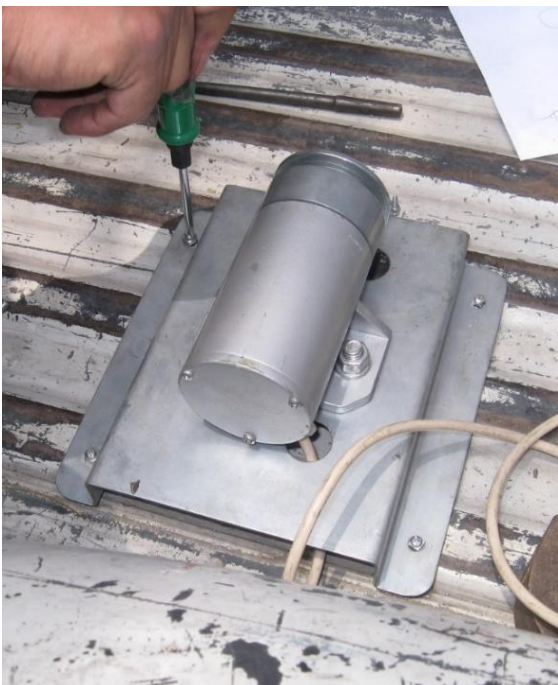


**Figura 51**

*Instalación sensor mecánico, perforaciones en la camioneta*

**Figura 52**

*Instalación sensor mecánico, fijación*



### 5.3 Dispositivo Medición de Distancia

El dispositivo de medición de distancia este compuesto de las siguientes partes : disco de acople, varilla guía, acople flexible y soporte base, encoder óptico de alta resolución. La instalación del dispositivo se realiza en el neumático posterior izquierdo. A continuación, se muestran las piezas componentes del dispositivo de medición de distancia, así como imágenes de su instalación. Las figuras: 53, 54, 55 y 56 muestran las piezas terminadas del dispositivo de medición de distancia DMI, así como la instalación en un vehículo pick-up.

#### Figura 53

*Disco de aluminio para neumático y pernos separadores*



#### Figura 54

*Varilla guía, soporte y acople flexible*



**Figura 55**

*Instalación dispositivo de medición distancia*

**Figura 56**

*Instalación final dispositivo de medición de distancia*



#### 5.4 Dispositivo de Geoposicionamiento (GPS)

El dispositivo de geoposicionamiento GPS solo requiere ser conectado a la unidad adquirente de datos para su funcionamiento. La ubicación del dispositivo se recomienda en la parte superior central del vehículo sobre la cabina, de esta forma se encuentre despejado y con acceso libre al firmamento para mejor recepción de señal satelital. La figura 57 muestra la ubicación del GPS sobre el vehículo.

**Figura 57**

*Instalación dispositivo de geoposicionamiento GPS*



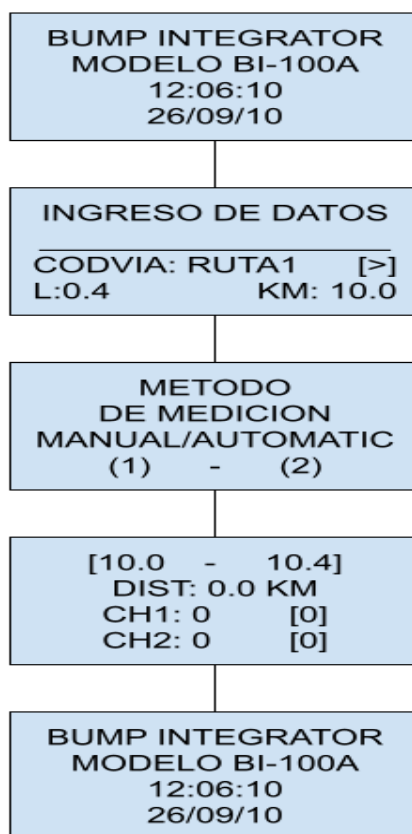
## 5.5 Software Embebido y Software Escritorio.

### 5.5.1 Software Embebido

La plataforma de desarrollo MICROCHIP STUDIO FOR AVR® AND SAM DEVICES genera un archivo con extensión “.hex”, el cual debe ser enviado hacia el microcontrolador usando un dispositivo programador bajo el protocolo ISP. A continuación, se muestran la secuencia de mensajes del adquisidor de datos, en los cuales se ingresarán los datos para iniciar la medición de rugosidad. La figura 58 muestra la secuencia de mensajes.

**Figura 58**

*Esquema de mensajes de configuración rugosímetro bump integrator*

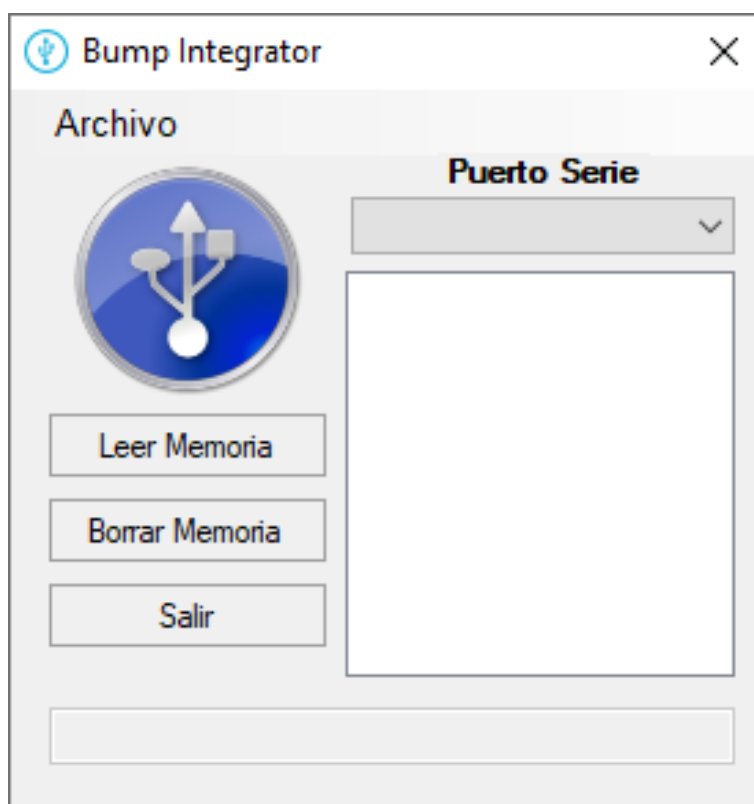


### 5.5.2 Software Escritorio

El software de escritorio para descarga de datos, es un ejecutable de interfaz gráfica. Permite tanto la descarga de datos en un solo archivo general y archivos individuales para su posterior análisis. Permite borrar la información en la memoria del adquisidor de datos. Las figuras 59, 60 y 61 muestran cómo se utiliza el software de escritorio.

#### Figura 59

*Pantalla de inicio software de descarga de datos*



**Figura 60**

*Software de descarga de datos, listado de archivos*

**Figura 61**

*Archivo con datos de medición en formato ".txt"*

```

DataBump3.txt - Notepad
File Edit View
KM : 100.0
FRECUENCIA : 100
SENTIDO : >
CODVIA : Nanu4
HORA : 20:35:06
FECHA : 11/05/22
LATITUD : -1201.8385
LONGITUD : -7657.50688
CANAL 1 CANAL 2 HORA FECHA LATITUD LONGITUD
321 331 20:35:28 11/5/2022 -1201.8385 -7657.5830
508 556 20:35:57 11/5/2022 -1201.8385 -7657.5831
1152 1124 20:36:11 11/5/2022 -1201.8385 -7657.5831
Ln 1, Col 1 | 100% | Windows (CRLF) | UTF-16 LE

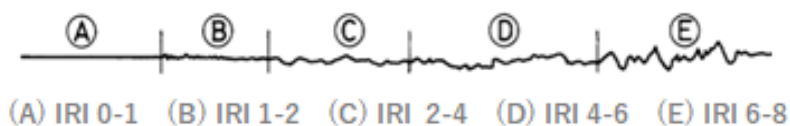
```

## CAPITULO VI : RESULTADOS

Los equipos rugosímetro bump integrator son tipo respuesta de clase III, se requiere realizar un procedimiento de validación por comparación de resultados con un equipo de clase superior, como el Perfilómetro Laser Clase I o el Rugosímetro MERLIN para establecer una ecuación de correlación. Otra razón por la cual es necesario realizar el procedimiento de validación es debido a las características propias de cada vehículo, es necesario una ecuación para asegurar mediciones con buena precisión en valores de rugosidad. La figura 62 muestra una representación de los niveles de rugosidad en las carreteras.

**Figura 62**

*Valores de IRI y perfil superficial*



### 6.1 Procedimiento de validación

Establecer 3 zonas de calibración de la rugosidad, las zonas de calibración deben ser de valores IRI (Bueno, Medio, Malo).

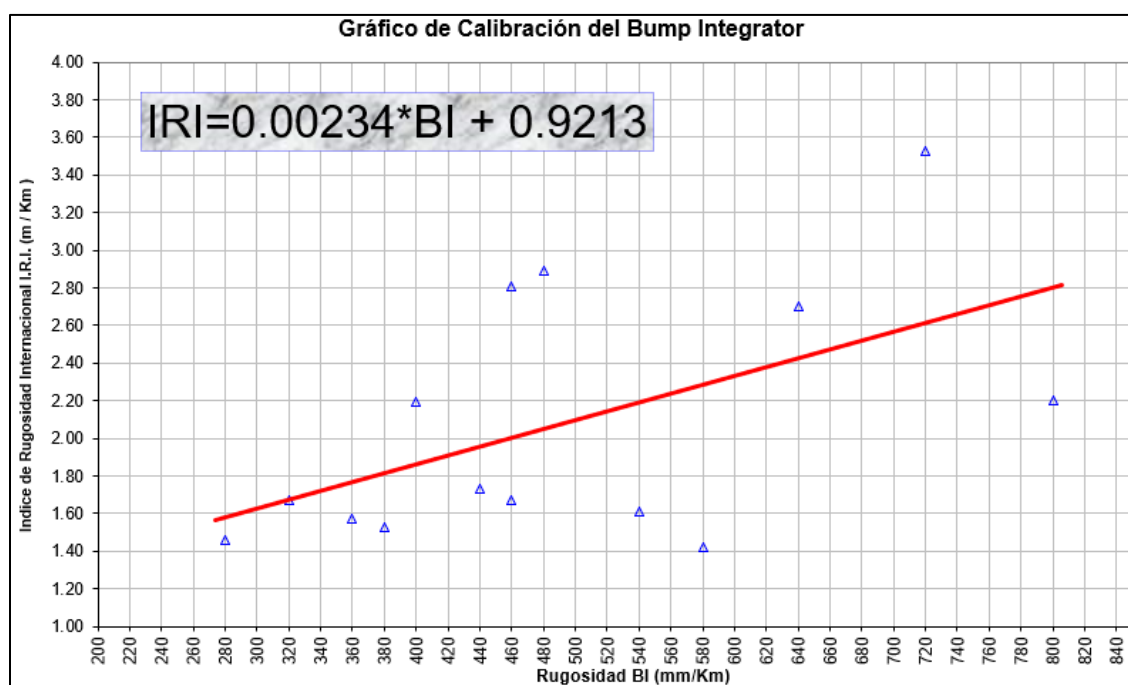
- Medir las 3 zonas de calibración con un equipo clase I o clase II.
- Medir con el rugosímetro las 3 zonas de calibración y registre los valores BI.
- Grafique los valores BI contra los valores conocidos de IRI para calcular los coeficientes.
- Establecer los coeficientes de la ecuación de correlación.

Requerimientos de las zonas de validación son las siguientes:

- Las zonas de validación deben cubrir todo el rango de rugosidad que el usuario encuentre en la carretera de estudio.
- Las zonas deben tener una longitud de 200-300 m (400-450 si se utiliza rugosímetro MERLIN IRI).
- Las zonas de validación se deben recorrer a velocidad constante, no presentar curvas ni pendientes, deben presentar una rugosidad uniforme.
- El punto de inicio y el punto final de los tramos deben marcarse claramente con clavos u otro tipo de marcador permanente.

**Figura 63**

*Ecuación de correlación rugosímetro bump integrator*



La ecuación de correlación tiene la siguiente forma:

$$IRI = A (BUMP) + B \quad (3)$$

Donde A, B : Coeficientes ecuación  
 BUMP : Valores rugosímetro bump integrator

Los criterios de validación se tomarán del documento “Generic Equipment Specification Multi-Function Road Data Collection System” Enero 2007 del Banco Mundial y son resumidos en la tabla 5. La validación del equipo se considera satisfactoria si se cumplen los para metros **A**, **B** y **R<sup>2</sup>**.

**Tabla 5**

*Criterios de validación Rugosímetro Bump Integrator*

LIMITES DE VALIDACION				
PARAMETER	SLOPE (A)	INTERCEPTO (B)	CORRELATION R <sup>2</sup>	ACCEPTANCE LIMITE β
ROUGHNESS	0,98 – 1,02	0,05 IRI	0,99 – 1,00	≤ 0,030 IRI
RESPONSE TYPE ROUGHNESS	Not Applicable	0,5 IRI	0,93 – 1,00	≤ 0,30 IRI

A continuación, se muestran imágenes de sobre un proceso de validación realizado con un perfilómetro laser clase I. En el vehículo se encuentra instalado en simultaneo ambos equipos Perfilómetro Laser Clase I y el rugosímetro bump integrator.

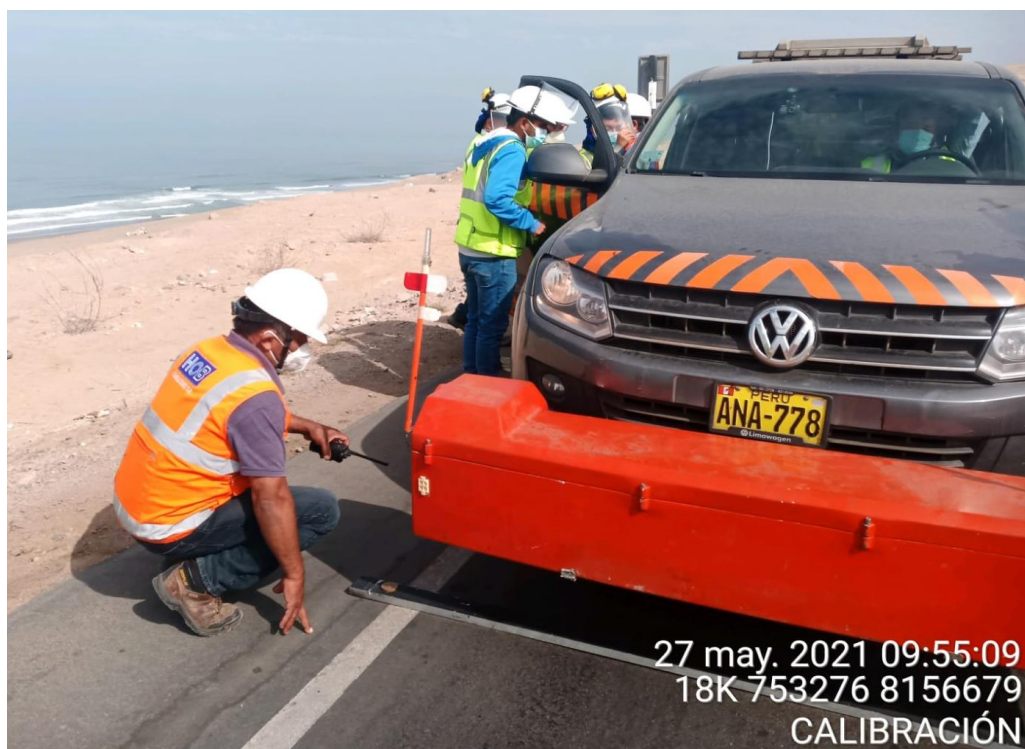
Se hacen 15 mediciones en cada zona de calibración (45 en total), la velocidad recomendada es de 40 Km/h, las pruebas son supervisadas por personal del contratista.

**Figura 64**

*Marcación punto inicio zona de validación*

**Figura 65**

*Ubicación vehículo punto de inicio*



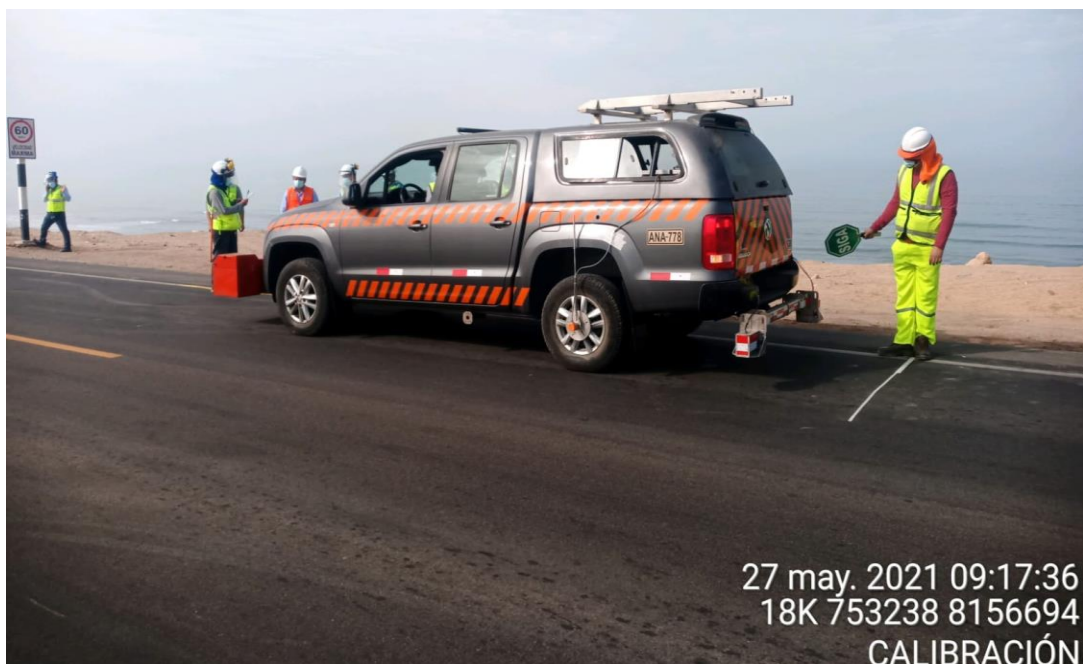
**Figura 66***Vista sector validación***Figura 67***Punto final de la zona de validación*

Figura 68

Resumen evaluación de datos - validación rugosímetro

ZONA VALIDACION BUENA		
IRI Clase I (Ref.)	IZQ	DER
<b>1,46</b>	<b>1,46</b>	<b>1,63</b>
MEDICIONES RUGOSIMETRO BUMP INTEGRATOR	779	759
	720	742
	789	756
	794	746
	787	766
	761	769
	762	779
	749	736
	761	749
	760	707
ESTADISTICAS		
Nro. Datos	10	10
Promedio	766	751
Desv. Standard	22,19	20,26
Covarianza	2,9%	2,7%
Max	794	779
Min	720	707
Rango	74	72

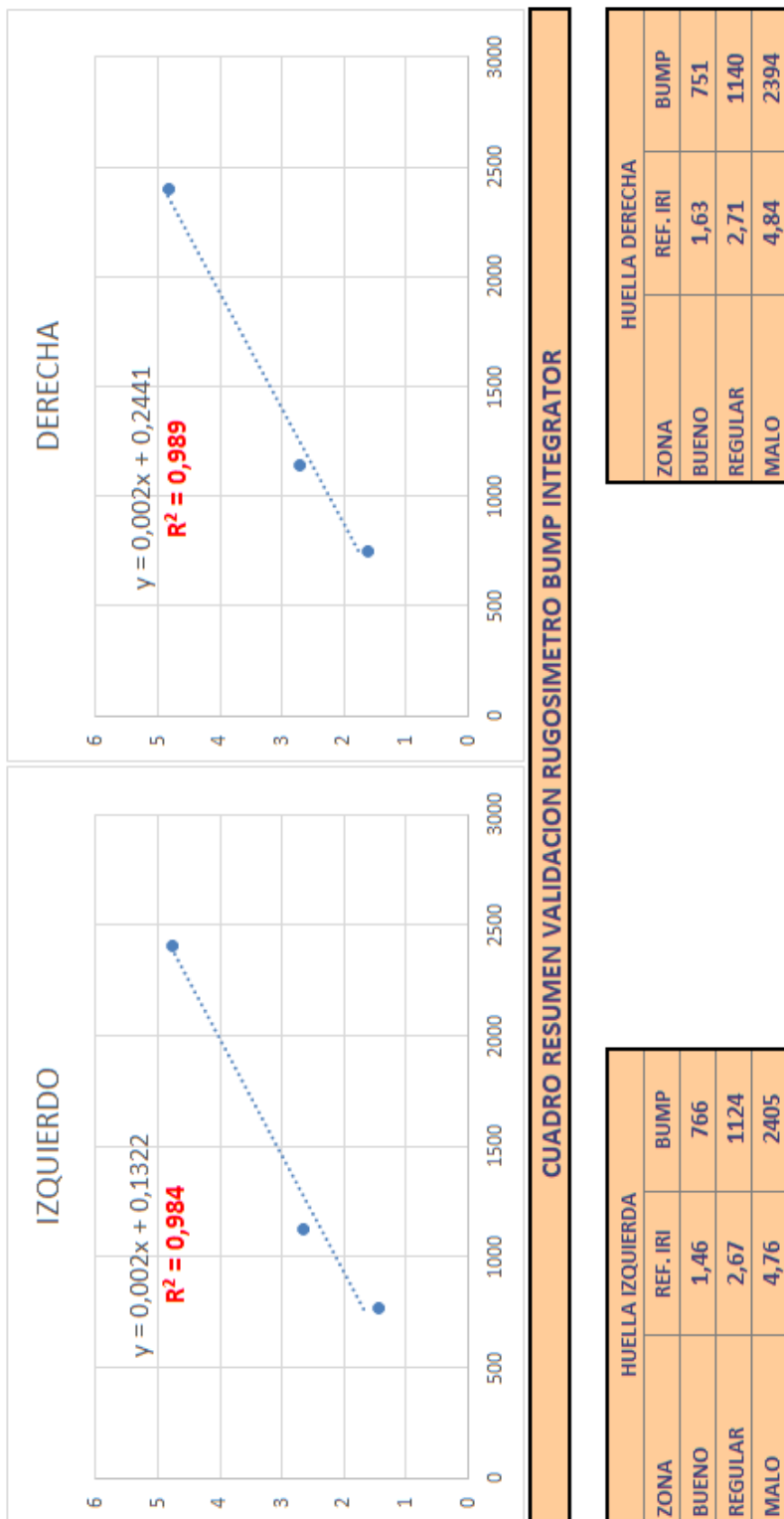
ZONA VALIDACION REGULAR		
IRI Clase I (Ref.)	IZQ	DER
<b>2,67</b>	<b>2,67</b>	<b>2,71</b>
MEDICIONES RUGOSIMETRO BUMP INTEGRATOR	1130	1173
	1125	1142
	1060	1118
	1128	1107
	1155	1154
	1126	1129
	1146	1140
	1162	1107
	1137	1124
	1068	1204
ESTADISTICAS		
Nro. Datos	10	10
Promedio	1124	1140
Desv. Standard	33,91	30,59
Covarianza	3,0%	2,7%
Max	1162	1204
Min	1060	1107
Rango	102	97

ZONA VALIDACION MALA		
IRI Clase I (Ref.)	IZQ	DER
<b>4,76</b>	<b>4,76</b>	<b>4,84</b>
MEDICIONES RUGOSIMETRO BUMP INTEGRATOR	2361	2437
	2386	2384
	2534	2353
	2359	2561
	2380	2384
	2508	2301
	2396	2388
	2307	2419
	2413	2351
	2406	2365
ESTADISTICAS		
Nro. Datos	10	10
Promedio	2405	2394
Desv. Standard	68,34	69,62
Covarianza	2,8%	2,9%
Max	2534	2561
Min	2307	2301
Rango	227	260

Figura 69

Grafica ecuación de correlación - validación rugosímetro



## 6.2 Resultados

Terminado el procedimiento de validación y haciendo uso de la ecuación (3) se determinaron dos ecuaciones de correlación independientes para cada eje del vehículo. En base a estos resultados podemos comparar con los criterios de validación mostrados en la tabla 5.

Ecuación de correlación Huella Derecha :  $IRI = 0,002(BI) + 0,2441$

Correlación  $R^2$  : 0,989

B	=	0,2441	(0,5 IRI)
$R^2$	=	0,989	(0,93 – 1,0)

Ecuación de correlación Huella Izquierda :  $IRI = 0,002(BI) + 0,1322$

Correlación  $R^2$  : 0,984

B	=	0,132	(0,5 IRI)
$R^2$	=	0,984	(0,93 – 1,0)

## CONCLUSIONES

El desarrollo del rugosímetro bump integrator represento un desafío tecnológico, permite aportar conocimiento, experiencia en diseño, planeación, implementación y fabricación de un equipo electrónicos para medición. Se logro fabricar un equipo funcional, compacto, bajo costo que permite obtener valores de IRI con buena precisión.

El rugosímetro cuenta con dispositivos electrónicos que garantizan el correcto funcionamiento, mejorando la capacidad de almacenamiento de datos, mayor resolución en los sensores mecánicos, bajo consumo de energía. Todas estas mejoras permiten una buena autonomía y evitan retrasos e imprevistos durante las mediciones, se reduce también el planeamiento logístico, uso de personal y otros equipos de apoyo.

Se aprovecha las funcionalidades y módulos del microcontrolador mediante un algoritmo que optimiza el uso de interrupciones, priorizando la recepción de datos y almacenamiento en memoria. El software embebido es implementado usando lenguaje C embebido y el software de escritorio es implementado usando lenguaje C, permitiendo un desarrollo más rápido y eficiente. Toda la comunicación es basada en el protocolo USB.

Para establecer la ecuación de correlación se ha seguido cada etapa indicada en las normas internacionales y la normativa nacional. En este procedimiento participan personal de Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, personal de la empresa encargada de la construcción y/o mantenimiento de la carretera. Se verifica, almacena y transfiere la información de las mediciones

entre personal de ambas instituciones. La empresa a cargo de la carretera realiza los cálculos respectivos y emite informe con los resultados. De esta manera el personal del Ministerio de Transportes y Comunicaciones da validez y aceptación a la ecuación de correlación planteada.

## RECOMENDACIONES

Para establecer la ecuación de correlación se recomienda mínimo de 10 mediciones en cada zona de validación, con el objetivo de filtrar valores que no cumplen con la precisión requerida. Cabe resaltar que es necesario dos ecuaciones de correlación, debido a que los sensores mecánicos funcionan independientes. Siendo la huella derecha del vehículo la que generalmente presenta mayor desgaste.

La fabricación del equipo rugosímetro bump integrator es un trabajo multidisciplinario, es necesario contar con un especialista (ingeniero civil) con experiencia en carreteras para brindar apoyo y asesoría para orientar, corregir y modificar las características del equipo.

El equipo rugosímetro bump integrator ha tenido buena aceptación en el mercado local, incluso en países como Ecuador y Panamá donde recibieron el equipo con mucha expectativa.

## REFERENCIAS

- Álvarez, S., & Rivero, R. (2012). Instrumento electrónico para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) con base en el perfilómetro estático Merlin. *Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 27(1), 49–55.  
[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652012000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652012000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Alan Trevendor, “Practical AVR Microcontroller”. Bump Integrator Unit Mark III Model A1471. (2023) [http://kanomax.co.kr/html/product/pdf/safety\\_16.pdf](http://kanomax.co.kr/html/product/pdf/safety_16.pdf)
- American Society for Testing and Materials. (2021). Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements. (ASTM E1926-08). <https://www.astm.org/e1926-08r21.html>
- American Society for Testing and Materials . (2023). Standard Test Method for Measuring Road Roughness by Static Level Method. (ASTM E1364). <https://www.astm.org/e1364-95r23.html>
- American Society for Testing and Materials . (2023). Standard Test Method for Measurement of Vehicular Response to Traveled Surface Roughness. (ASTM E1082). <https://www.astm.org/e1082-90r24.html>
- Bennett, C. R., Chamorro, A., Chen, C., De Solminihac, H., & Flintsch, G. W. (2007). *Data Collection Technologies for Road Management Version 2.0-February 2007 Data Collection Technologies for Road Management 13 Data Collection Technologies for Road Management*.
- CNS FARNELL. (2012). *Bump Integrator Unit Mark III - Model A1471*.  
[http://kanomax.co.kr/html/product/pdf/safety\\_16.pdf](http://kanomax.co.kr/html/product/pdf/safety_16.pdf)
- Deza García, R. de J., Obeso Alcántara, A. E., & Deza García, R. de J. (2018). Construcción de un perfilómetro de precisión digital para el cálculo del índice de rugosidad internacional de una

carpeta asfáltica en la carretera Panamericana Norte, tramo Vía de Evitamiento Trujillo desde el km 557+000 al 558+000. In *Universidad Privada Antenor Orrego*.  
<https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4179>

Laura Hirpahuanca, D. (2016). Determinación y comparación de la regularidad superficial del pavimento de la carretera Cusco-Urcos, usando teléfonos inteligentes y el Rugosímetro de Merlin - 2016. *Universidad Andina Del Cusco*.  
<http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/711>

Manco Castillo, K. G. (2020). *Análisis de la variabilidad del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la carretera Baños del Inca – Llacanora, utilizando el equipo MERLIN y la aplicación Roadroid en un smartphone*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25370>

Microchip Technology Inc. (2012). *8-bit Atmel Microcontroller with 64/128K*.  
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc7593.pdf>

Rodríguez Zelaya, E. V., Torres Mayorga, L. M., & Villeda Alvarenga, M. Ángel. (2019). *Desarrollo de metodología para la medición de IRI (International Roughness Index), mediante el uso de un rugosímetro basado en el MERLIN (Machine Evaluating Roughness Using Low Cost Instrumentation), para evaluación de pavimentos flexibles y rígidos en El Salvador*. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/20699/>

ROMDAS. (2016). *Rugosímetro Bump Integrator ROMDAS*.  
<https://romdas.com/downloads/documents/19-10-15%20ROMDAS%20Bump%20Integrator.pdf>

Sayers, M. W., & Gillespie, T. D. (1986). *Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements*.  
<https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/3133/72764.pdf>

- Sayers, M. W., Gillespie, T. D., & Paterson, W. D. (1986). *The international road roughness experiment: establishing correlation and a calibration standard for measurements*.  
<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/326081468740204115/The-International-Road-Roughness-Experiment-IRRE-establishing-correlation-and-a-calibration-standard-for-measurements>
- Sayers, M. W., & Karamihas, S. M. (1998). *The Little Book of Profiling Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles*.  
<https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/21605/90151.pdf?sequence=1>
- Vidal Asencios, D. (2016). *Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco: mediante smartphone y un método tradicional*.  
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6623>
- Sánchez, C. (08 de febrero de 2019). Normas APA – 7ma (séptima) edición. Normas APA (7ma edición). <https://normas-apa.org/>

## ANEXOS

## ANEXO A: Hoja de datos sensor encoder serie 600

Characteristic				
Electrical travel	continuous/360°			
Input voltage	5 Vdc ±5%			
Output voltage: high low	2.4 V min. with 10 kOhm load to ground 0.4 V, max.			
Output rate	128 pulses/revolution per channel			
Supply current	30 mA, max.			
Channels	two separate output channels in quadrature, 90° ±45°			

Table 2. Mechanical Specifications

Characteristic	Parameter			
	600-128-C24	600-128-B66	600-128-CBL	600-128-CN1
Mechanical travel	continuous/360°			
Operating speed	300 RPM, max.			
Operating torque	0,011 N m [1.5 in oz], max.			
Rotational life	10 million shaft rotations, min.			
Shaft: diameter end play radial play axial force material	6,35 mm [0.25 in] 0,127 mm [0.005 in], max. 0,254 mm [0.010 in] at 25,4 mm [1 in] 6,8 kg [15 lb] push/pull stainless steel			
Bushing: diameter/thread size material	9,53 mm [0.375 in] x 32 NEF 2A nickel-plated brass			
Termination type and material	PC, type C-24, 4-pin, gold-plated	PC, type B-66, 4-pin, gold-plated	cable with four-lead ribbon, 28 AWG, IL-W-168780 Type B or equivalent insulation	cable with Berg connector, 28 AWG, IL-W-168780 Type B or equivalent insulation
Terminal strength	2 lb push or pull			
Mounting hardware material: mounting nut lockwasher	nickel-plated brass nickel-plated brass			
Sealing	Controls are not sealed for board washing. Consult Honeywell for details.			

Sensor Encoder serie 600 – Unidad Bump

## ANEXO B: Hoja de datos Sensor Encoder Serie TRDA



Electrical Specifications (SAE Dimension Medium Duty)				
Model		TRDA-20R1NxxxxRZD (Totem-pole)	TRDA-20R1NxxxxVD (Line Driver)	
Power Supply	Operating Voltage *	5–30 VDC (nominal) * Range: 4.75–30.0 VDC	5VDC (nominal) * Range: 4.75–5.25 VDC	
	Allowable Ripple	3% rms max		
	Current Consumption	60 mA max		
Output Waveform	Signal Waveform	Quadrature + home position		
	Max. Response Frequency	100 kHz	200 kHz	
	Operating Speed	(max response frequency / resolution) x 60		
	Duty Ratio (Symmetry)	50% ±25%		
	Index Signal Width (at home position)	100% ±50%		
Output	Rise/Fall Time **	3µs max **	100 ns max **	
	Output Type	Totem-pole	Line driver (26C31 or equivalent)	
	Output Current	Inflow	30 mA max	20 mA max
		Outflow	10 mA max	
	Output Voltage	H	[(power voltage voltage) - (2.5V)] min	2.5V min
		L	0.4V max	0.5V max
	Load Power Supply Voltage	35 VDC max		-
Short-Circuit Protection	between each output and 0V terminal		-	
* To be supplied by Class II source.				
** With a cable of 2m or less; Max load.				
Mechanical Specifications				
Starting Torque	0.003 N·m (0.002 lb·ft) max @ 20 °C [68 °F]			
Max Allowable Shaft Load	Radial: 50N (11.2 lb); Axial: 30N (6.7 lb)			
Max Allowable Speed	5000 rpm (max speed that the mechanical integrity of encoder can support)			
Wire Size	0.2 mm <sup>2</sup> [24 AWG] shielded, oil-resistant PVC			
Mounting Orientation	can be mounted in any orientation			
Weight	approx 270g (9.52 oz) [with 2m cable]			

Sensor Encoder Serie TRDA – Unidad Odómetro

## ANEXO C: Especificaciones técnicas GPS GARMIN 18x

### 1.6 TECHNICAL SPECIFICATIONS

Specifications are subject to change without notice.

#### 1.6.1 Physical Characteristics

##### 1.6.1.1 Size

61 mm (2.4 inches) in diameter and 19.5 mm (0.77 inches) in height

##### 1.6.1.2 Weight

- GPS 18x USB: 3.7 oz (105 g)
- GPS 18x PC: 6.3 oz (180 g)
- GPS 18x LVC-5m (5 meter cable): 5.6 oz (160 g)
- GPS 18x-5Hz (5 meter cable): 5.8 oz (165 g)

##### 1.6.1.3 Color

Black

##### 1.6.1.4 Case Material

Polycarbonate thermoplastic that is waterproof to IEC 60529 IPX7 level (immersion in 1 meter of water for 30 minutes)

##### 1.6.1.5 Cable Length

- GPS 18x USB: 2 meter
- GPS 18x PC: 2 meter
- GPS 18x LVC: 5 meter (Garmin Part Number 010-00321-36)
- GPS 18x-5Hz: 5 meter

#### 1.6.2 Electrical Characteristics

##### 1.6.2.1 Input Voltage

- GPS 18x USB: 4.4–5.5 Vdc
- GPS 18x PC: 8–30 Vdc (Automotive supply from cigarette lighter jack)
- GPS 18x LVC: 4.0–5.5 Vdc
- GPS 18x-5Hz: 4.0–5.5 Vdc

##### 1.6.2.2 Input Current

- GPS 18x USB: 110 mA @ 5.0 Vdc
- GPS 18x PC: 65 mA @ 12 Vdc
- GPS 18x LVC: 90 mA @ 5.0 Vdc
- GPS 18x-5Hz: 100 mA @ 5.0 Vdc

##### 1.6.2.3 CMOS Serial Output Levels

- GPS 18x PC: 0 Vdc to 5 Vdc (Asynchronous Serial, TIA-232-F (RS-232) Compatible Polarity)
- GPS 18x LVC and GPS 18x-5Hz: 0 Vdc to  $V_{in}$ , between 4 and 5.5 Vdc (Asynchronous Serial, TIA-232-F (RS-232) Compatible Polarity)

##### 1.6.2.4 GPS Receiver Sensitivity

-185 dBW minimum

## ANEXO D: Especificaciones microcontrolador ATMEL AT90USB1287

### Features

- High performance, low power AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC architecture
  - 135 powerful instructions – most single clock cycle execution
  - 32 × 8 general purpose working registers
  - Fully static operation
  - Up to 16MIPS throughput at 16MHz
  - On-chip 2-cycle multiplier
- Non-volatile program and data memories
  - 64/128Kbytes of in-system self-programmable flash
    - Endurance: 100,000 write/erase cycles
  - Optional Boot Code section with independent lock bits
    - USB boot loader programmed by default in the factory
    - In-system programming by on-chip boot program hardware activated after reset
    - True read-while-write operation
    - All supplied parts are pre-programmed with a default USB bootloader
  - 2K/4K (64K/128K flash version) bytes EEPROM
    - Endurance: 100,000 write/erase cycles
  - 4K/8K (64K/128K flash version) bytes internal SRAM
  - Up to 64Kbytes optional external memory space
  - Programming lock for software security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 compliant) interface
  - Boundary-scan capabilities according to the JTAG standard
  - Extensive on-chip debug support
  - Programming of flash, EEPROM, fuses, and lock bits through the JTAG interface
- USB 2.0 full-speed/low-speed device and on-the-go module
  - Complies fully with:
    - Universal serial bus specification REV 2.0
    - On-the-go supplement to the USB 2.0 specification rev 1.0
    - Supports data transfer rates up to 12Mbit/s and 1.5Mbit/s
- USB full-speed/low speed device module with interrupt on transfer completion
  - Endpoint 0 for control transfers: up to 64-bytes
  - Six programmable endpoints with in or out directions and with bulk, interrupt or isochronous transfers
  - Configurable endpoints size up to 256bytes in double bank mode
  - Fully independent 832bytes USB DPRAM for endpoint memory allocation
  - Suspend/resume interrupts
  - Power-on reset and USB bus reset
  - 48MHz PLL for full-speed bus operation
  - USB bus disconnection on microcontroller request
- USB OTG reduced host:
  - Supports host negotiation protocol (HNP) and session request protocol (SRP) for OTG dual-role devices
  - Provide status and control signals for software implementation of HNP and SRP
  - Provides programmable times required for HNP and SRP
- Peripheral features
  - Two 8-bit timer/counters with separate prescaler and compare mode
  - Two 16-bit timer/counter with separate prescaler, compare- and capture mode



**8-bit Atmel  
Microcontroller  
with  
64/128Kbytes  
of ISP Flash  
and USB  
Controller**

**AT90USB646  
AT90USB647  
AT90USB1286  
AT90USB1287**

## ANEXO E: Especificaciones electricas memoria 24xx512

## 24AA512/24LC512/24FC512

### 1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

#### Absolute Maximum Ratings (†)

V <sub>CC</sub> .....	6.5V
All inputs and outputs w.r.t. V <sub>SS</sub> .....	-0.6V to V <sub>CC</sub> +1.0V
Storage temperature.....	-65°C to +150°C
Ambient temperature with power applied.....	-40°C to +125°C
ESD protection on all pins.....	≥4 kV

† **NOTICE:** Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**TABLE 1-1: DC CHARACTERISTICS**

DC CHARACTERISTICS			Electrical Characteristics:			
			Industrial (I): V <sub>CC</sub> = +1.7V to 5.5V		T <sub>A</sub> = -40°C to +85°C	
			Extended (E): V <sub>CC</sub> = +2.5V to 5.5V		T <sub>A</sub> = -40°C to +125°C	
Param. No.	Symbol	Characteristic	Min.	Max.	Units	Conditions
D1	V <sub>IH</sub>	High-Level Input Voltage	0.7 V <sub>CC</sub>	—	V	
D2	V <sub>IL</sub>	Low-Level Input Voltage	—	0.3 V <sub>CC</sub>	V	V <sub>CC</sub> ≥ 2.5V
			—	0.2 V <sub>CC</sub>	V	V <sub>CC</sub> < 2.5V
D3	V <sub>HYS</sub>	Hysteresis of Schmitt Trigger Inputs (SDA, SCL pins)	0.05 V <sub>CC</sub>	—	V	V <sub>CC</sub> ≥ 2.5V ( <b>Note</b> )
D4	V <sub>OL</sub>	Low-Level Output Voltage	—	0.40	V	I <sub>OL</sub> = 3.0 mA, V <sub>CC</sub> = 4.5V
			—	0.40	V	I <sub>OL</sub> = 2.1 mA, V <sub>CC</sub> = 2.5V
D5	I <sub>LI</sub>	Input Leakage Current	—	±1	μA	V <sub>IN</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>CC</sub> , WP = V <sub>SS</sub>
			—	±1	μA	V <sub>IN</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>CC</sub> , WP = V <sub>CC</sub>
D6	I <sub>LO</sub>	Output Leakage Current	—	±1	μA	V <sub>OUT</sub> = V <sub>SS</sub> or V <sub>CC</sub>
D7	C <sub>IN</sub> , C <sub>OUT</sub>	Pin Capacitance (all inputs/outputs)	—	10	pF	V <sub>CC</sub> = 5.0V ( <b>Note</b> ) T <sub>A</sub> = 25°C, F <sub>CLK</sub> = 1 MHz
D8	I <sub>CCREAD</sub>	Operating Current	—	400	μA	V <sub>CC</sub> = 5.5V, SCL = 400 kHz
	I <sub>CCWRITE</sub>		—	5	mA	V <sub>CC</sub> = 5.5V
D9	I <sub>CCS</sub>	Standby Current	—	1	μA	SDA = SCL = V <sub>CC</sub> = 5.5V A0, A1, A2, WP = V <sub>SS</sub> , I-Temp.
			—	5	μA	SDA = SCL = V <sub>CC</sub> = 5.5V A0, A1, A2, WP = V <sub>SS</sub> , E-Temp.

**Note:** This parameter is periodically sampled and not 100% tested.

Memoria no volátil 24LC512 – Almacenamiento de datos

## ANEXO F: Firmware microcontrolador AT90USB1287

```

int main(void)
{
    /* Replace with your application code */
    cli();
    TIFR5|=(1<<TOV5);
    tmr3_off();
    tmr4_off();
    tmr0_off();
    wdt_reset();
    MCUSR&=~(1<<WDRF);
    WDTCSR= (1<<WDCE) | (1<<WDE);
    WDTCSR= 0x00;
    //CONFIGURACION DE PUERTOS
    DDRA=0x00;
    PORTA|=0xFF;
    DDRB=0x80;
    PORTB|=0xFF;
    DDRC=0x00;
    PORTC=0xFF;
    DDRD=0x02;
    PORTD|=0xFF;
    DDRE=0x02;
    PORTE|=0xFD;
    DDRF=0x02;
    PORTF|=0xFD;
    DDRG=0x00;
    PORTG|=0xFF;
    DDRH=0x00;
    PORTH|=0xFF;
    DDRJ=0x00;
    PORTJ|=0xFF;
    DDRK=0x00;
    PORTK|=0xFF;
    DDRL=0x00;
    PORTL|=0xFF;
    //INICIALIZACION DE RECURSOS
    dmi=(leer_eeeprom(0x07)<<8);           //posicion DMI EEPROM
    dmi+=(leer_eeeprom(0x08));
    lcd_init();                           //Iniciar Pantalla LCD
    keypad_init();                         //Iniciar Teclado 4x4
    _delay_ms(100);

```

```

lcd_pos(0x00);
lcd_msg(" RUGOSIMETRO 2024 ");
lcd_pos(0x40);
lcd_msg("SISTEMA BUMP BI-200A");
lcd_pos(0x14);
lcd_msg("          ");
lcd_pos(0x54);
lcd_msg("          s207");
_delay_ms(5);

LimiteMem=(leer_eeprom(0x07)<<8);           //high address
LimiteMem+=(leer_eeprom(0x08));           //low address

if (LimiteMem >= 60000)//65000
{
    lcd_pos(0x00);
    lcd_msg(" Memoria Llena ");
    lcd_pos(0x40);
    lcd_msg(" Descargar y borrar ");
}

sei();
menu=0;
gps_estado='V';
Fz1sec=1;

I2CInit();                               //Iniciamos protocolo I2C
tmr4_init();                              //Configuramos Timer 4 (1 seg)
usart0_init();                            //Comunicación USART - GPS
usart1_init();                            //Comunicación USART - USB
_delay_ms(10);
tmr4_on();                                //inicio Timer 4 cada 250 ms para RTC
//BUCLE RECEPCION INTERRUPCIONES
while ((tecla=getkey())==0)
{
    if (menu_int & 0x01)                   //INTERRUPCION 1 SEGUNDO
    {
        unsigned char year, mes, dia, hour, minute, second;

        I2CStart();
        I2CWriteByte(DS3231_Write);
        I2CWriteByte(0x00);
        I2CRStart();
    }
}

```

```

I2CWriteByte(DS3231_Read);
second=I2CReadByte(10);
minute=I2CReadByte(10);
hour=I2CReadByte(10);
dia=I2CReadByte(10);
dia=I2CReadByte(10);
mes=I2CReadByte(10);
year=I2CReadByte(10);
I2CStop();

lcd_pos(0x5A);
lcd_char(((hour & ~(0xCF))>>4)|0x30);
lcd_char((hour & ~(0xF0))|0x30);
lcd_char(':');
lcd_char(((minute & ~(0x8F))>>4)|0x30);
lcd_char((minute & ~(0xF0))|0x30);
lcd_char(':');
lcd_char(((second & ~(0x8F))>>4)|0x30);
lcd_char((second & ~(0xF0))|0x30);

lcd_pos(0x1A);
lcd_char(((dia & ~(0xCF))>>4)|0x30);
lcd_char((dia & ~(0xF0))|0x30);
lcd_char('/');
lcd_char(((mes & ~(0xEF))>>4)|0x30);
lcd_char((mes & ~(0xF0))|0x30);
lcd_char('/');
lcd_char(((year & ~(0x0F))>>4)|0x30);
lcd_char((year & ~(0xF0))|0x30);
menu_int&=~(0x01);
}
//*****
if (menu_int & 0x08) //INTERRUPCION GPS
{
    check_gps();
    menu_int&=~(0x08);
}
//*****
if (menu_int & 0x10) //INTERRUPCION USB
{
    tmr4_off();
    cli();

    if (passw[0]=='U')

```

```

if (passw[1]=='0')                                //Enviar datos generales de la memoria
{
    direccion=(leer_eeprom(0x00)<<8);
    direccion+=(leer_eeprom(0x01));

    usart1_tx(direccion>>8);
    usart1_tx(direccion);
    usart1_tx('1');
    usart1_tx('2');
    usart1_tx('3');
    usart1_tx('4');
    usart1_tx('5');
    usart1_tx('6');
    direccion = 0x80;                             //Se envia datos desde esta direccion
}

if (passw[0]=='U')
    if (passw[1]=='1')
    {
        unsigned int letras;
        I2CStart();
        I2CWriteByte(0xA0);
        I2CWriteByte(direccion>>8);
        I2CWriteByte(direccion);
        I2CRStart();
        I2CWriteByte(0xA1);
        letras=0;
        for (letras; letras<128; letras++)
        {
            usart1_tx(I2CReadByte(1));
            _delay_us(1);
        }
        I2CStop();
        _delay_ms(10);
        direccion+=0x80;
    }

if (passw[0]=='U')
    if (passw[1]=='2')                             //Borrar Memoria EEPROM
    {
        I2CStart();
        I2CWriteByte(0xA0);                         //ORDEN ESCRIBIR
        I2CWriteByte(0x00);                         //DIRECCION HIGH
        I2CWriteByte(0x80);                         //DIRECCION LOW
    }

```

```

I2CWriteByte(0x55);           //DIRECCION HIGH
I2CWriteByte(0xAA);
I2CWriteByte(0x55);           //DIRECCION HIGH
I2CWriteByte(0xAA);

TWCR=(1<<TWINT)|(1<<TWEN)|(1<<TWSTO);
while (TWCR & (1<<TWSTO));
_delay_ms(10);

grabar_eeprom(0x00,0x00);
grabar_eeprom(0x80,0x01);
grabar_eeprom('N',0x02);
grabar_eeprom('a',0x03);
grabar_eeprom('n',0x04);
grabar_eeprom('u',0x05);
grabar_eeprom(' ',0x06);

lcd_pos(0x00);
lcd_msg("*****");
lcd_pos(0x40);
lcd_msg("  BUMP BI-200A  ");
lcd_pos(0x14);
lcd_msg(" BORRADO DE MEMORIA ");
lcd_pos(0x54);
lcd_msg("*****");
_delay_ms(2000);
wdt_enable(WDTO_30MS);
    }
menu_int&=~(0x10);
tmr4_init();
tmr4_on();
sei();
}
}

```

**NOTA:** Código completo en unidad de almacenamiento digital