

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
VICERRECTORADO
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL



**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI
CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN, EN LAS VÍAS PRINCIPALES DEL
DISTRITO 8 DE LA CIUDAD DE EL ALTO”**

PROYECTO FINANCIADO CON RECURSOS PROPIOS

Resolución HCC N° 202/2021

EQUIPO DE INVESTIGADORES:

Lic. Ing. JOSÉ DANIEL BUSTOS QUIROGA
Univ. JENNY LULY PILLCO QUENALLATA
Univ. MAGALY TARQUI ALANOCA

EL ALTO – BOLIVIA

2022

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

AUTORIDADES

Dr. Carlos Condori Titirico
RECTOR

Dr. Efrain Chambi Vargas Ph. D.
VICERRECTOR

Dr. Antonio López Andrade Ph. D.
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ing. Guido Gutiérrez Ríos
DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Msc Ing. Antonio Anaya Valverde
COORDINADOR INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL

ACUERDO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN: CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - SUB-ALCALDÍA DEL DISTRITO MUNICIPAL Nº 8 DEL GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO

REGISTRO SENAPI: Resolución Administrativa Nro. 1-3030/2022

DERECHOS RESERVADOS: Universidad Pública de El Alto

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n Zona Villa Esperanza

Diciembre. 2022
El Alto – Bolivia

PRESENTACIÓN

La Universidad Pública de El Alto tiene como uno de sus objetivos fundamentales realizar y promover la investigación en todos los campos del conocimiento y dar respuesta a los problemas y necesidades de la Ciudad de El Alto, así como de las regiones y del país; es decir de la sociedad boliviana en su conjunto. Siguiendo ese objetivo, la investigación científica e innovación tecnológica es uno de los pilares fundamentales que se implementa en la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Pública de El Alto; se trata de formar ingenieros con conocimientos técnico-científicos, con habilidades y destrezas para intervenir en la solución de los problemas multidisciplinarios regionales y nacionales.

El proyecto “Determinación del Índice de Rugosidad Internacional IRI con el Rugosímetro MERLIN, en las Vías Principales del Distrito 8 de la Ciudad de El Alto” fue desarrollado por el Lic. Ing. José Daniel Bustos Quiroga y apoyado por las auxiliares de investigación universitarias: Jenny Luly Pillco Quenallata y Magaly Tarqui Alanoca; quienes en equipo han concluido la investigación propuesta.

El desarrollo del proyecto de investigación se realizó básicamente en avenidas de Segundo Orden del Distrito 8 del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto, habiéndose recibido el apoyo de las autoridades y técnicos de esta repartición.

Para nosotros como Universidad, es una satisfacción presentar el presente trabajo de investigación, esperando que la información contenida sea de utilidad para nuestra comunidad y contribuya al desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías en el país.

M.Sc. Ing. Antonio Anaya Valverde
COORDINADOR DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

La Constitución Política del Estado, establece y garantiza el desarrollo de la ciencia y la investigación científica, técnica y tecnológica en beneficio del interés general. Asimismo, indica que el Estado, las universidades, las empresas productivas y de servicios, públicas y privadas, desarrollarán procesos de investigación, innovación, promoción, divulgación, aplicación y transferencia de ciencia y tecnología para fortalecer la base productiva e impulsar el desarrollo integral de la sociedad (Art. 103, numeral I, II y III). Por otra parte, la Universidad Pública de El Alto (UPEA) tiene establecido en su Estatuto Orgánico su Carácter Científico Institucional y tiene como misión no solamente formar profesionales capaces a requerimiento de la población, sino al amparo de la Ley de leyes del país tiene la de fomentar la ciencia y la investigación técnica y tecnológica para coadyuvar al desarrollo integral del país.

En el marco anterior, la UPEA expresa en su Plan Estratégico de Desarrollo Institucional PEDI 2017-2021, que es una necesidad fomentar procesos de investigación científica a nivel de la Comunidad Universitaria, promoviendo la generación de nuevos conocimientos, ciencia, desarrollo, tecnología e innovación, tarea que es asumida responsablemente a través de la Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología (DICyT) y sus Institutos de Investigaciones, en este caso particular desde el Instituto de Investigaciones de Ingeniería Civil.

Por tanto, la UPEA a través del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Civil contribuye al desarrollo de los sectores económico-productivos relacionados con esta rama de la Ingeniería y lleva adelante investigación como en este caso que se ha efectuado con éxito el desarrollo del proyecto “Determinación del Índice de Rugosidad Internacional IRI con el Rugosímetro MERLIN, en las Vías Principales del Distrito 8 de la Ciudad de El Alto” liderado por el Lic. Ing. José Daniel Bustos Quiroga y apoyado por las auxiliares de investigación universitarias: Jenny Luly Pillco Quenallata y Magaly Tarqui Alanoca; quienes con trabajo en equipo han logrado concluir la investigación sobre el estado de las vías secundarias del Distrito 8 de la ciudad de El Alto a partir de mediciones efectuadas con el equipo MERLIN y con la colecta de datos adicionales.

Para concluir, los investigadores han efectuado mediciones de rugosidad en ocho vías urbanas del Distrito 8 en un trabajo arduo de varios días; asimismo, han efectuado conteos manuales de tráfico y han obtenido filmaciones para complementar los datos necesarios para el estudio. Adicionalmente han entrevistado a algunos vecinos para respaldar la investigación.

El proyecto quería mostrar que es posible utilizar el MERLIN en vías urbanas, identificar singularidades y sobre la base de la observación también efectuar algunas reflexiones y análisis considerando la utilización del espacio urbano y relacionándolo con el concepto de calles completas.

Agradecemos al Msc Antonio Anaya Valverde Coordinador de Investigación de la Carrera de Ingeniería Civil; por su colaboración y paciencia. Por su preocupación y acompañamiento del proyecto y su oportuna colaboración.

Al director de la carrera de Ingeniería Civil Ingeniero Guido Gutiérrez Ríos por su apoyo e impulso al equipo de investigación docente- estudiantil en el desarrollo del proyecto.

Un agradecimiento especial a la Sra. Milenka Jimena García Alavi, Sub-Alcaldesa, del Distrito 8 del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto y a sus técnicos por brindarnos apoyo y colaborarnos en aspectos logísticos indispensables para manipular y proteger nuestro equipo MERLIN y algunos elementos accesorios necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación. No hubiésemos podido arribar a estos resultados de no haber sido por su ayuda.

A la Universidad Pública de El Alto, por el incentivo a la investigación científica con la participación de estudiantes que serán una nueva generación con nuevas ideas, nuevos conocimientos y que con una visión más metódica y razonada lograrán poner en alto a nuestra Universidad.

Lic. Ing. José Daniel Bustos Quiroga
DOCENTE INVESTIGADOR
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL

ÍNDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1.1 Planteamiento del Problema	4
1.1.2 Formulación del Problema.....	5
1.2 OBJETIVOS.....	6
1.2.1 Objetivo General	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
1.3 HIPÓTESIS.....	7
1.4 JUSTIFICACIÓN	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 ESTUDIOS RELATIVO AL TEMA	10
2.2 CAPA SUPERFICIAL Y OTRAS CAPAS COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS	18
Superficies pavimentadas	18
Pavimentos Flexibles o Asfálticos	19
Pavimentos de Concreto de cemento Portland o Rígidos	19
Pavimentos Articulado (enlosetado).....	20
Superficies no pavimentadas	21
Comportamiento del Pavimento	21
2.3 ENFOQUE ELEGIDO	26
2.3.1 Influencia de la “rugosidad” de la superficie de rodadura	27
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	28
3.1 ASPECTOS GENERALES	28
Tiempo de realización de la investigación	28
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	28
Cuantitativa.....	28
Cualitativa	28
Nivel Descriptivo	28
3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACION	29

Métodos de Investigación a utilizarse	29
3.4 VARIABLES DE LA INVESTIGACION	29
3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA	30
POBLACION	30
MUESTRA	31
Recursos humanos:	32
Recursos Materiales:.....	32
3.6 AMBIENTE DE LA INVESTIGACION	32
3.7 TECNICAS E INSTRUMENTOS	33
3.8 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
3.8.1 Metodología para la determinación de la Rugosidad con el MERLIN.....	37
CAPITULO IV: RESULTADOS.....	38
4.1 REGISTRO, ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LAS UNIDADES DE MUESTRA PARA DETERMINAR LOS RESULTADOS	38
4.2 CÁLCULO DE LOS FACTORES DE CORRECCIÓN.....	45
4.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	46
4.4 RELACIÓN ENTRE LA RUGOSIDAD (IRI) Y LA SERVICIABILIDAD (PSI).....	47
4.5 ESTUDIO DEL TRAFICO	47
4.6 RESULTADOS	64
CAPITULO V: CONCLUSIONES.....	70
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES.....	72
BIBLIOGRAFIA.....	73
ANEXOS	74
INDICE DE GRAFICOS	
Gráfico Nro. 1: Población, Superficie y Densidad de los Distritos de la Ciudad de El Alto	1
Gráfico Nro. 2: Mapa de la Ciudad de El Alto y sus Distritos	1
Gráfico Nro. 3: Perfil típico de la Av. Héroes del Gas.....	55
Gráfico Nro. 4: Perfil típico de la Av. Versalles	58
Gráfico Nro. 5: Av. Incahuasi	60
Gráfico Nro. 6: Av. Madre de Dios	61
Gráfico Nro. 7: Av. Japón.....	62
Gráfico Nro. 8: Av. Manuel Ascencio Padilla	62
Gráfico Nro. 9: Av. Ojos del Salado	63
Gráfico Nro. 10: Av. 23 de Marzo	63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla para cualificar los valores del IRI	11
Tabla 2: Valores iniciales del IRI	25
Tabla 3: Valores del IRI característico	25
Tabla 4: Valores límites del IRI para considerar una intervención en m/ km	25
Tabla 5: Datos de campo procesados	45
Tabla 6: Fase de procesamiento de la información obtenida en campo.	46
Tabla 7: Fase de procesamiento de la información obtenida en campo.	47
Tabla 8: Fase de procesamiento de la información obtenida en campo	48
Tabla 9: Resumen de Resultados con Valores IRI y PSI	65

ÍNDICE DE FOTOS

Foto1: Av. Héroes del Gas.....	56
Foto 2: Av. Héroes del Gas.....	57
Foto 3: Av. Versalles	59
Foto 4: Av. Incahuasi	60
Foto 5: Av. Madre de Dios Foto 6: Av. Madre de Dios	61

ÍNDICE DE PLANILLAS

Planilla 1: Datos de campo procesados.....	39
Planilla 2: Datos de campo procesados.....	40
Planilla 3: Datos de campo procesados.....	41
Planilla 4: Datos de campo procesados.....	42
Planilla 5: Datos de campo procesados.....	43
Planilla 6: Datos de campo procesados.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Escala de caracterización de carreteras pavimentadas con concreto asfáltico o tratamiento superficial, a partir del IRI	12
Figura 2: Escala de caracterización de carreteras no pavimentadas (con superficies de grava o tierra), a partir del IRI.....	13
Figura 3: Rugosímetro MERLIN.....	14
Figura 4: Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la Superficie de Pavimento respecto a la cuerda promedio (Sobre esta se efectúan las lecturas)	16
Figura 5: Formulario para la recolección de los datos de campo	17
Figura 6: Capas componentes de un pavimento flexible	19
Figura 7: Capas componentes de un pavimento rígido	19
Figura 8: Capas componentes de un pavimento articulado	20
Figura 9: Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI en diferentes tipos de vías.....	23
Figura 10: Representación típica del avance del deterioro de un camino respecto al tiempo.	24
Figura 11: Distrito Municipal 8 y las vías en estudio.....	31
Figura 12: Formulario de campo para mediciones con el rugosímetro	38
Figura 13: Tráfico diario por tipo de vehículo.....	48
Figura 14: Tráfico horario por cada vía urbana.....	51
Figura 15: Histogramas del tráfico horario	52
Figura 16: Histogramas del tráfico horario	54

RESUMEN

En muchos casos, la condición y las características que presenta la superficie de rodadura de las vías urbanas es insuficiente y con dificultades para la circulación apropiada de los vehículos motorizados. Ocasionando incomodidad y pérdidas de tiempo considerables.

Para estudiar esos aspectos, efectuar comparaciones y encontrar semejanzas se eligió Senkata como distrito de prueba; considerando que tiene vías urbanas de segundo orden, con diferentes superficies de rodadura: pavimentadas y no pavimentadas: pavimentos de hormigón, pavimentos de concreto asfáltico, calles enlosetadas y calles de tierra construida.

Mediante mediciones directas utilizando el rugosímetro MERLIN se ha obtenido la “rugosidad” superficial IRI y también se ha determinado el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI). La información recopilada se complementó y contextualizó mediante observaciones directas, conteos de tráfico y datos procedentes de entrevistas a los vecinos.

El ancho de las aceras parece suficiente para los peatones actuales, aunque hay negocios y talleres de todo tipo que invaden las aceras y reducen su efectividad; se suman anuncios, letreros, herramientas de trabajo y materiales. Por esas condiciones intrincadas, la gente prefiere circular por la calzada, antes que usar las aceras que no cumplen adecuadamente su función.

La calzada de esas vías no tiene bien delimitados los carriles de circulación, prácticamente no existe señalización horizontal, por ese motivo el flujo de vehículos es desordenado e incierto. La tierra que se acumula en los bordes de los carriles es un indicador del desorden del tráfico y del mal uso del espacio. Aunque esa señal nos ha permitido determinar el carril de medición después de efectuar algunas reflexiones y cavilaciones para establecer la “huella” para las mediciones.

Se han identificado singularidades tales como rompemuelleres (gibas), tapas de cámaras de inspección y cunetas o canales.

Con la presente investigación se pretende abrir posibilidades hacia una mejor gestión de las vías urbanas, aportando análisis y principalmente proporcionando y adecuando una herramienta para la recepción de obras de pavimentación o para la intervención oportuna en la conservación de las vías urbanas.

Palabras Clave: gestión de vías urbanas, rugosidad, MERLIN, índice de rugosidad internacional (IRI), índice de serviciabilidad presente (PSI), singularidades, calles completas.

ABSTRACT

In many cases, the condition, and characteristics of the rolling surface of urban roads is inappropriate and with difficulties for the proper circulation of motorized vehicles. It causes discomfort in drivers and passengers and, a considerable loss of time.

Senkata has been chosen as the test district to study these aspects, make comparisons and find similarities, since it has urban roads with different types of rolling surface, paved and unpaved: concrete pavements, asphalt concrete pavements, paved streets with concrete tiles and “prepared earth” streets.

Through direct measurements using the MERLIN, the IRI International Roughness Index has been established. The Present Serviceability Index (PSI) has also been determined. The data collected was complemented through direct observations, traffic counts and interviews with residents.

The width of the sidewalks seems enough for current pedestrians, although there are businesses and workshops of all kinds that invade the sidewalks and reduce their effectiveness. And it is also possible to find some advertisements, signs, work tools and materials on the sidewalks. Due to these intricate conditions, people prefer to move on the road, rather than use the sidewalks that do not adequately fulfill their function.

These roads do not have well-defined traffic lanes, there is no horizontal signals, that is, the flow of vehicles is disorderly and uncertain. The dirt (dust) that accumulates on the edges of the lanes is an indicator of traffic disorder and misuse of space. Although that signal has allowed us to determine the measurement lane after some thinking and thinking to establish the “rutting”.

The existence of singularities such as humps, culverts, speed bumps, inspection cameras and others affect the measurements and suggest some special considerations for these presences.

The task of the present research aims to look for possibilities towards a better management of urban roads, providing analysis, and mainly providing and adapting a tool for the reception of paving works or for timely intervention in the conservation of urban roads.

Keywords: Urban roads management, roughness, Merlin, international roughness index (IRI), present serviceability index (PSI), singularities, complete streets.

CAPÍTULO I : INTRODUCCION

Según el Grafico Nro. 1 siguiente, el Distrito 8 es el segundo del Municipio de El Alto en cantidad de habitantes. Asimismo, es el segundo más extenso en superficie. Por otra parte, por el medio de este Distrito llamado “Senkata” pasa uno de los ejes principales de conexión con otras ciudades importantes del país (Ruta Fundamental No. 1).

Las ciudades tienden a crecer a lo largo de los ejes viales principales, y el Distrito Municipal Senkata no resulta ajena a ese proceso, mostrando un acelerado crecimiento. La población asentada en este Distrito es cada vez mayor y demanda el mejoramiento de sus vías urbanas.

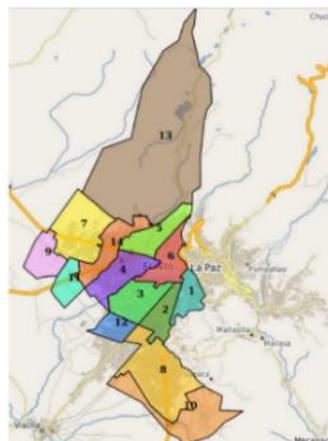
Gráfico Nro. 1: Población, Superficie y Densidad de los Distritos de la Ciudad de El Alto

CIUDAD DE "EL ALTO" POR DISTRITOS

Distrito	Poblacion (Nro. de Habitantes) segun Censo de 2012	Superficie en Km ²	Densidad (habitantes por Km ²)	Distrito	Poblacion (Nro. de Habitantes) segun Censo de 2012	Superficie en Km ²	Densidad (habitantes por Km ²)
Distrito Municipal Nro. 1	87997	10.23	8602	Distrito Municipal Nro. 8	121843	41.01	2971
Distrito Municipal Nro. 2	73939	11.98	6172	Distrito Municipal Nro. 9	1720	13.26	130
Distrito Municipal Nro. 3	144828	17.74	8164	Distrito Municipal Nro. 10	785	38.34	20
Distrito Municipal Nro. 4	107147	18.47	5801	Distrito Municipal Nro. 11	1081	9.83	110
Distrito Municipal Nro. 5	104226	15.76	6613	Distrito Municipal Nro. 12	19816	8.3	2387
Distrito Municipal Nro. 6	90538	15.38	5887	Distrito Municipal Nro. 13	2085	180.91	12
Distrito Municipal Nro. 7	44535	29.86	1491	Distrito Municipal Nro. 14	47912	16.96	2825

Fuente: INE 2012 (Elaboración propia sobre datos del Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2012)

Gráfico Nro. 2: Mapa de la Ciudad de El Alto y sus Distritos



Fuente: Mapa de la ciudad de El Alto y sus distritos Foto: GAMEA, 2019

El distrito municipal No. 8 de la ciudad de El Alto tiene esas características que justifican que la investigación se efectúe en sus vías de accesibilidad urbana.

Consecuentemente, se desarrolla la investigación sobre el “Índice de Rugosidad Internacional (IRI)” en calles pavimentadas y en calles no pavimentadas de segundo orden del Distrito Municipal No. 8 “Senkata”, y se buscan resultados, consultando y recopilando experiencias nacionales e internacionales (disponibles), mediciones de campo, evaluaciones de IRI en diferentes tipos de superficies y el análisis de las mediciones efectuadas en vías urbanas del Distrito 8 en cuestión.

Se trata de analizar lo obtenido en cada fase de la investigación, presentando conclusiones, comentarios y recomendaciones. Incluyendo, asimismo, aspectos reflexionados y relacionados con el origen del IRI (estudios de Kenia y del Brasil principalmente), escalas de medición (iniciales y posteriores modificaciones), alcance en vías urbanas, equipos para medición y verificación de su calibración, umbrales y tratamiento de singularidades.

Una “buena rugosidad” de la superficie de rodadura brinda condiciones de comodidad y seguridad propicias y convenientes para los usuarios de las vías. Una “rugosidad mala”, además de afectar la comodidad y seguridad, refleja daños y deterioros de carácter funcional y estructural (en el caso de los pavimentos) que influyen negativamente en su condición y vida útil.

El índice de Rugosidad Internacional (IRI) surgió como la necesidad de unificar criterios para la medición de la regularidad superficial de las carreteras y caminos, constituyéndose en el parámetro de mayor aceptación y utilización para estimar y evaluar el deterioro superficial de los pavimentos, abarcando inclusive el estado de superficies no pavimentadas.

Para las vías urbanas las circunstancias difieren con relación a las vías rurales (caminos y carreteras), por cuanto existen algunas complejidades en los procesos constructivos. Por ejemplo: la presencia de elementos ajenos al pavimento y su estructura, también diferencias en algunas condiciones como: velocidad de operación, tráfico y su composición. Estas particularidades motivaron a llevar adelante una investigación específica denominada “Determinación del Índice de Rugosidad Internacional IRI con el Rugosímetro MERLIN, en las Vías Principales del Distrito 8 de la Ciudad de El Alto” que resulta en recomendaciones o propuestas para su uso en la gestión de vías urbanas.

Durante las mediciones y toma de datos de campo, se han observado varios otros aspectos inherentes al contexto: utilización de las vías, su diseño, prácticas y conductas de los usuarios y habitantes del Distrito 8 en cuestión. Estos aspectos han sido analizados y relacionados con los propósitos del Municipio.

1.1 PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

En muchos casos, la condición y las características que presenta la superficie de rodadura de las vías urbanas es insuficiente y con dificultades para la circulación apropiada de los vehículos motorizados. Existen incomodidades en conductores y pasajeros y pérdidas de tiempo considerables.

El Distrito 8 de la ciudad de El Alto es el 2do. Distrito más poblado después del Distrito 1. Asimismo, es el segundo más extenso en superficie. También está en un proceso de crecimiento acelerado con muchas construcciones nuevas y nuevos vecinos que se establecen en el lugar.

En el Distrito 8 se han observado deterioros en las superficies de las vías de segundo orden y un inadecuado aprovechamiento de las vías urbanas y del espacio urbano. También se ha observado la presencia de elementos ajenos al pavimento y su estructura (rompemuelles, canales, cunetas, tapas de cámaras de inspección).

Por otra parte, al parecer no se ha efectuado el seguimiento sistematizado de las obras ejecutadas y quizás por el tiempo, no se tiene conocimiento de los criterios de diseño de las vías. No se cuenta con información sobre el paquete estructural, número de capas y su espesor, año en que se ejecutaron las obras, intervenciones de mantenimiento que se hubieran efectuado (mantenimiento rutinario, mantenimiento periódico, mantenimiento eventual u otros), tampoco sobre quienes ejecutaron la obra (empresa, municipio, vecinos), la supervisión, los plazos. Información que es importante para prever intervenciones oportunas y adecuadas.

1.1.1 Planteamiento del Problema

La infraestructura vial (caminos y carreteras) es vital para un país, es componente importante en el desarrollo y el progreso. De la misma manera, las calles y avenidas son fundamentales para los centros urbanos (ciudades) cumplen la importante función de circulación. Sin ellas no se podrían efectuar las otras funciones urbanas como ser trabajar, aprovisionarse, recrearse, habitar. La calidad de las vías en general (interurbanas e intraurbanas) debe ser adecuada y funcional para asegurar una buena transitabilidad.

El problema está en determinar mediante mediciones de rugosidad si el estado y la serviciabilidad de las vías urbanas del Distrito 8 cumplen adecuadamente con esos requerimientos. Por lo mismo que se requerirá examinar algunos aspectos conexos relacionados a las mediciones y a la circulación de los vehículos y las personas.

En ocasiones, las características presentes en la capa superficial de las vías urbanas son inadecuadas. Se considera esencial y conveniente hacer análisis y estudios de rugosidad a lo largo de tramos de las vías urbanas (pavimentadas y no pavimentadas), para planificar la oportuna intervención y asegurar que las redes viales urbanas presenten condiciones convenientes y propicias de uso.

El documento del GAMEA “Programa de Movilidad Urbana y de Transporte” clasifica las vías en 6 niveles:

- Vías primarias,
- Vías secundarias,
- Vías locales o terciarias,
- Vías peatonales
- Ciclovías
- Vías rurales

Sobre la base de ese documento y de varios otros, el Gobierno Autónomo Municipal de la ciudad de El Alto elaboró el “Esquema de Priorización para Vías de Primer y Segundo Orden” con el fin de efectuar el mejoramiento de esas vías urbanas.

Las de Primer Orden que pasan por el Distrito 8 son solamente la “Avenida 6 de Marzo” (carretera a Oruro) y la Avenida Ladislao Cabrera (Camino a Viacha); esta última constituye límite entre el Distrito 8 y el Distrito 12. En principio, ambas son parte de la Red Fundamental de Carreteras y se requiere concertar con la Administradora Boliviana de Carreteras. Tienen pavimento flexible y el tránsito predominante de estas vías es de transporte de pasajeros y de carga interprovincial, interdepartamental e internacional.

No obstante, el Distrito 8 cuenta con variadas vías de segundo orden. Sus superficies de calzada son mayormente de pavimento rígido (41%), de pavimento flexible (13%), enlosetadas (15%) y de tierra (30%). El empedrado y el adoquín solo representan un 1%.

Estas vías de segundo orden se articulan con las vías de primer orden, también con otras vías de segundo orden y con vías de tercer orden. Su función es intermedia entre las de primer orden y las de tercer orden.

El tránsito predominante es de transporte de pasajeros internos, interprovinciales e interurbanos.

Existe una propuesta para la implementación de un tren metropolitano utilizando la antigua línea férrea desde El Alto a Viacha que pasaría por el Distrito 8. Están anunciadas tres paradas del tren dentro el tramo férreo anunciado del Distrito 8. Eso acrecienta la importancia de las vías de segundo orden porque son las que permitirían el desplazamiento de los usuarios hacia las estaciones del tren. Posiblemente algunas de tercer orden pasarían a ser de segundo orden.

Entonces, se debe asegurar un adecuado estado para los desplazamientos en estas vías urbanas y una satisfactoria serviciabilidad.

1.1.2 Formulación del Problema

El Índice de Rugosidad Internacional IRI se constituye en uno de los controles de serviciabilidad más importantes, y se relaciona con la comodidad, seguridad y con

los costos de operación de los vehículos; en ese sentido facilita la cuantificación de los beneficios que obtienen los usuarios. Por lo que se considera esencial y conveniente hacer análisis y estudios de rugosidad a lo largo de las vías urbanas, para promover redes viales con condiciones apropiadas.

¿Se podrá, a partir de las mediciones del Índice de Rugosidad Internacional IRI estimar el estado de las vías urbanas y su serviciabilidad y algunos aspectos conexos?

En el estado boliviano y en los gobiernos autónomos municipales, las inversiones para proyectos de infraestructura vial son cada vez mayores; por ese motivo, los estudios que conduzcan a acreditar y proteger la calidad y servicio de las vías deben establecer parámetros y normas que guíen y orienten en ese sentido.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Utilizando el Rugosímetro MERLIN, determinar la “rugosidad” superficial expresada en unidades IRI (Índice de Rugosidad Internacional); asimismo determinar el PSI (Índice de Serviabilidad Presente) de vías de segundo orden del distrito 8 de la ciudad de El Alto.

Asimismo, determinar si el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es un indicador aplicable a la gestión de pavimentos de vías urbanas.

Por su función, las vías de segundo orden son parte esencial de la red vial para acceder al interior del Distrito (puesto que se articulan con las vías de primer orden, con otras vías de segundo orden y con vías de tercer orden). Su función es intermedia entre las de primer orden y las de tercer orden cumpliendo funciones de movilidad y de accesibilidad.

1.2.2 Objetivos Específicos

Existen innumerables objetivos específicos que se cumplirán en el desarrollo de la investigación, se citan los más concretos.

- Efectuar mediciones de rugosidad en vías urbanas del Distrito 8, seleccionadas cuidadosamente, con el fin de formular requerimientos mínimos a tener en cuenta respecto a la aceptación de equipos de medición y la evaluación del IRI.
- Correlacionar los resultados de la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad Presente (Present Serviciability Index - PSI).
- Determinar si el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es un indicador aplicable para la gestión de pavimentos de vías urbanas.
- Analizar los criterios de medición (singularidades), de cálculo y de aceptación de este índice, en vías urbanas.
- A partir de la evaluación del IRI en esas vías urbanas, presentar los resultados que muestran tendencias y patrones de comportamiento de la rugosidad en el pavimento (flexible, rígido y articulado de vías urbanas) y su comparación con vías no pavimentadas.
- A través de la observación del contexto como ser: la utilización de las vías, su diseño, prácticas y conductas de los usuarios y de los habitantes del Distrito en cuestión, examinar particularidades y matices que presentaren las vías consideradas.

1.3 HIPÓTESIS

La calidad de las vías urbanas, su concepción y ejecución debe ser adecuada y funcional para garantizar una buena transitabilidad y serviciabilidad.

“Determinar que el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) son útiles y convenientes para la gestión de las vías urbanas. Las mediciones, estudios y análisis de la rugosidad en las vías urbanas (pavimentadas y no pavimentadas) son esenciales para planificar una intervención oportuna y asegurar redes viales urbanas con condiciones satisfactorias y amigables”.

1.4 JUSTIFICACIÓN

No existe un método vigente para evaluar la comodidad en la circulación y el estado de las vías urbanas.

La utilización de rugosímetros y perfilómetros se ha generalizado en las vías interurbanas (camino y carreteras), pero aún no han mostrado ser totalmente efectivos en las vías urbanas por factores diversos.

Sin embargo, existen algunos artículos y trabajos compartidos en la red, respecto a la rugosidad y la serviciabilidad de las vías urbanas. En esos trabajos se utilizaron diferentes equipos.

Se dispone del equipo denominado Rugosímetro "MERLIN" (**M**achine for **E**valuating **R**oughness using **L**ow-cost **I**nstrumentation). Este equipo está fundado en el Perfilómetro Estático y por brindar valores congruentes se considera de relevancia y beneficioso para la verificación del estado de las vías. No se requiere instalarlo en un vehículo y siendo estático, se tiene mayor certidumbre en los resultados.

En muchos casos, la condición y las características que presenta la superficie de rodadura de las vías urbanas es insuficiente y con dificultades para la circulación apropiada de los vehículos motorizados. Ocasionando incomodidad y pérdidas de tiempo considerables.

Para estudiar esos aspectos, efectuar comparaciones y encontrar semejanzas se eligió Senkata como distrito de prueba; considerando que tiene vías de segundo orden con diferentes superficies de rodadura: pavimentadas y no pavimentadas: pavimentos de hormigón, pavimentos de concreto asfáltico, calles enlosetadas y calles de tierra construida; que permitirán determinar criterios del uso del rugosímetro orientados a esa variedad de superficies.

Mediante mediciones directas utilizando el rugosímetro MERLIN se determina la "rugosidad" superficial IRI y también se determina el Índice de Serviabilidad Presente (PSI). La información recopilada es procesada, y es posible de complementarla y contextualizarla mediante observaciones directas, conteos de tráfico y datos procedentes de entrevistas a los vecinos.

Son notorias en las avenidas consideradas, aceras con ancho insuficiente y con condiciones intrincadas, la gente prefiere circular por la calzada, antes que usar las aceras que no cumplen adecuadamente su función. El ancho de las aceras parece suficiente para

los peatones actuales, aunque hay negocios y talleres de todo tipo que invaden las aceras y reducen su efectividad; se suman anuncios, letreros, herramientas de trabajo y materiales.

Esas vías no tienen bien delimitados los carriles de circulación puesto que no existe señalización horizontal notoria que establezca su demarcación; lo que significa que el flujo de vehículos es desordenado e incierto. Se tuvieron que efectuar algunas reflexiones y cavilaciones para establecer la “huella” para las mediciones.

Se identifican singularidades tales como rompemuelles (gibas), tapas de cámaras de inspección y cunetas o canales.

La tierra desplazada por la circulación vehicular se acumula en los bordes de los carriles y se constituye en un indicador del desorden del tráfico y del mal uso del espacio. Aunque esa señal también ha permitido determinar el carril de medición.

Con la presente investigación se pretende abrir posibilidades hacia una mejor gestión de las vías urbanas, aportando análisis y principalmente proporcionando y adecuando una herramienta para la recepción de obras de pavimentación o para la intervención oportuna en la conservación de las vías urbanas.

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

2.1 ESTUDIOS RELATIVO AL TEMA

Indagando en la bibliografía existente, se revela y advierte que los primeros estudios conducen al desarrollo de un sistema de evaluación de inversiones de carreteras que se denominó **Highway Cost Model (HCM)** desarrollado por el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) en 1968.

A partir de ese año (1968) el Banco Mundial propició el mejoramiento del modelo mediante estudios realizados esencialmente en países en vías de desarrollo. En Kenia, durante varios años se efectuaron trabajos de campo y preparación de estadísticas con el objetivo de perfilar un modelo que evalúe el deterioro de los caminos y los costos de operación de los vehículos en correspondencia a esa condición del camino.

Para evaluar el deterioro, que no es constante, sino que varía básicamente con el tiempo y con la circulación de vehículos de diferentes características; para analizarlo y/o valorarlo se concibió una variable de medición denominada “rugosidad”. Las ecuaciones definidas aceptaban valores de rugosidad en mm/Km. Posteriormente, se utilizó el QI (**Quarter-car Index**).

Entre 1982 y 1986, basados en los **estudios realizados en Kenia, India y el Caribe**; en **Brasil**, se perfeccionaron las ecuaciones desarrolladas en Kenia, y principalmente se unificaron criterios para la medición de la rugosidad superficial considerando los variados equipos de medición. Es a partir del “**Experimento del Índice de Rugosidad Superficial**” (IRRE= International Road Roughness Experiment) que surgió el IRI (**International Roughness Index**).

De acuerdo con el Reporte de Investigación Lanname LM-PI-PV-IN-24a-04 (2004), el IRI se define como la suma de aceleraciones verticales no deseadas que sufre el usuario de una carretera, al circular por ella, las cuales son provocadas por las desviaciones del perfil longitudinal real respecto al perfil teórico de proyecto.

Al principio, el IRI se calculaba para ambas huellas, pero en 1986 se optó que se midiera de manera independiente cada huella. En la norma ASTM E 1926-98 “Standard Practice

for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements”, se considera que promediar los IRI de cada huella, proporciona una mejor medida de la regularidad superficial de la carretera.

En principio se tiene la siguiente Tabla resumida para cualificar los valores del IRI:

Tabla 1: Tabla para cualificar los valores del IRI

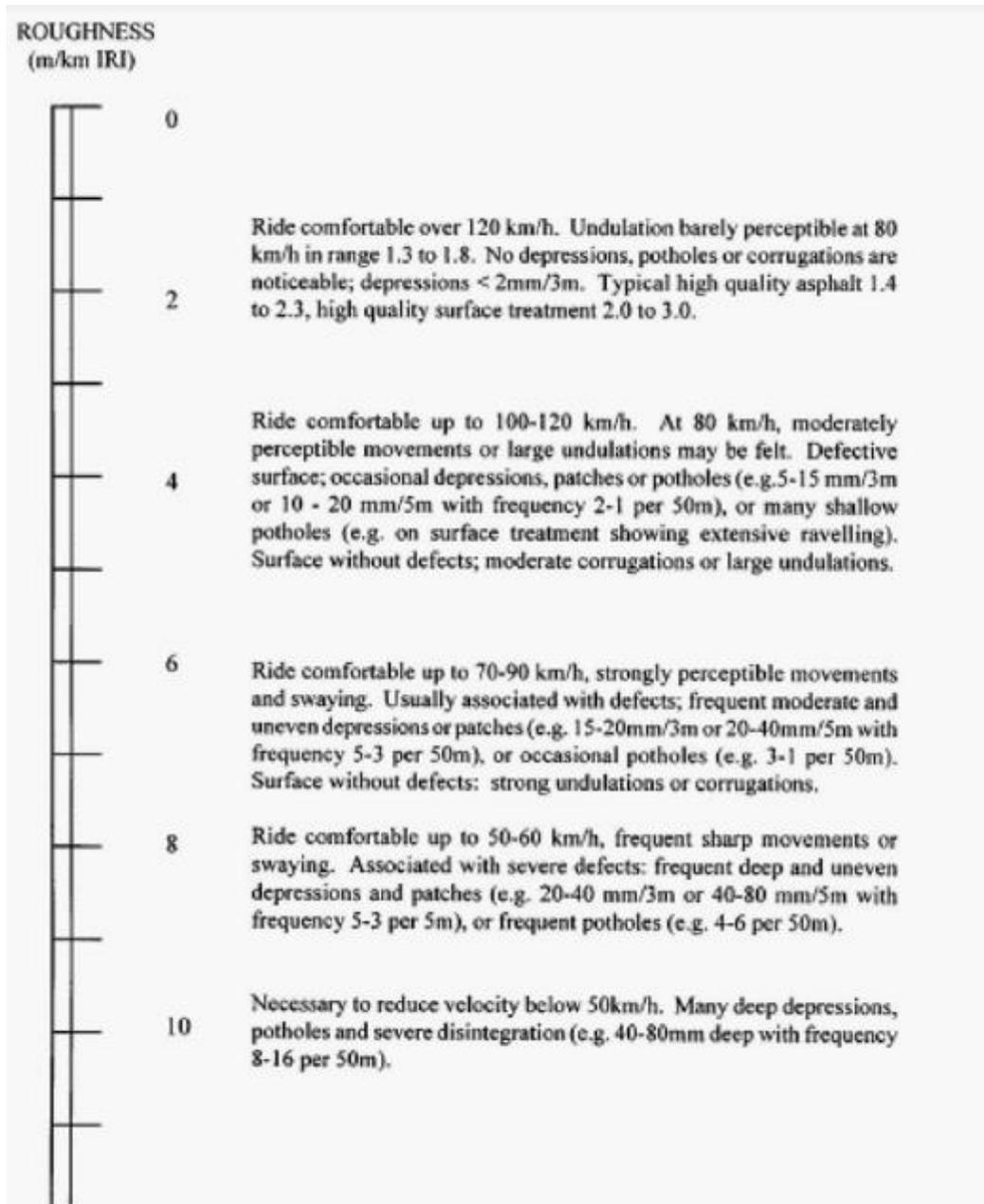
Evaluación y Valoración del IRI, según tipo de vía

ESTADO	VIAS PAVIMENTADAS	VIAS NO PAVIMENTADAS
	RUGOSIDAD	RUGOSIDAD
BUENO	$0 < \text{IRI} \leq 2.8$	$\text{IRI} \leq 6$
REGULAR	$2.8 < \text{IRI} \leq 4.0$	$6 < \text{IRI} \leq 8$
MALO	$4 < \text{IRI} \leq 5.0$	$10 \leq \text{IRI}$
MUY MALO	$5 < \text{IRI}$	$9 < \text{IRI} \leq 10$

Fuente: MTC, especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras, según el estado vial

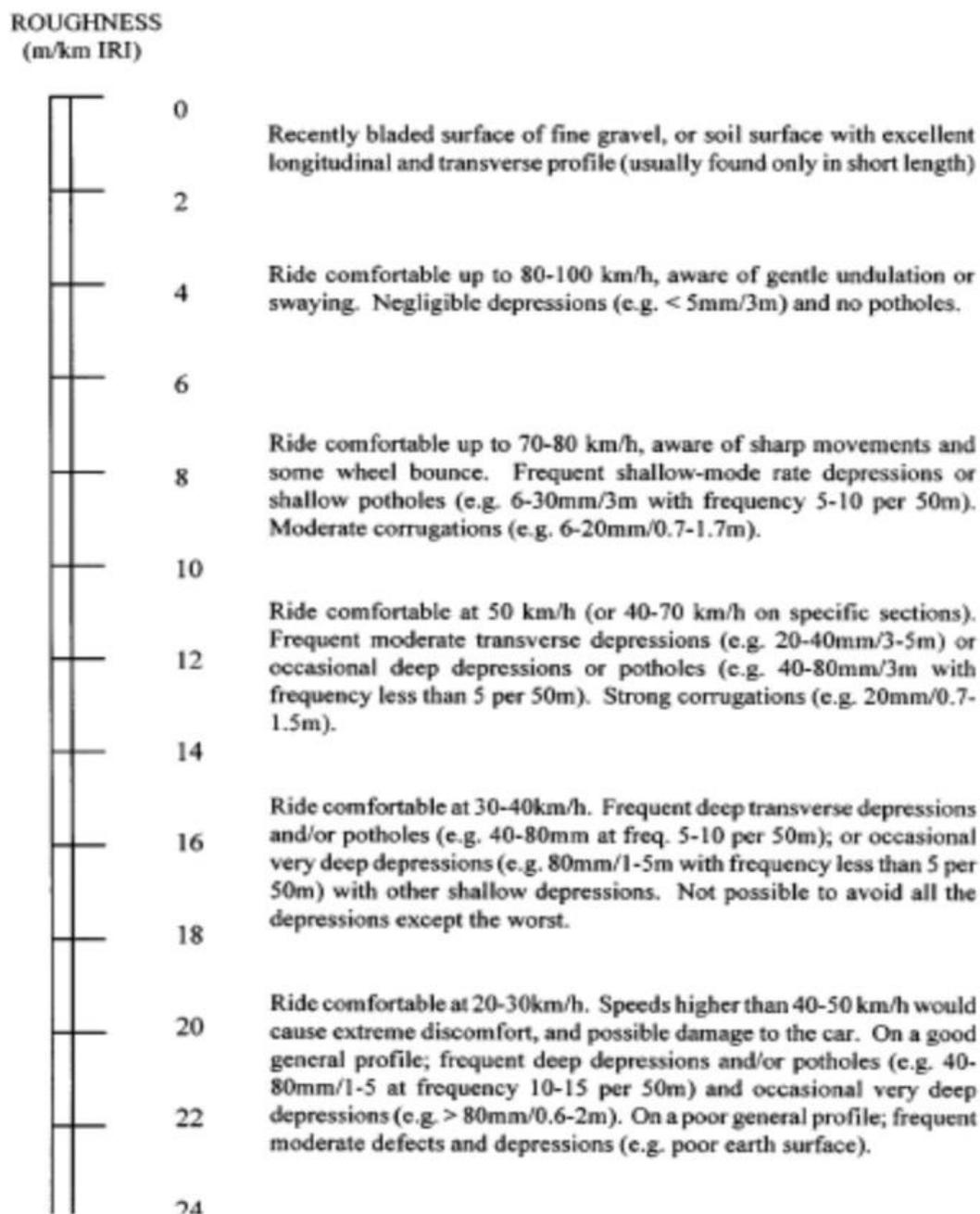
En 1986, el Banco Mundial presentó valores de IRI típicos para diferentes condiciones superficiales de la carretera (para carreteras pavimentadas y para carreteras no pavimentadas). Ver figuras siguientes.

Figura 1: Escala de caracterización de carreteras pavimentadas con concreto asfáltico o tratamiento superficial, a partir del IRI



Fuente: Sayers, M.W.; Gillespie, T.D. y Paterson W. D. O.,(1986) (Banco Mundial)

Figura 2: Escala de caracterización de carreteras no pavimentadas (con superficies de grava o tierra), a partir del IRI.



Fuente: Sayers, M.W.; Gillespie, T.D. y Paterson W. D. O.,(1986)(Banco Mundial)

Desde los años sesenta del siglo pasado, se desarrollaron equipos para medir la rugosidad superficial del pavimento y también de superficies no pavimentadas. Esos equipos han ido evolucionando con el tiempo y con las innovaciones tecnológicas, considerando mayor precisión y rendimientos más elevados (ver Anexo No. 7).

En el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) se estudió y perfeccionó el Rugosímetro MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation). El MERLIN es un equipo de bajo costo, fácil de operar y su método de análisis es simple. Sus resultados son confiables debido a que está basado en el principio del Perfilómetro estático.

El Rugosímetro Merlín, fue diseñado para países en vías de desarrollo ya que es considerado un equipo versátil, sencillo y económico. De acuerdo con la clasificación de Banco Mundial para métodos de medición de Rugosidad del pavimento, el Rugosímetro Merlín se coloca dentro de la Clase 1, debido a que el método de medición que utiliza el Merlín parte del Perfilómetro estático y, gracias a esto es considerado un método de gran exactitud solo superado por el método topográfico (mira y nivel).

La determinación de la rugosidad con el Rugosímetro Merlín está sustentada en apreciar la desviación del terreno frente a una cuerda promedio, el Merlín mide el desplazamiento vertical entre la superficie de la vía y el punto intermedio de una línea imaginaria (valor constante). Este desplazamiento se conoce como “desviación respecto a la cuerda promedio” (Reyes B, 2020, pag.17)

Figura 3: Rugosímetro MERLIN



Fuente: Elaboración propia

El concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento no es nuevo ni original del TRRL. Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal como el conocido Quarter-car Index (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto, los que son analizados en la referencia. (Del Águila R., 1999).

Correlación de "D" respecto al IRI. - Para realizar la correlación entre la rugosidad determinada con el Merlín y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el cual es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados de rugosidad provenientes de la gran variedad de equipos que existen en la actualidad, se utiliza la siguiente expresión:

- Cuando $2.4 < IRI < 15.9$, Entonces $IRI = 0.593 + 0.0471 D$

Esta expresión es la ecuación original, establecida por el TRRL mediante simulaciones computarizadas, utilizando datos provenientes del ensayo Internacional sobre Rugosidad ejecutado en Brasil en 1982. Esta ecuación es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando la rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo establecido.

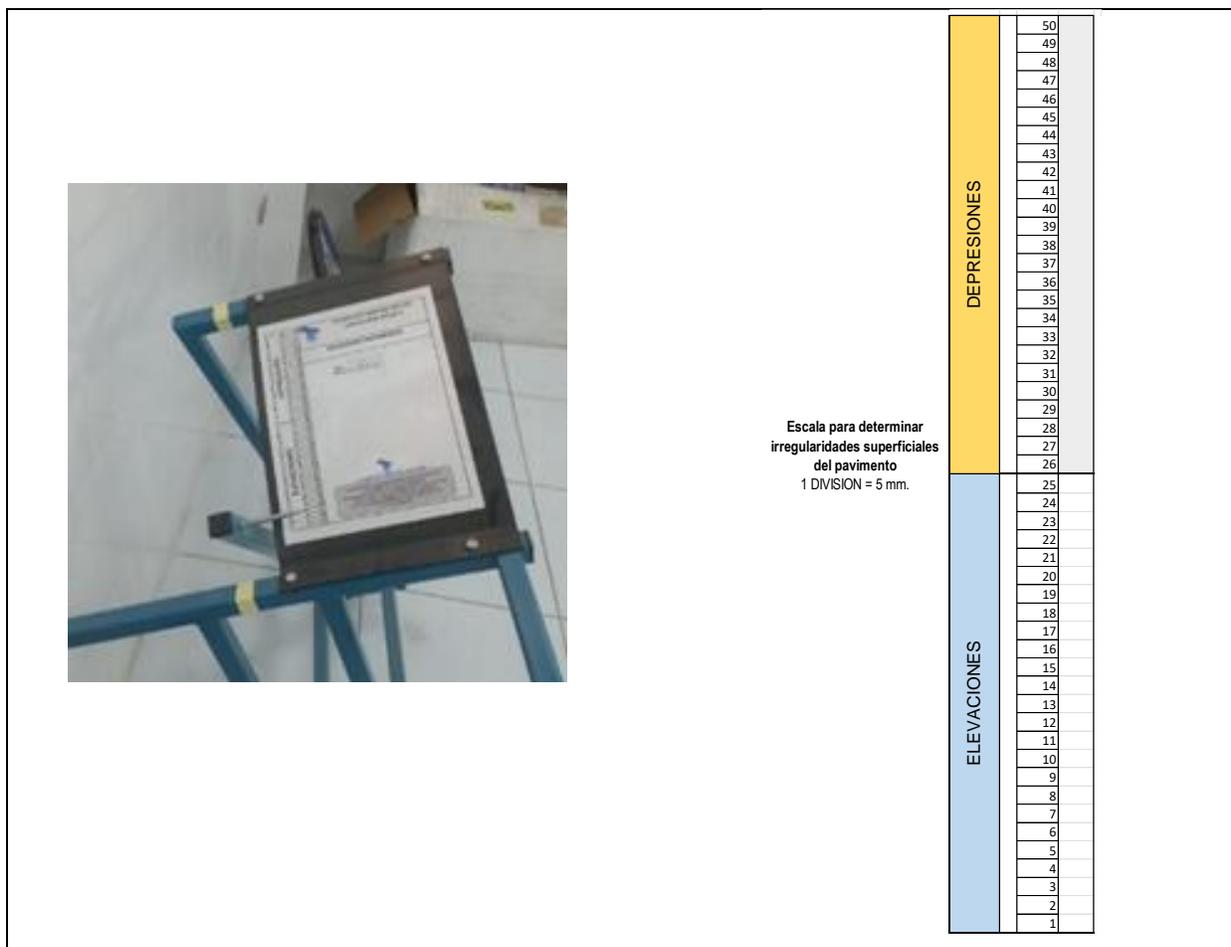
El Rugosímetro Merlín, fue diseñado para países en vías de desarrollo ya que es considerado un equipo versátil, sencillo y económico. De acuerdo con la clasificación de Banco Mundial para métodos de medición de Rugosidad del pavimento, el Rugosímetro Merlín se coloca dentro de la Clase 1, debido a que el método de medición que utiliza el Merlín parte del Perfilómetro estático y, gracias a esto es considerado un método de gran exactitud solo superado por el método topográfico (mira y nivel).

El MERLIN es un equipo de diseño simple, consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta, hacia la parte trasera, con 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo, haciéndolo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla. (Del Águila R., 1999).

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal, se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil. El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso, mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecua a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo con la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento.

Para registrar los movimientos del puntero, se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5 mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cuál se desliza el puntero. (Del Águila Rodríguez, Pablo, 1999)

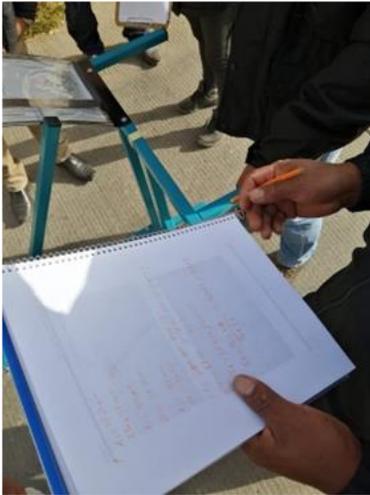
Figura 4: Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la Superficie de Pavimento respecto a la cuerda promedio (Sobre esta se efectúan las lecturas)



Fuente: elaboración propia

Para realizar las mediciones participan dos auxiliares, uno de ellos opera el equipo y dicta las lecturas que efectúa; y el otro auxiliar anota. Las mediciones se realizan en tramos de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de la vía. Si bien está establecido que las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico, este aspecto se comentara posteriormente.

Figura 5: Formulario para la recolección de los datos de campo

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO FORMULARIO DE CAMPO												
ENSAYO: IRI - RUGOSIMETRO MERLIN						CODIGO DEL DOCUMENTO:						
NORMA:						INCI - UPEA:						
CALLE o AVENIDA :												
SECTOR :						ENSAYO No. :						
FECHA :						KM. :						
HORA :						PROGRESIVA INICIO :						
CARRIL :						PROGRESIVA FINAL :						
TIPO DE PAVIMENTO												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TIERRA CONSTRUIDA	
1											ENLOSETADO	
2											CONCRETO ASFALTICO	
3											PAVIMENTO RIGIDO	
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
OBSERVACIONES:												
.....												
Nombre del Operador :												
Nombre del Anotador :												

Fuente: elaboración propia

Las 200 lecturas se realizan estacionando el equipo (a intervalos regulares) generalmente cada 2m de distancia. En la práctica la referencia es la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente 2 m. Es decir, cada lectura se realiza al cabo de una vuelta de rueda. En cada observación el instrumento descansa sobre la superficie de la avenida o calle apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo.

La posición que adopta el puntero corresponde con una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en el formulario de campo que se muestra en la figura 5. El formulario muestra una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas. Los datos se registran de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. El proceso de medición es continuo. La prueba se inicia estacionando el equipo MERLIN al inicio del tramo de control. El operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas. El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta, la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso. (Del Aguila R., 1999)

2.2 CAPA SUPERFICIAL Y OTRAS CAPAS COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS

La capa superficial de una vía intraurbana o interurbana (eventualmente llamada capa de rodadura), es la superficie sobre la que se desplazan los vehículos automotores.

SUPERFICIES PAVIMENTADAS

Por una parte, se denomina **pavimento** a una estructura conformada por un conjunto de capas superpuestas de materiales con características diversas. Tiene como función

permitir la circulación de vehículos con comodidad y seguridad, con un costo de operación tolerable y razonable.

La superficie del pavimento en principio debe ser uniforme e impermeable, con una textura aceptable.

El pavimento debe además ser resistente a la repetición de cargas y a la acción del medio ambiente. Para las vías urbanas se pueden determinar los siguientes tipos de pavimentos:

Pavimentos Flexibles o Asfálticos

Se encuentran constituidos de materiales asfálticos o bituminosos y de material granular. Es decir, se caracterizan por contar con un revestimiento asfáltico construido sobre una capa base y una capa sub-base, ambas poseen características determinadas por las especificaciones y están constituidas de material granular que se acomoda sobre el suelo de soporte denominado subrasante. Si se trata de tratamiento superficial, su espesor aproximado es 2.5 cms, si es concreto asfáltico es mayor a 5 cms.

Figura 6: Capas componentes de un pavimento flexible



Fuente: elaboración propia

Pavimentos de Concreto de cemento Portland o Rígidos

Están constituidos por losas de concreto hidráulico vaciadas sobre capas de materiales con características especificadas.

Figura 7: Capas componentes de un pavimento rígido



Fuente: elaboración propia

Pavimentos Articulados (enlosetado)

Están contruidos por bloques prefabricados, iguales entre sí y ubicados sobre una delgada capa de arena.

Figura 8: Capas componentes de un pavimento articulado



Fuente: elaboración propia

Adicionalmente definimos:

- **Capa Sub-Base:** Está compuesta de materiales granulares y se constituye en una capa de transición entre la base y la subrasante (suelo natural), eventualmente contribuye al drenaje de las aguas del sub-suelo.
- **Capa Base:** Esta encargada de reducir las tensiones verticales ejercidas en la capa superficial (llamada eventualmente de rodadura) y distribuirlas a la sub-base de forma adecuada; asimismo, permitiría el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento a través de drenajes laterales longitudinales.
- **Carpeta Asfáltica o Capa Superficial** (llamada eventualmente de rodadura) Es un revestimiento asfáltico, compuesto de asfalto y material granular graduado; esta mezcla tiene como funciones principales impermeabilizar el pavimento para permitir que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte y a su vez crear una superficie resistente al deslizamiento incluso en condiciones de humedad.
- **Capa Superficial de Hormigón,** Consiste en losas de concreto de cemento Portland vaciadas sobre la capa base. En caminos normalmente no requiere refuerzo con varillas de fierro de construcción, aunque eventualmente se puede utilizar una rejilla para mantener la forma.

SUPERFICIES NO PAVIMENTADAS

- **Tierra Construida:** se denomina tierra construida al suelo natural nivelado, ripioso, confinado por cordones de acera.

Comportamiento del Pavimento

- **Comportamiento Funcional:** El comportamiento funcional de un pavimento está relacionado a una superficie segura y cómoda para el usuario. En ese contexto la rugosidad (llamada por algunos autores, regularidad superficial) es la característica predominante. Adicionalmente se tienen otras características como la textura y la fricción superficial.

La rugosidad es la característica más percibida por el usuario ya que afecta la calidad de la rodadura. Se relaciona con las vibraciones, con un deterioro precoz de los vehículos, con la probabilidad de dañar mercancías transportadas, con el desgaste de los vehículos y con el consumo de combustible. En síntesis, la comodidad depende principalmente del vehículo y del perfil longitudinal de la carretera. (Morales Olivares, 2005, pág. 30).

- **Comportamiento Estructural:** el comportamiento estructural del pavimento de concreto está asociado a la capacidad (estructural) que tiene para soportar o resistir las solicitaciones de carga a que estará sometido durante su período de vida útil; ya que las cargas de los vehículos pesados producen una pérdida lenta y progresiva de la capacidad de soporte de la estructura del pavimento. (Morales Olivares, 2005, pág. 31).

Factores que afectan el Comportamiento del Pavimento: Existen diferentes y diversos motivos que pueden afectar el comportamiento del pavimento; el tráfico y el clima son los factores más relevantes y pueden llegar a producir una pérdida de serviciabilidad de la estructura y la reducción de la vida útil del pavimento.

- **Flujo Vehicular o Tráfico Vehicular:** se requiere analizar las características de los vehículos que transitan por las carreteras y calles para el diseño de un

pavimento (lastimosamente muchos vehículos no cumplen con la “Ley de cargas y dimensiones” ocasionando el deterioro prematuro de las vías).

- **Condiciones Ambientales:** este factor está relacionado con el clima, la humedad y el cambio de temperatura que pueden afectar la resistencia y capacidad de carga del pavimento y del estrato de suelo natural incluso pueden hacer que se reduzca significativamente la vida útil de la estructura de pavimento.
- **Regularidad Superficial del Pavimento (Rugosidad):** la regularidad superficial es una medida del comportamiento funcional de un pavimento, es quizás la única característica que percibe el usuario de la carretera a través de su sensación de mayor o menor comodidad en la circulación. Se puede definir como el conjunto de efectos causados en los vehículos por las variaciones en el perfil real de la calzada, respecto del teórico del proyecto (Pinilla V., 2007, pág. 66).
- **Etapas del pavimento:** cuando se efectúan mediciones de rugosidad, y se verifican deficiencias, es válido indagar desde la etapa de diseño, etapa de construcción, equipo utilizado (actualmente los equipos vienen con controles automatizados de terminación y nivelación que deberían resultar en una superficie con rugosidad razonable y conveniente), efectivización de la supervisión en condiciones aceptables. Tiempo de uso de la vía, si posible la calidad de materiales utilizados.

Historia: el Banco Mundial patrocinó varios programas de investigación en los años setenta del siglo pasado, para conocer los problemas del tráfico y transporte en los países en vías de desarrollo. La “rugosidad” de las carreteras fue identificada como factor principal de la calidad del camino y relacionada con los costos de los usuarios. Sin embargo, los datos de rugosidad de las diferentes partes del mundo no podían ser comparados debido a que las mediciones estaban basadas en métodos diferentes y en una gran variedad de equipos, utilizados para evaluar la “rugosidad” (regularidad superficial). Las diversas escalas existentes llevaron a considerar la conveniencia de adoptar un “índice único”.

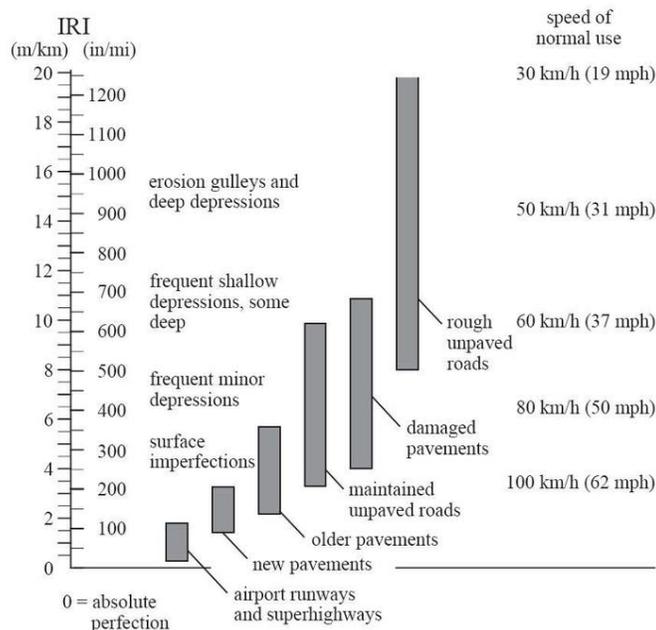
En 1982, el Banco Mundial inició un experimento en Brasil para establecer correlaciones y un estándar de calibración para las mediciones de rugosidad. Se observó que los valores de los equipos de medición de la rugosidad superficial existentes eran

correlacionables. Una vez establecido este punto, uno de los objetivos de las investigaciones fue encontrar un índice de referencia al que posteriormente se denominó Índice de Rugosidad Internacional ". (Zevallos G., 2016 pág. 27).

ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) El Índice de Rugosidad Internacional es un índice ampliamente utilizado. El método de análisis está adaptado para trabajar con diferentes tipos de equipos de medición de rugosidad. Los desplazamientos de la suspensión del modelo son acumulados y divididos entre la distancia recorrida para dar el Índice de Rugosidad Internacional, y está representado en unidades de m/km., mm/m, in/mi, etc. (Zevallos G., 2016 pág. 27). Las unidades de IRI en m/km son comúnmente usadas en países de Latinoamérica y en el lado oeste de Europa. En Estados Unidos y otros países al este de Europa; así como los países asiáticos se utiliza la pulg/milla.

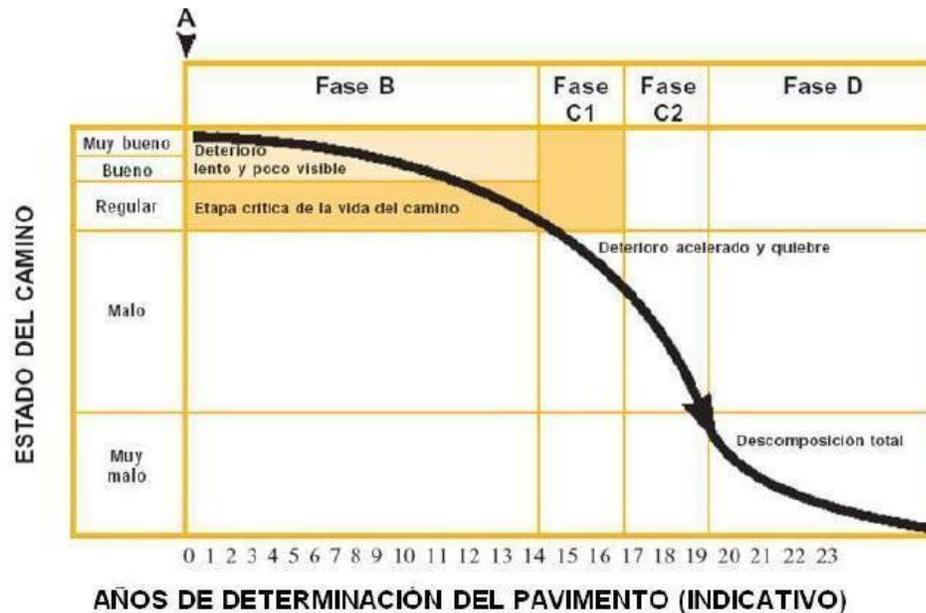
En la siguiente figura se muestra los valores típicos de IRI para distintos tipos de estructuras de pavimento, según las experiencias del Banco Mundial en diversos países.

Figura 9: Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI en diferentes tipos de vías.



Fuente: (Sayers & karamihias, 1998)

Figura 10: Representación típica del avance del deterioro de un camino respecto al tiempo.



Fuente: Universidad Peruana Los Andes

La disminución de la calidad de la capa superficial se presenta en 3 etapas: la primera etapa (fase B) presenta un deterioro poco significativo (lento y poco visible) y se produce en los primeros años de explotación, la segunda (fase C1) presenta un deterioro más pronunciado que la primera (etapa crítica de la vida de un camino), y debe considerarse iniciar un programa de mantenimiento para detener el deterioro, la tercera tiene característica de deterioro acelerado, debido a que en pocos años el nivel de servicio cae dramáticamente, por lo que debe realizarse una reconstrucción total del mismo (Instituto Mexicano del transporte, 1998).

Según el "Manual de Diseño de Conservación Vial" del ABC se tiene:

- **Valores límites del IRI:** A un pavimento perfectamente liso se le asigna un valor de IRI de 0, caminos con rugosidad moderada reciben valores de IRI de alrededor de 6 m/km, y casos extremos de carreteras no pavimentadas con muchos baches resultan en valores de IRI superiores a 20 m/km. Existen diversos valores referenciales del IRI para carreteras nuevas por tipo de superficie. A la

Administradora Boliviana de Carreteras como Institución Vial del país le corresponde determinar umbrales y rangos de aceptación según el tipo de carpeta de rodado ya sea que esta corresponda a una etapa de construcción, pavimentación o rehabilitación. A modo de referencia se indican algunos valores de rugosidad para pavimentos nuevos y umbrales del IRI de la Dirección de Vialidad de Chile.

Tabla 2: Valores iniciales del IRI

Pavimentos asfálticos	0.9 - 1.5 m/km
Pavimentos de hormigón	1.1 – 1.8 m/km
Tratamientos superficiales	2.5 - 3.5 m/km

Fuente: Dirección de Vialidad de Chile.

Tabla 3: Valores del IRI característico

Pavimentos asfálticos nuevos	≤ 2.0 m/km
Recapado asfáltico	≤ 2.5 m/km
Tratamientos superficiales, sello	≤ 3.0 m/km

Fuente: Dirección de Vialidad de Chile.

Tabla 4: Valores límites del IRI para considerar una intervención en m/ km

CONDICIÓN	BRASIL	CHILE	URUGUAY	ESPAÑA	HONDURAS	EEUU
Excelente	1.0 - 1.9		< 3.2	0 – 1.5		< 0.95
Bueno	1.9 – 2.7	0 – 3.0	3.2 -3.9	1.5 – 2.5	< 3.5	0.95 – 1.5
Regular	2.7 – 3.5	3.0 – 4.0	4.0 – 4.6	2.5 – 4.0	3.5 – 6.0	1.5 – 2.7
Malo	3.5 – 4.6					
Pésimo	> 4.6	> 4.0	> 4.6	> 4.0	> 6.0	> 2.7

Fuente: Manual de Diseño Geométrico del ABC Bolivia

CORRELACIÓN ENTRE EL IRI Y EL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD

Tanto el IRI como el Índice de Serviabilidad Presente (PSI) se calculan a partir de prácticamente el mismo parámetro, de manera que se han desarrollado varias correlaciones entre el IRI y el PSI. Paterson (1987) sugiere el cálculo del IRI en función del índice PSI según la siguiente ecuación:

$$IRI = 5.5 * \ln \left(\frac{5}{PSI} \right)$$

Investigaciones realizadas por Al-Omari & Darter (1994) correlacionan el IRI y el PSI con la siguiente ecuación.

$$PSI = 5 * e^{(-0.24 IRI)}$$

En Chile Dujisin & Arroyo (1995) observaron que el IRI y el PSI puede correlacionarse con la ecuación:

$$PSI = 5.85 - (1.68 * IRI)^{-0.5}$$

La AASHTO define las siguientes ecuaciones diferenciando pavimentos flexibles y pavimentos rígidos.

Asfalto	$PSI = 5.671 - 1.714 \sqrt{IRI}$
---------	----------------------------------

Hormigón	$PSI = 5.769 - 1.589 \sqrt{IRI}$
----------	----------------------------------

(del Volumen 5.º Manual de Conservación Vial. Capítulo 2: Gestión de Conservación Vial. Administradora Boliviana De Carreteras).

2.3 ENFOQUE ELEGIDO

El desarrollo anterior muestra que el MERLIN es un equipo fácil de usar y suficientemente preciso, además económico.

Aunque su diseño es muy simple, el MERLIN es capaz de medir desplazamientos de menos de un milímetro.

Como se explicó, al principio se presentaron variadas escalas para cuantificar la rugosidad posteriormente se trabajó en la reducción del número de escalas de rugosidad en uso y finalmente se estandarizó en el llamado Índice de Rugosidad Internacional (IRI). En todo caso, la escala del MERLIN tiene la ventaja de ser fácil de visualizar y aunque las lecturas del MERLIN pueden convertirse fácilmente a valores IRI, en algunos casos la conversión es innecesaria y se podría considerar el uso directo de la escala MERLIN.

2.3.1 Influencia de la “rugosidad” de la superficie de rodadura

La experiencia en la utilización del IRI en caminos y carreteras es vasta; pero tratándose de vías urbanas aún no se ha experimentado debidamente.

En la investigación que se efectúa se estudiarán y analizarán los aspectos más determinantes en los que la “rugosidad” de la superficie de rodadura tiene influencia para la circulación de los vehículos:

a) **Seguridad y comodidad:** Una “buena” rugosidad superficial ofrece condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios de las vías.

b) **Costos de operación vehicular:** El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) interviene en los costos de operación vehicular puesto que una considerable rugosidad superficial afecta la velocidad de circulación e incrementa el desgaste de los automotores.

c) **Efectos dinámicos:** Los efectos dinámicos inducidos o provocados por las irregularidades de las vías, pueden manifestarse no solo en los vehículos, sino que esa “rugosidad” influye en los esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento. pudiendo ocasionar incrementos en los costos de mantenimiento.

d) **Acciones de conservación de las vías:** La rugosidad inicial de los pavimentos es un indicador de la calidad de la construcción de las vías. La “rugosidad” del pavimento permitiría definir las acciones de conservación necesarias según su estado. En todo caso, la variación de la rugosidad depende también de otros factores como: el tráfico y su composición, el clima, los materiales utilizados en la construcción, etc.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se presenta las técnicas, métodos y procedimientos que se consideran para la investigación.

3.1 ASPECTOS GENERALES

Tiempo de realización de la investigación.

La investigación se efectúa entre los meses de marzo a octubre y un periodo adicional para ajustes y correcciones hasta diciembre de la gestión 2022.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Cuantitativa

Se recopila información a través de mediciones directas de la rugosidad IRI utilizando el rugosímetro MERLIN. Esa información será complementada y contextualizada mediante observaciones directas, conteos de tráfico y otros datos e información complementaria obtenida mediante entrevistas a los vecinos.

Se utilizará herramientas de análisis matemático y estadístico para describir, explicar y predecir la rugosidad (estado de la superficie de rodadura) y el Índice de Serviciabilidad Presente, y sus implicancias.

Cualitativa

Se efectuarán consideraciones de orden cualitativo, sobre la base de observaciones en el trabajo de campo, entrevistas a vecinos y a conductores de alrededores de cada vía urbana.

Nivel Descriptivo

Buscando especificar las propiedades y características de las distintas superficies de rodadura presentes en las vías urbanas.

A través del método hipotético-deductivo se establecerán las hipótesis para comprobarlas o refutarlas. Es uno de los modelos para describir al método científico, basado en un ciclo inducción-deducción-inducción para establecer hipótesis y comprobarlas o refutarlas.

3.3 DISEÑO DE LA INVESTIGACION

Métodos de Investigación a utilizarse

- **Inducción**, la inducción se refiere a la vía de lo específico a lo general.
- **Análisis-síntesis**, el análisis es la descomposición del todo en las partes, y la síntesis la unión de las partes para formar el todo.

3.4 VARIABLES DE LA INVESTIGACION

La “Variable Independiente” es: la **Rugosidad superficial** (la denominaremos rugosidad MERLIN)

Se obtiene mediante mediciones con el MERLIN y se entiende como la desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo y la calidad de manejo.

La “Variable dependiente” es: el **Índice de Rugosidad Internacional (IRI)**

Es un estándar de medida de rugosidad superficial de las carreteras, el cual permite evaluar con cualquier equipo de medición la rugosidad de un pavimento; e indicar en valores propios del IRI.

Asimismo, se tiene establecida una relación de la anterior variable con el:

Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Además, se considera variables accesorias como:

- Tipo de superficie de rodadura.
- Tráfico.
- Número de carriles.
- Singularidades.

Para la presente investigación se utiliza el término “Rugosidad” puesto que así se tradujo inicialmente del Estudio de Kenia donde surgió esta unidad, aunque algunos autores se refieren como “regularidad”. Es posible encontrar bibliografía que trata indistintamente los términos Regularidad y Rugosidad.

El termino Rugosidad se utiliza, en referencia a las irregularidades que presenta la superficie de la vía urbana (pavimentada o no pavimentada) y que afectan desfavorablemente a la comodidad, confort, velocidad y seguridad del vehículo en su circulación.

3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

El Distrito 8 del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto (Senkata) es uno de los más extensos de la ciudad, se encuentra al Sud del Municipio de El Alto con características topográficas planas que determinan un alineamiento vertical con pendientes moderadas en tramos largos de no más de 3%, tanto en bajada como en subida. Asimismo, y de esa manera, se tienen calles y avenidas con alineamiento horizontal recto que esporádicamente presentan curvas amplias, las cuales no modifican la velocidad de circulación de los vehículos.

POBLACION

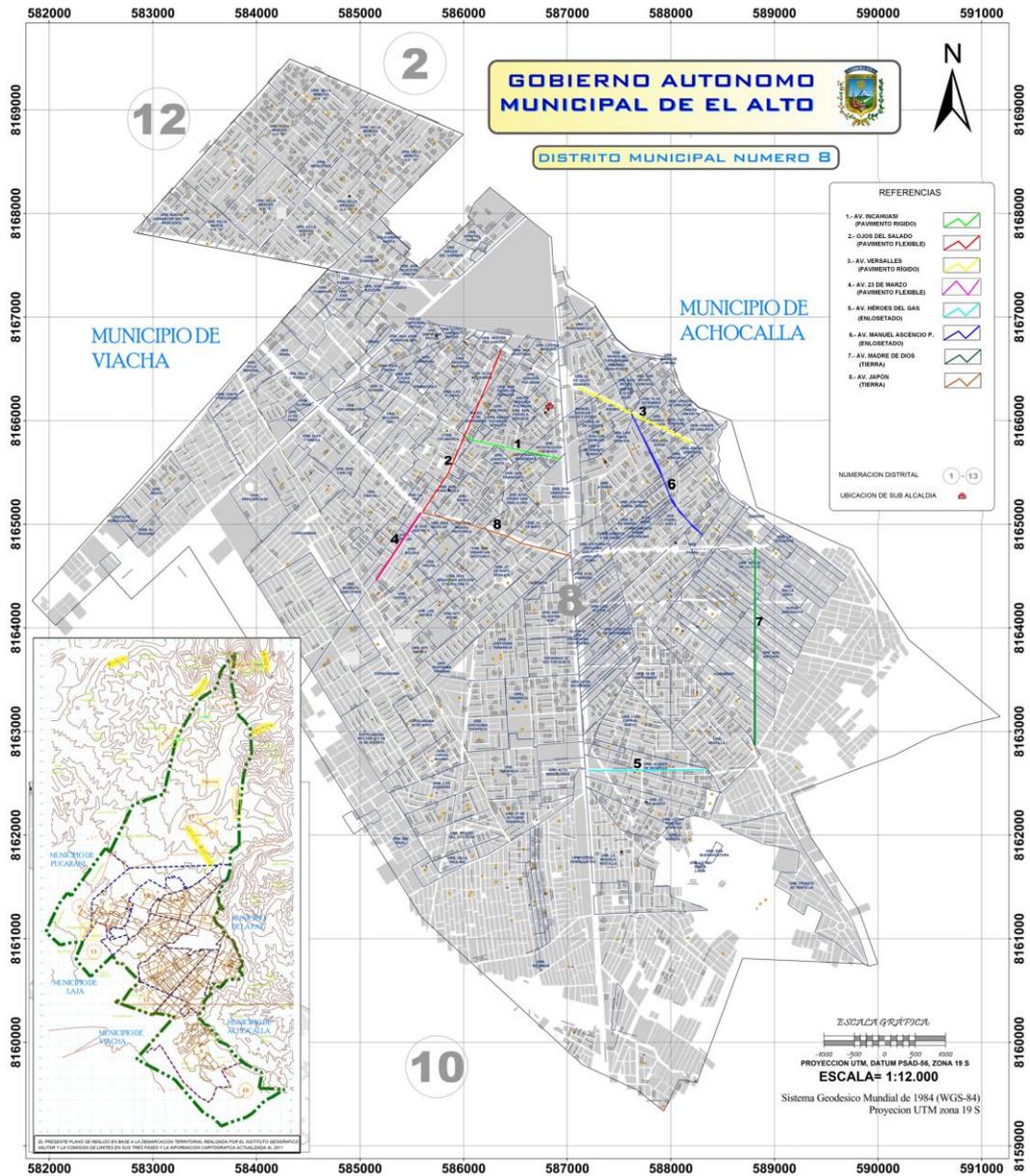
Con respecto a la **POBLACION**, las vías urbanas preseleccionadas corresponden en su mayor parte a vías de Segundo Orden con varios carriles (multicarriles) para ambas direcciones de circulación y con un separador o bandejón central:

Se han seleccionado ocho vías urbanas (con diferentes tipos de superficie de rodadura), todas del Distrito 8 del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto, que son representativas del tejido urbano (pavimentadas y no pavimentadas). Son las siguientes:

1. Av. Incahuasi (pavimento rígido).
2. Av. Ojos del Salado (pavimento flexible).
3. Av. Versalles (pavimento rígido).
4. Av. 23 de Marzo (pavimento flexible).
5. Av. Héroes del Gas (enlosetado).
6. Av. Manuel Ascencio Padilla (enlosetado).
7. Av. Madre de Dios (tierra).
8. Av. Japón (tierra).

Se consideraron dos vías urbanas para cada tipo de superficie de rodadura para comparar y sacar conclusiones. (ver la figura 11 con la ubicación de las vías urbanas consideradas)

Figura 11: Distrito Municipal 8 y las vías en estudio.



Fuente: GAMEA

MUESTRA

La muestra es la capa superficial de las vías consideradas, sobre la que se desplazan los vehículos (puede ser pavimentada o no pavimentada).

Al ser avenidas multicarriles y con doble sentido de circulación, se efectúan mediciones en ambos sentidos, considerando el carril de mayor circulación de tráfico, por sentido.

Comprende ocho vías urbanas del Distrito 8 del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto, con diferentes recubrimientos de su superficie de rodadura, sea esta:

- pavimento flexible
- pavimento rígido
- losetas
- tierra

Se seleccionó 2 de cada una de las superficies citadas e identificadas. Para efectuar comparaciones entre resultados del mismo tipo de superficie de rodadura (por ese motivo se consideraron dos de cada tipo), pero también entre resultados de diferentes superficies de rodadura.

Entonces, como Unidad de Análisis fueron considerados 30 tramos de aproximadamente 400 metros cada uno, que corresponden a 8 vías urbanas (avenidas) en sus carriles de ida y vuelta (total aproximado de 12000 metros).

Recursos humanos:

- Docente-Investigador responsable.
- Coordinador del Instituto de Investigación.
- Equipo Técnico (Auxiliares de Investigación)

Recursos Materiales:

Equipos y Herramientas:

- MERLIN con sus accesorios
- Computadora (más papel, impresora).
- Tablero, bolígrafos, pintura para señalización de unidades de muestra, chalecos reflectantes, huincha, conos de señalización, cascos, vernier, llave para ajuste de patín, banderillas.
- Cámara fotográfica.
- Cámara infrarroja para filmación del tráfico.

3.6 AMBIENTE DE LA INVESTIGACION

En el gabinete los factores que influyen sobre los resultados del estudio pueden precisarse en forma más fácil y efectiva. Las reuniones de coordinación con las auxiliares de investigación resultan convenientes y beneficiosas para todos los participantes porque se promueve, planifica, orienta y valora, aspecto que es motivante. El investigador se siente más confiado en que sus hallazgos son sólidos y exactos.

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

La toma de datos en campo se ha dado mediante los formularios mencionados: tanto para las mediciones con el rugosímetro MERLIN como para el conteo vehicular, utilizando filmaciones cuando ha sido posible.

Básicamente se efectuó:

- Revisión bibliográfica
- Medición de la regularidad superficial de las vías urbanas seleccionadas (IRI), con el rugosímetro “MERLIN”
- Conteos de clasificación de los vehículos que circulan en la vía urbana (tráfico) sobre la base de filmaciones cuando ha sido posible o conteos manuales cuando se ha requerido.
- Evaluación visual del estado de la superficie de rodadura.
- Análisis del reporte fotográfico y selección de las fotografías más significativas.
- Entrevistas.

Revisión Bibliográfica

Para nuestra investigación se demandó información proveniente de libros, textos, revistas, talleres, páginas web, entrevistas, tesis, manuales, entre otros.

La primera etapa estuvo enfocada en una revisión bibliográfica sobre los conceptos y aspectos teóricos presentes en la evaluación superficial y estructural de los pavimentos. Se identificaron las variables de mayor importancia a ser consideradas en el estudio, así como los antecedentes existentes del tema (ver Bibliografía).

También, se obtuvo alguna información valiosa del Municipio, como ser: cartografías, mapas, superficie de las vías del Distrito 8 elegido.

Medición de la regularidad superficial de las vías urbanas seleccionadas (IRI), con el rugosímetro “MERLIN” (Recolección de datos de campo).

Para el análisis de la rugosidad, se obtuvieron datos mediante mediciones con el rugosímetro MERLIN.

Toma de datos. - Las lecturas utilizando el MERLIN se efectúan entre dos operadores que comparten el trabajo. Uno maneja el equipo y el otro toma las lecturas. El segundo

operador, de pie a un lado, puede advertir si hay algún problema con el brazo móvil y además puede verificar que la máquina esté siguiendo correctamente la trayectoria de la huella. Al intercambiarse de función, los dos operadores pueden mejorar su rendimiento diario.

Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico (Hirpahuanca Laura, D. 2016).

Para determinar un valor de rugosidad se efectúan 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones se realizan estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente de esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda. En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo. Una vez estabilizado el equipo se tomará lectura en la posición que adopta el puntero y esta corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formulario de campo.

El formulario consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha. El rendimiento depende del tráfico, y eventualmente de las condiciones climáticas.

La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas.

Medidas de seguridad. - Indudablemente, se toman medidas de seguridad para la protección a los operadores del MERLIN, puesto que existen vehículos circulando:

- se colocan señales para prevenir a los conductores que se aproximan a la sección de prueba.
- se efectúan las mediciones de cara (de frente) al tráfico que se aproxima.
- se cerciora que los operadores usen chalecos fluorescentes de seguridad.
- en sitios concurridos, se separa la sección de prueba con conos de tráfico (los conos también son útiles para marcar los extremos de las huellas de las ruedas).

Tratamiento y Análisis de los Datos: Estos datos y resultados se presentan en tablas para cada vía urbana, sin tomar en cuenta algunas singularidades encontradas en el trayecto de ida y vuelta. Estas muestras se ingresan de manera ordenada a través de tablas y gráficos en los cuales se hizo una evaluación y análisis comparativo de cada tramo y Calzada, considerando el promedio de la Rugosidad expresado en unidades IRI.

Procesamiento de la información: La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio.

El MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante (Del Águila, P. 1999). El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

La información obtenida en el recorrido de campo (mediciones con el MERLIN) se procesa calculando la distribución de frecuencias. Con este procesamiento se dibujan histogramas de distribución de frecuencias (para cada formulario) lo que facilita la determinación del valor “D” que es imprescindible para calcular el IRI.

Entonces, en base al histograma de distribuciones se procede al cálculo del rango “D” cuyo eje “x” indica los intervalos de desviaciones y el eje “y” indica la frecuencia. Del gráfico se eliminan 10 datos del extremo izquierdo y 10 datos del extremo derecho.

Correlación de “D” respecto al IRI. - Para realizar la correlación entre la rugosidad determinada con el Merlín y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), el cual es el

parámetro utilizado para uniformizar los resultados de rugosidad provenientes de la gran variedad de equipos que existen en la actualidad, se utiliza la siguiente expresión:

- Cuando $2.4 < IRI < 15.9$, Entonces $IRI = 0.593 + 0.0471 D$

Esta expresión es la ecuación original, establecida por el TRRL mediante simulaciones computarizadas, utilizando datos provenientes del ensayo Internacional sobre Rugosidad ejecutado en Brasil en 1982. Esta ecuación es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando la rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo establecido.

Análisis del reporte fotográfico y selección de las fotografías más significativas.

También se revisa el registro fotográfico existente de la zona de estudio, para identificar las franjas inactivas (ociosas) que representaban sectores poco representativos para el análisis. Además, se identifican los sectores con comportamiento atípico, de acuerdo con el concepto de singularidad que sería: "Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre otras se pueden citar rompemuelleres, cunetas, tapas de alcantarillas, juntas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil de la vía",

Entrevistas.

Con el fin de recopilar datos adicionales y complementarios se efectuaron entrevistas a los vecinos y en algún caso a conductores de vehículos automotores, se pretendía indagar sobre el año de construcción de las vías urbanas y otras intervenciones, de manera que fueran un insumo para la investigación. Lastimosamente la información obtenida fue muy limitada y contradictoria.

El GAMEA no cuenta con registros sistematizados sobre la etapa de construcción de las vías consideradas que son necesarios para el análisis, puesto que la inspección visual que se efectúa es insuficiente.

3.8 PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.8.1 *Metodología para la determinación de la Rugosidad con el MERLIN*

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio.

El MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante (Del Águila, P. 1999). El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 REGISTRO, ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LAS UNIDADES DE MUESTRA PARA DETERMINAR LOS RESULTADOS

La información obtenida en el recorrido de campo (mediciones con el MERLIN) se procesa calculando la distribución de frecuencias. Con este procesamiento se dibujan histogramas de distribución de frecuencias (para cada formulario) lo que facilitará la determinación del valor “D” que es imprescindible para calcular el IRI.

El formulario que se fue llenando con las mediciones efectuadas con el MERLIN es el siguiente:

Figura 12: Formulario de campo para mediciones con el rugosímetro

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO FORMULARIO												
ENSAYO: IRI - RUGOSÍMETRO MERLIN					CODIGO DEL DOCUMENTO:							
NORMA:					INCI - UPEA:							
CALLE o AVENIDA :												
SECTOR :					ENSAYO No. :							
FECHA :					KM. :							
HORA :					PROGRESIVA INICIO :							
CARRIL :					PROGRESIVA FINAL :							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TIPO DE PAVIMENTO	
1											TIERRA CONSTRUIDA	
2											ENLOSETADO	
3											CONCRETO ASFALTICO	
4											PAVIMENTO RIGIDO	
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
OBSERVACIONES:												
.....												
Nombre del Operador :												
Nombre del Anotador :												

Fuente: Elaboración propia

Fase de procesamiento de la información obtenida en campo: Se tienen 30 planillas en total para todas las avenidas consideradas.

Planilla 1: Datos de campo procesados

PLANILLAS DE DATOS IRI DISTRITO 8 SENKATA

CUNETA

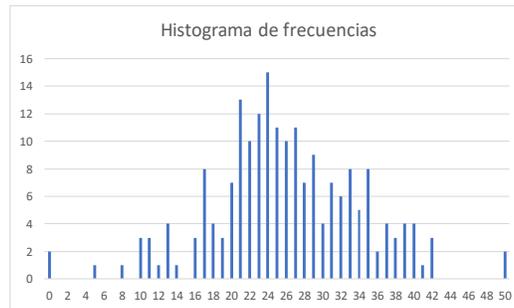
ROMPE MUELLE

AV. MANUEL ASCENCIO PADILLA (Superficie enlosetada)

PLANILLA 1 (IDA)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23	39	22	24	10	37	31	21	27	22
2	29	25	22	28	34	13	13	23	20	27
3	23	23	22	24	42	34	18	26	13	35
4	32	17	40	16	21	10	26	34	11	24
5	21	33	33	39	39	22	20	24	17	17
6	27	13	40	32	30	22	39	24	28	29
7	42	42	31	28	26	29	32	23	30	12
8	24	24	32	35	27	31	25	25	27	30
9	24	25	25	8	36	35	29	31	20	50
10	24	17	33	38	21	0	36	26	21	26
11	32	28	23	0	33	35	33	23	25	35
12	17	27	20	33	21	35	21	25	17	10
13	29	27	19	23	25	25	29	40	25	5
14	29	19	23	17	28	27	22	16	38	41
15	21	33	23	14	29	18	35	33	28	18
16	37	40	11	26	30	37	25	27	24	23
17	26	21	16	20	21	34	31	26	37	35
18	27	38	21	22	26	24	17	26	11	23
19	18	24	24	20	32	31	28	20	34	21
20	24	31	22	21	50	22	27	29	24	19

X1	f
0	2
1	0
2	0
3	0
4	0
5	1
6	0
7	0
8	1
9	0
10	3
11	3
12	1
13	4
14	1
15	0
16	3
17	8
18	4
19	3
20	7
21	13
22	10
23	12
24	15
25	11
26	10
27	11
28	7
29	9
30	4
31	7
32	6
33	8
34	5
35	8
36	2
37	4
38	3
39	4
40	4
41	1
42	3
43	0
44	0
45	0
46	0
47	0
48	0
49	0
50	2
200	



Fuente: Elaboración propia

Planilla 2: Datos de campo procesados

PLANILLAS DE DATOS IRI DISTRITO 8 SENKATA

CUNETA

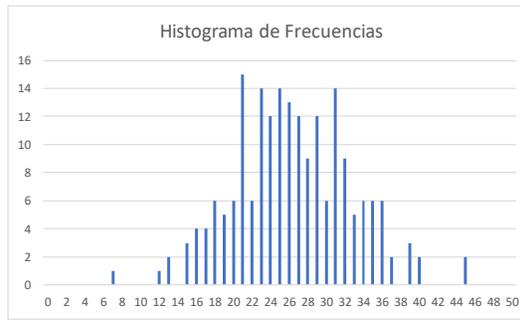
ROMPE MUELLE

AV. MANUEL ASCENCIO PADILLA (Superficie enlosetada)

PLANILLA 2 (VUELTA)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	27	24	27	26	7	27	17	28	19	23
2	26	21	29	34	32	29	34	27	26	23
3	19	29	18	23	15	35	21	31	12	31
4	28	31	23	32	19	20	34	26	26	23
5	29	28	24	32	29	32	24	25	30	25
6	25	26	18	31	29	39	21	22	31	18
7	27	31	17	30	21	17	27	15	25	25
8	25	26	26	33	31	30	30	31	33	25
9	28	35	26	24	40	23	21	39	27	31
10	16	23	34	39	24	23	25	23	22	18
11	20	36	16	32	23	27	35	29	35	25
12	20	19	24	16	17	21	23	28	22	33
13	29	22	18	20	35	36	20	30	31	21
14	37	29	27	45	21	21	16	20	29	21
15	31	25	36	24	13	24	28	25	36	27
16	33	28	22	19	24	34	21	23	30	45
17	26	25	26	28	35	36	24	32	32	31
18	31	28	29	33	32	26	27	13	23	25
19	32	27	21	24	22	18	25	15	40	36
20	29	26	24	23	34	37	21	21	31	21

X1	f
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	1
8	0
9	0
10	0
11	0
12	1
13	2
14	0
15	3
16	4
17	4
18	6
19	5
20	6
21	15
22	6
23	14
24	12
25	14
26	13
27	12
28	9
29	12
30	6
31	14
32	9
33	5
34	6
35	6
36	6
37	2
38	0
39	3
40	2
41	0
42	0
43	0
44	0
45	2
46	0
47	0
48	0
49	0
50	0
	200



Fuente: Elaboración propia

Planilla 3: Datos de campo procesados

PLANILLAS DE DATOS IRI DISTRITO 8 SENKATA

ROMPE MUELLE

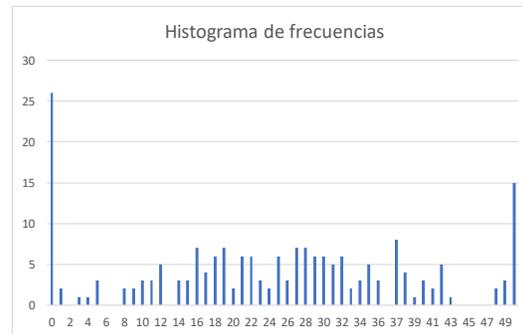
CUNETA

AV. JAPON (TIERRA CONSTRUIDA)

PLANILLA 1 (IDA)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	16	29	38	19	21	35	33	22
2	0	0	25	27	14	28	5	14	37	30
3	49	36	19	19	32	37	0	24	37	25
4	16	11	18	31	38	28	50	18	26	17
5	50	0	19	21	42	35	27	21	4	0
6	38	34	32	33	0	0	29	41	12	26
7	0	40	16	18	37	50	0	26	16	49
8	9	0	24	23	30	28	31	10	23	8
9	50	17	10	49	18	48	40	31	50	8
10	50	36	30	29	10	30	12	30	43	34
11	12	0	17	12	29	50	22	50	20	18
12	0	50	21	28	35	30	17	0	36	5
13	50	1	37	28	0	5	16	27	42	32
14	0	28	50	11	27	16	37	0	50	21
15	0	50	25	9	22	0	42	50	0	31
16	25	22	11	19	39	18	42	48	15	34
17	0	21	19	23	27	15	1	35	20	35
18	0	12	40	0	42	29	31	38	37	32
19	22	25	14	16	22	15	29	3	32	37
20	0	0	32	28	25	27	41	27	19	50

X1	f
0	26
1	2
2	0
3	1
4	1
5	3
6	0
7	0
8	2
9	2
10	3
11	3
12	5
13	0
14	3
15	3
16	7
17	4
18	6
19	7
20	2
21	6
22	6
23	3
24	2
25	6
26	3
27	7
28	7
29	6
30	6
31	5
32	6
33	2
34	3
35	5
36	3
37	8
38	4
39	1
40	3
41	2
42	5
43	1
44	0
45	0
46	0
47	0
48	2
49	3
50	15
	200



Fuente: Elaboración propia

Planilla 4: Datos de campo procesados

PLANILLAS DE DATOS IRI DISTRITO 8 SENKATA

ROMPE MUELLE

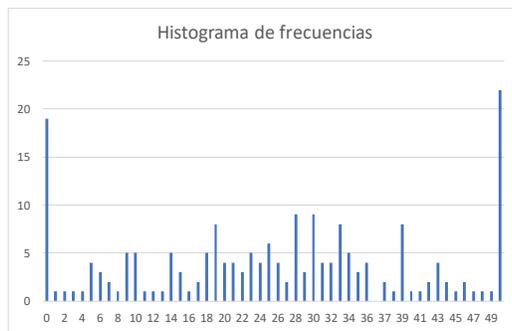
CUNETA

AV. JAPON (TIERRA CONSTRUIDA)

PLANILLA 2 (IDA)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	50	32	17	9	19	25	0	50	28	33
2	17	28	42	23	25	0	50	6	1	32
3	0	50	50	50	29	34	39	13	14	49
4	50	30	0	16	35	33	45	14	15	33
5	0	35	0	0	25	50	0	0	37	10
6	50	40	8	7	30	50	2	50	15	19
7	30	27	21	20	24	18	41	6	4	43
8	5	32	24	33	43	28	19	9	39	39
9	46	33	24	50	26	0	50	14	21	18
10	25	50	34	37	31	44	29	9	30	30
11	34	14	20	25	9	50	0	23	21	23
12	5	22	38	34	39	10	50	28	28	39
13	18	19	14	50	0	36	44	20	36	0
14	29	28	12	21	30	43	10	31	32	46
15	26	26	33	28	48	0	50	18	50	23
16	42	6	22	3	19	0	0	28	23	10
17	18	24	33	50	28	30	34	31	22	31
18	35	39	43	0	10	0	36	5	39	26
19	33	20	11	7	15	50	47	30	19	9
20	36	39	50	25	5	0	27	19	19	30

X1	f
0	19
1	1
2	1
3	1
4	1
5	4
6	3
7	2
8	1
9	5
10	5
11	1
12	1
13	1
14	5
15	3
16	1
17	2
18	5
19	8
20	4
21	4
22	3
23	5
24	4
25	6
26	4
27	2
28	9
29	3
30	9
31	4
32	4
33	8
34	5
35	3
36	4
37	2
38	1
39	8
40	1
41	1
42	2
43	4
44	2
45	1
46	2
47	1
48	1
49	1
50	22
200	



Fuente: Elaboración propia

Planilla 5: Datos de campo procesados
PLANILLAS DE DATOS IRI DISTRITO 8 SENKATA

ROMPE MUELLE

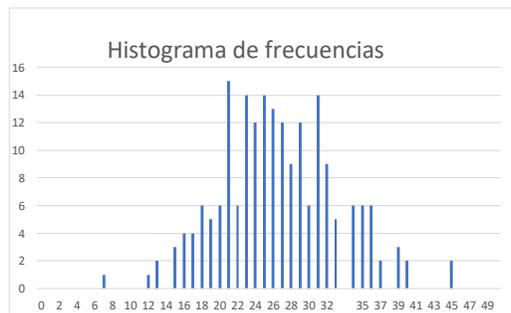
CUNETETA

AV. JAPON (TIERRA CONSTRUIDA)

PLANILLA 3(VUELTA)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	23	24	0	29	34	48	48	39	28	16
2	36	16	50	16	45	31	0	0	24	21
3	36	12	49	28	0	4	0	0	17	27
4	27	2	36	44	45	21	38	38	41	34
5	19	30	5	0	30	33	0	7	17	2
6	0	0	21	0	24	22	24	26	33	33
7	19	22	50	27	34	24	42	37	0	14
8	0	6	50	40	33	48	3	50	23	14
9	42	21	0	23	39	30	31	4	0	15
10	22	18	29	50	39	7	31	33	13	22
11	32	22	40	50	30	31	10	17	15	3
12	35	31	20	41	35	33	4	35	32	28
13	6	26	31	11	21	8	40	38	43	23
14	5	14	23	0	0	23	24	14	50	0
15	17	37	19	30	40	28	11	32	8	6
16	43	34	6	7	21	29	18	44	0	0
17	23	41	17	35	50	0	44	0	38	1
18	20	9	23	0	50	37	5	22	27	50
19	13	12	28	46	35	12	50	46	0	0
20	18	24	18	5	46	43	21	33	26	50

X1	f
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	1
8	0
9	0
10	0
11	0
12	1
13	2
14	0
15	3
16	4
17	4
18	6
19	5
20	6
21	15
22	6
23	14
24	12
25	14
26	13
27	12
28	9
29	12
30	6
31	14
32	9
33	5
34	6
35	6
36	6
37	2
38	0
39	3
40	2
41	0
42	0
43	0
44	0
45	2
46	0
47	0
48	0
49	0
50	0
200	



Fuente: Elaboración propia

Planilla 6: Datos de campo procesados

PLANILLAS DE DATOS IRI DISTRITO 8 SENKATA

ROMPE MUELLE

CUNETA

PLANILLA 4 (VUELTA)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	29	18	35	34	29	11	0	22	18	43
2	29	0	5	1	50	2	13	35	31	16
3	24	19	40	17	0	32	49	34	16	31
4	28	24	38	20	50	44	19	29	13	19
5	0	35	0	43	34	16	28	41	27	21
6	22	8	6	34	18	50	24	23	41	50
7	19	38	9	50	0	17	14	30	15	50
8	0	15	41	25	9	20	16	23	28	46
9	42	24	50	36	33	35	45	50	0	47
10	50	0	22	24	32	24	7	28	50	0
11	39	26	38	0	24	3	0	19	2	0
12	18	11	0	7	31	49	50	0	14	19
13	0	28	12	6	0	0	31	23	0	50
14	50	31	35	0	30	11	18	37	37	13
15	0	25	16	6	45	39	31	31	0	0
16	22	40	35	20	27	20	4	18	50	50
17	31	23	37	40	43	26	32	50	0	0
18	2	1	23	0	11	27	19	21	0	7
19	50	24	38	0	34	50	20	0	50	44
20	41	17	30	8	27	29	15	41	29	50

AV. JAPON (TIERRA CONSTRUIDA)

X1	f
0	29
1	2
2	3
3	1
4	1
5	1
6	3
7	3
8	2
9	2
10	0
11	4
12	1
13	3
14	2
15	3
16	5
17	3
18	6
19	7
20	5
21	2
22	4
23	5
24	8
25	2
26	2
27	4
28	5
29	6
30	3
31	8
32	3
33	1
34	5
35	6
36	1
37	3
38	4
39	2
40	3
41	5
42	1
43	3
44	2
45	2
46	1
47	1
48	0
49	2
50	20
	200



Fuente: Elaboración propia

4.2 CÁLCULO DE LOS FACTORES DE CORRECCIÓN

Los factores de corrección son resultado de la calibración del MERLIN. Para la calibración se utiliza una pastilla de 5 milímetros de espesor y se efectúan medidas sin la pastilla y con la pastilla colocada en el patín de lecturas.

Tabla 5: Datos de campo procesados

FACTOR DE CORRECCION

Espesor de Pastilla = 5.0 mm

TRAMO	LECTURA CON PASTILLA	LECTURA SIN PASTILLA	DIFERENCIA	FACTOR DE CORRECCION
Avenida Ojos del Salado (Concreto asfaltico)	162	111	51	0.974
	160	110	50	
	155	102	53	
Avenida 23 de Marzo (Concreto asfaltico)	152	102	50	0.943
	187	131	56	
	172	119	53	
Avenida Versalles (Pavimento Rigido)	210	155	55	0.955
	77	24	53	
	103	54	49	
Avenida Incahuasi (Pavimento Rigido)	250	190	60	0.857
	240	185	55	
	230	170	60	
Avenida Manuel Ascensio Padilla (Losetas)	100	45	55	0.882
	122	67	55	
	124	64	60	
Avenida Heroes del Gas (Losetas)	160	109	51	0.993
	137	87	50	
	130	80	50	
Avenida Madre de Dios (Tierra)	287	207	80	0.824
	182	130	52	
	238	188	50	
Avenida Japon (Tierra)	200	152	48	0.920
	264	230	34	
	221	140	81	

Fase de procesamiento de la información obtenida en campo.

Fuente: Elaboración propia

4.3 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El siguiente cuadro presenta el resumen completo del cálculo de IRI para todas las avenidas consideradas.

Tabla 6:Fase de procesamiento de la información obtenida en campo.

RESUMEN DE RESULTADOS - VALORES IRI

Nro.	Longitud (m)	Tramo	Planilla Nro.	Direccion	Huella	Resultados		Promedio por Avenida	Promedio por Sup. de Rodadura	
						D (mm)	IRI (m/km)			
Avenidas pavimentadas con: CONCRETO ASFALTICO										
1	Avenida Ojos del Salado		1	IDA	Derecha	83.6	4.53	3.69	4.38	3.56
2			2	IDA	Derecha	48.1	2.86	5.06		
3			3	VUELTA	Derecha	90.2	4.84			
4			4	VUELTA	Derecha	99.3	5.27			
5	Avenida 23 de Marzo		1	IDA	Derecha	48.7	2.89	2.75	2.75	
6			2	VUELTA	Derecha	42.7	2.61			
Avenidas pavimentadas con: PAVIMENTO RIGIDO										
7	Avenida Versailles		1	IDA	Derecha	117.0	6.10	6.03	5.71	4.63
8			2	IDA	Derecha	125.3	6.50			
9			3	IDA	Derecha	104.1	5.50			
10			4	VUELTA	Derecha	105.1	5.54	5.38		
11			5	VUELTA	Derecha	80.8	4.40			
12			6	VUELTA	Derecha	119.4	6.22			
13	Avenida Incahuasi		1	IDA	Derecha	52.3	3.06	3.47	3.56	
14			2	IDA	Derecha	70.0	3.89			
15			3	VUELTA	Derecha	57.8	3.32	3.65		
16			4	VUELTA	Derecha	72.0	3.98			
Avenidas revestidas con: LOSETAS										
17	Avenida Manuel Ascensio Padilla		1	IDA	Derecha	117.9675	6.15	6.40	6.40	5.01
18			2	VUELTA	Derecha	128.772	6.66			
19	Avenida Heroes del Gas		1	IDA	Derecha	62.5	3.54	3.68	3.62	
20			2	IDA	Derecha	68.7	3.83			
21			3	VUELTA	Derecha	65.5	3.68	3.56		
22			4	VUELTA	Derecha	60.3	3.43			
Avenidas consideradas de Tierra Construida										
23	Avenida Madre de Dios		1	IDA	Derecha	127.7	6.61	6.60	6.74	7.09
24			2	IDA	Derecha	127.5	6.60			
25			3	VUELTA	Derecha	132.9	6.85	6.88		
26			4	VUELTA	Derecha	133.9	6.90			
27	Avenida Japon		1	IDA	Derecha	150.4	7.68	8.13	7.43	
28			2	IDA	Derecha	169.4	8.57			
29			3	VUELTA	Derecha	92.4	4.94	6.74		
30			4	VUELTA	Derecha	168.7	8.54			

Fuente: Elaboración propia

4.4 RELACIÓN ENTRE LA RUGOSIDAD (IRI) Y LA SERVICIABILIDAD (PSI)

Tabla 7: Fase de procesamiento de la información obtenida en campo.

CALCULO DE PSI (3 METODOS)					
	Ecuación de Paterson	Ecuación de Al Omari y Darter	Ecuación de Dujisin y Arroyo	Promedio	Estado de Serviabilidad
Con promedio total	2.63	1.97	2.68	2.43	REGULAR
Av. Ojos del Salado	2.27	1.60	2.34	2.07	REGULAR
Av. 23 de Marzo	3.05	2.44	3.07	2.85	REGULAR
Con promedio total	2.17	1.49	2.23	1.97	REGULAR
Av. Versailles	1.79	1.13	1.84	1.58	MALA
Av. Incahuasi	2.63	1.97	2.68	2.43	REGULAR
Con promedio total	2.03	1.35	2.09	1.82	REGULAR
Av. Ml. Ascencio Padilla	1.58	0.94	1.60	1.37	MALA
Av. Heroes del Gas	2.61	1.94	2.65	2.40	REGULAR

Fuente: Elaboración propia

4.5 ESTUDIO DEL TRAFICO

Se efectuaron aforos de vehículos en las avenidas consideradas (menos en dos de ellas por falta de colaboración de los vecinos, pese a la intervención de la Sub-alcaldía que pidió a los dirigentes vecinales que facilitaran nuestro trabajo). Se procesaron los datos obtenidos.

COMPOSICIÓN DEL TRÁFICO

Se tiene la siguiente información:

Tabla 8: Fase de procesamiento de la información obtenida en campo

TRAFICO PROMEDIO DIARIO POR TIPO DE VEHICULO Y POR AVENIDA

(Conteos efectuados durante la semana del 23 al 30 de Octubre)

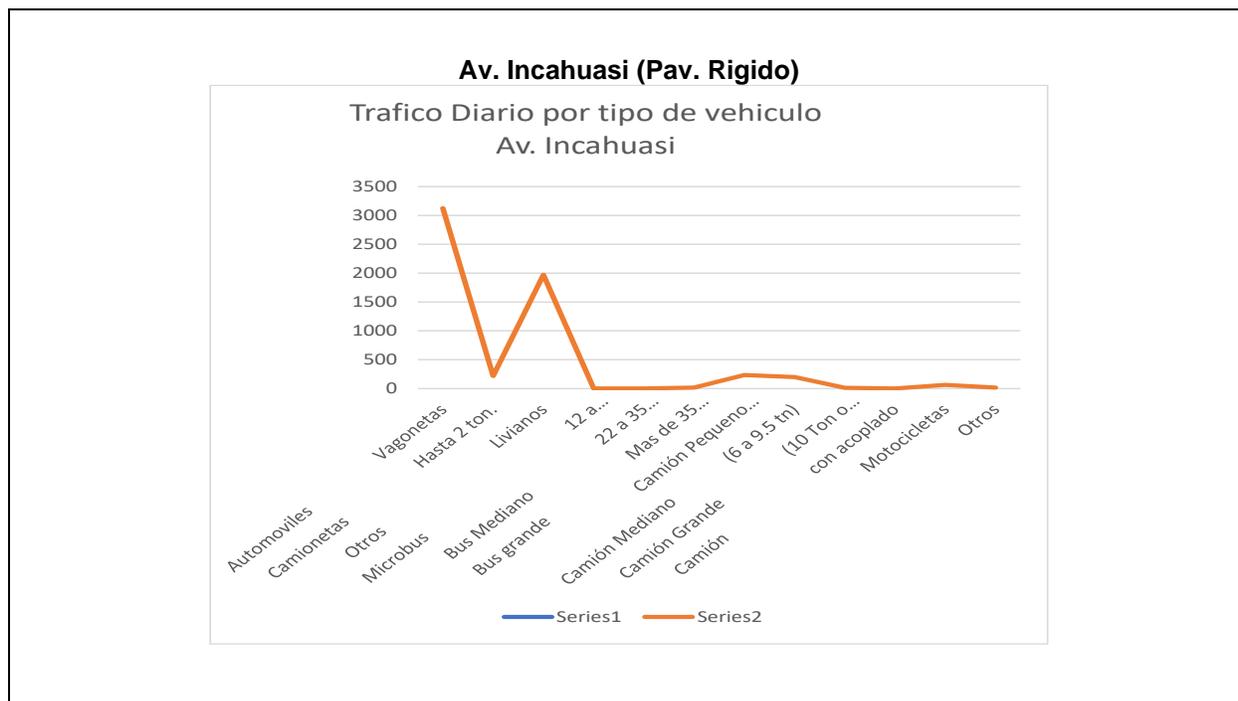
CALLE O AVENIDA	TIPO DE VEHICULO	Automoviles	Vagonetas	Camionetas	Otros	Microbus	Bus Mediano	Bus grande	Camión Pequeño	Camión Mediano	Camión Grande	Camión con acoplado	Motocicletas	Otros	TOTAL
		Hasta 2 ton.	Livianos	12 a 21 asientos	22 a 35 asientos	Mas de 35 asientos	(2.5 a 5.5 tn)	(6 a 9.5 tn)	(10 Ton o mas)						
Av. Incahuasi (Pav. Rigido)	TRAFICO	3126	218	1970	0	0	18	236	201	12	0	65	18	5863	
	PORCENTAJE	53	4	34	0	0	0	4	3	0	0	1	0	100	
Av. Versalles (Pav. Rigido)	TRAFICO	1180	212	731	12	0	6	12	41	0	77	47	24	2342	
	PORCENTAJE	50	9	31	1	0	0	1	2	0	3	2	1	100	
Av. Ojos del Salado (Pav. Flexible)	TRAFICO	254	39	273	7	1	0	51	12	3	1	24	1	666	
	PORCENTAJE	38	6	41	1	0	0	8	2	0	0	4	0	100	
Av. 23 de Marzo (Pav. Flexible)	TRAFICO	182	21	195	5	1	0	31	8	2	0	16	1	461	
	PORCENTAJE	39	5	42	1	0	0	7	2	0	0	3	0	100	
Av. Manuel Ascencio Padilla (Enlosetado)	TRAFICO	2053	372	2819	29	0	0	319	112	29	83	218	24	6057	
	PORCENTAJE	34	6	47	0	0	0	5	2	0	1	4	0	100	
Av. Japón (Tierra construida)	TRAFICO	248	18	71	0	0	0	47	24	41	6	0	0	454	
	PORCENTAJE	55	4	16	0	0	0	10	5	9	1	0	0	100	

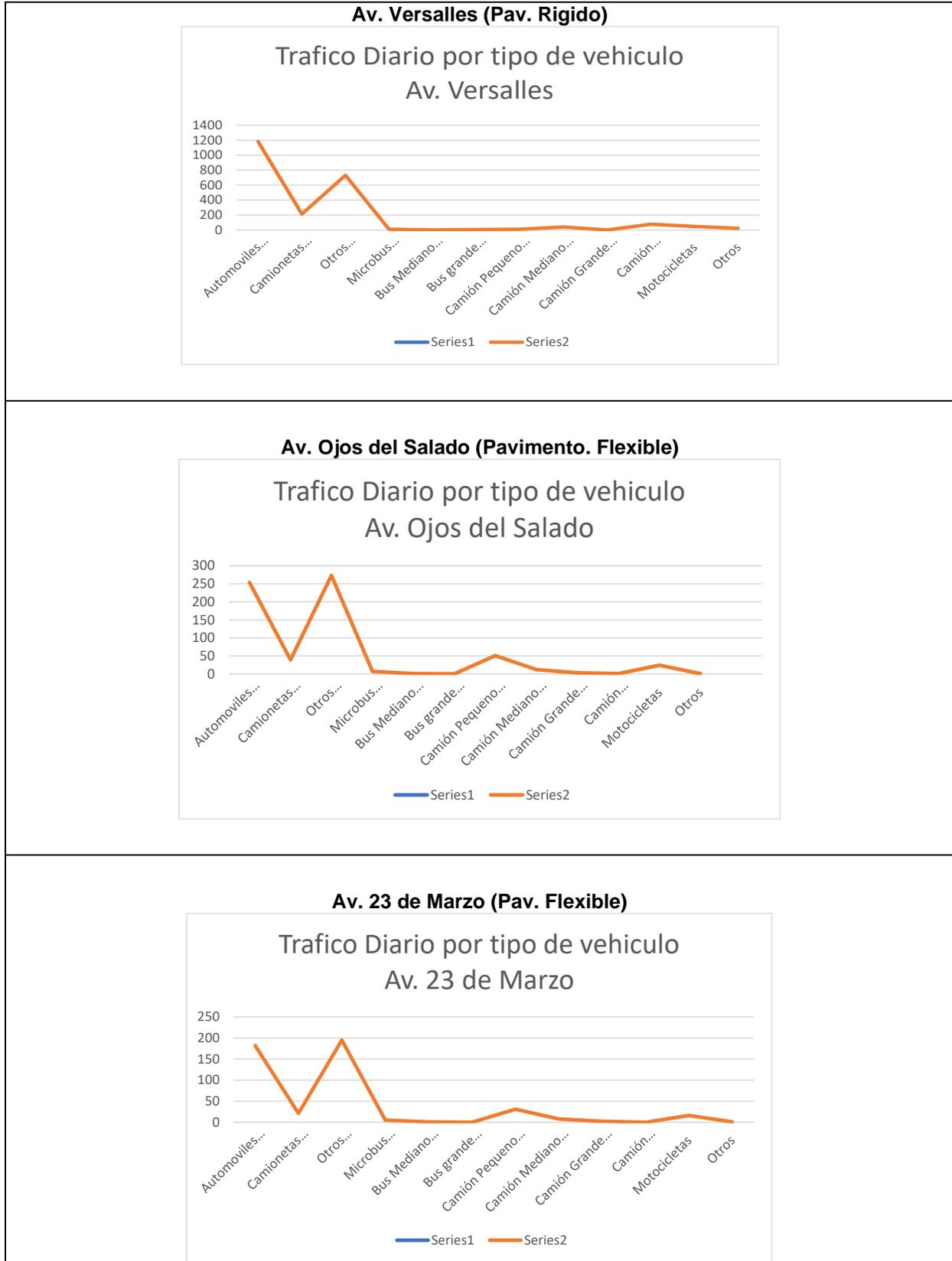
Fuente: Elaboración propia

Se ha procesado la información y se han elaborado gráficos para visualizar más fácilmente las tendencias del tráfico.

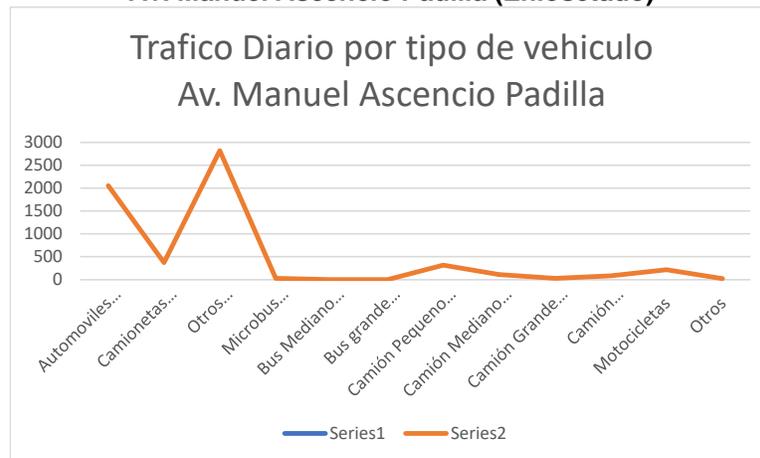
Se tiene lo siguiente:

Figura 13: Tráfico diario por tipo de vehículo

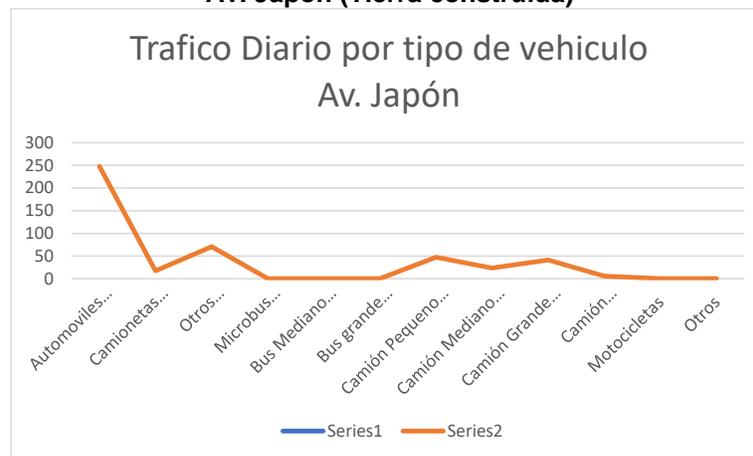




Av. Manuel Ascencio Padilla (Enlosetado)



Av. Japón (Tierra construida)



Fuente: Elaboración propia

En todos los casos, la composición del tráfico muestra la preponderancia de los “vehículos livianos” y de “otros livianos”. Eventualmente también se anuncian los camiones pequeños, los camiones medianos y las motocicletas.

En las ciudades, normalmente, el mayor movimiento es de pasajeros que se dirigen a cumplir sus funciones de trabajar, aprovisionarse, recrearse y habitar; por lo que se requiere el uso de medios de transporte de pasajeros. La modalidad preponderante del transporte público son los minibuses de 14 pasajeros (clasificados como otros livianos).

Entre los vehículos livianos se encuentran: los automóviles y los vehículos de pasajeros con capacidad hasta de 11 pasajeros.

En “otros livianos” están considerados: los vehículos livianos de carga y/o pasajeros como jeeps, furgonetas doble cabina, minibuses, etc. con capacidad hasta 2 toneladas (40 qq) o 14 asientos.

En realidad, son varias líneas fijas que, utilizando minibuses, prestan servicio de pasajeros entre la Ceja y utilizando las vías de Segundo Orden acceden a vecindades nuevas.

Estas calles y avenidas son de Segundo Orden, y representan la transición entre las avenidas de Primer Orden y las calles de acceso local.

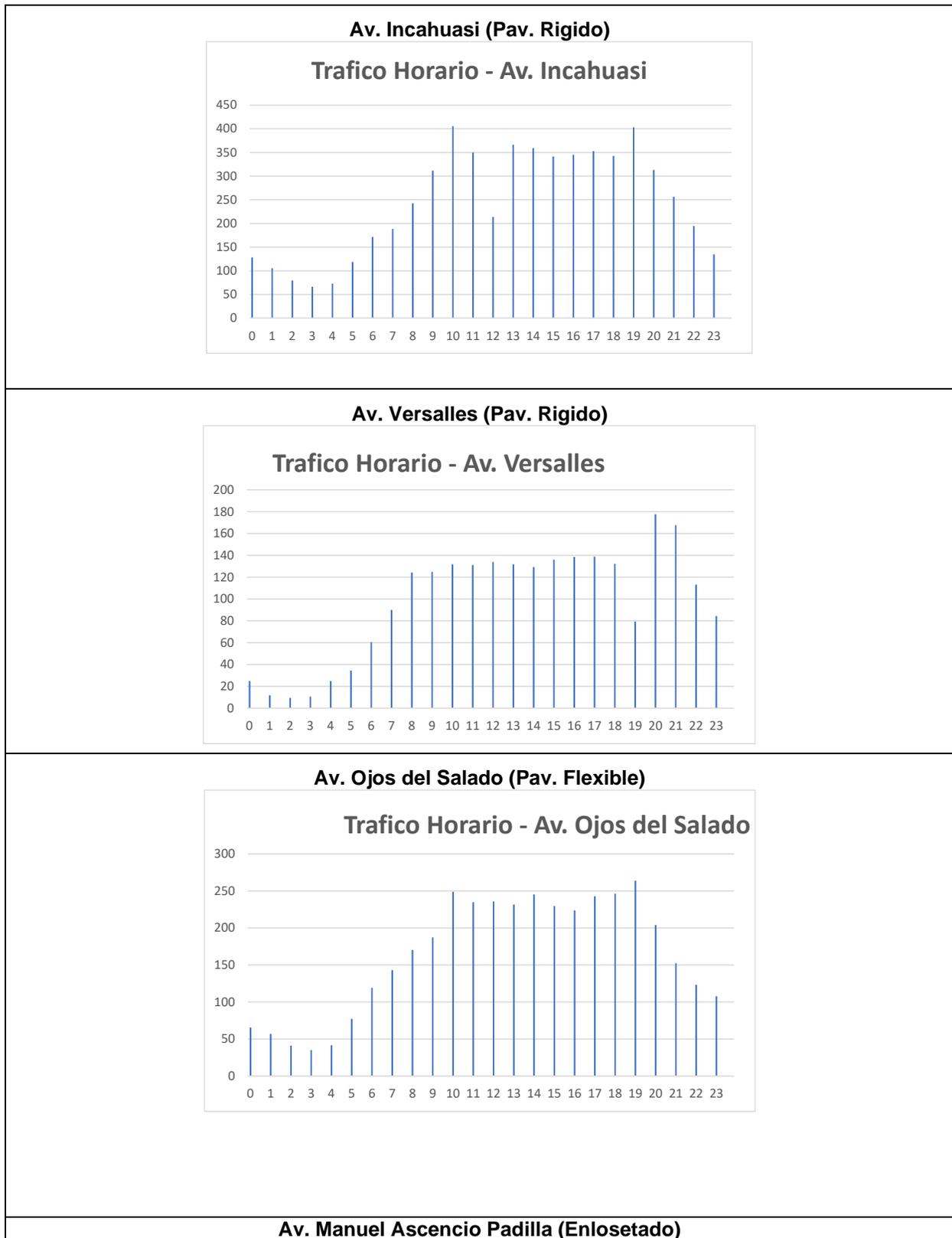
El análisis del tráfico también nos lleva a determinar las horas de mayor circulación.

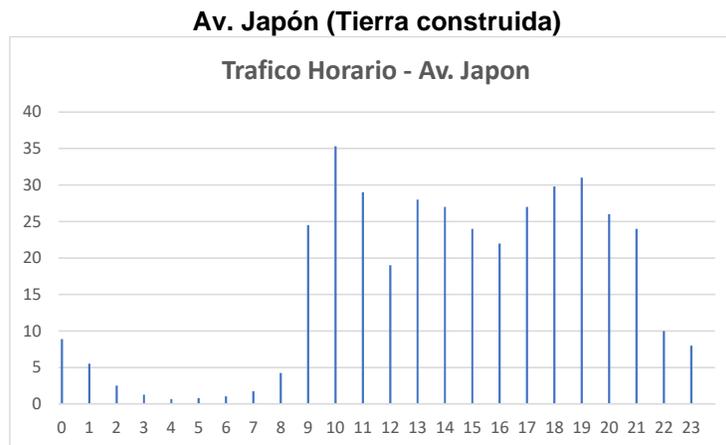
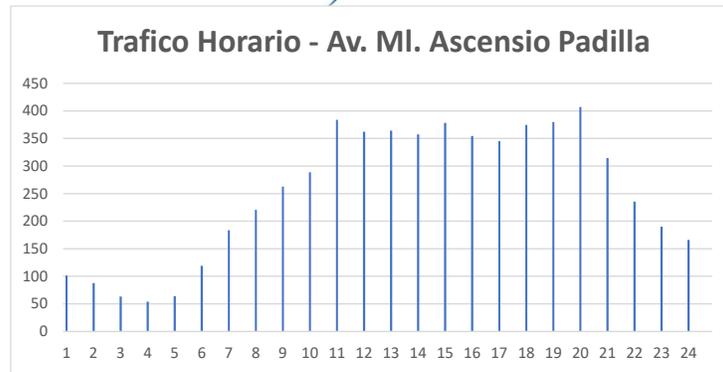
Figura 14: Tráfico horario por cada vía urbana

	INCAHUASI	VERSALLES	OJOS DEL SALADO	MANUEL ASCENCIO PADILLA	JAPON
HORAS	TRAFICO	TRAFICO	TRAFICO	TRAFICO	TRAFICO
0 a 1	128	25	66	101	25
1 a 2	105	12	57	88	19
2 a 3	80	9	41	63	18
3 a 4	66	11	35	54	22
4 a 5	73	25	42	64	26
5 a 6	118	35	77	119	30
6 a 7	171	60	119	184	30
7 a 8	188	90	143	221	25
8 a 9	243	124	170	262	25
9 a 10	312	125	187	289	28
10 a 11	405	132	249	384	25
11 a 12	350	131	235	362	19
12 a 13	214	134	236	364	14
13 a 14	366	132	232	358	9
14 a 15	359	129	245	378	6
15 a 16	341	136	230	354	3
16 a 17	345	139	224	345	1
17 a 18	353	139	243	375	1
18 a 19	342	132	246	380	1
19 a 20	403	79	264	407	1
20 a 21	313	178	204	314	2
21 a 22	256	168	153	235	4
22 a 23	194	113	123	190	25
23 a 24	135	84	108	166	35
T.P.D.	5863	2342	3928	6057	391

Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Histogramas del tráfico horario



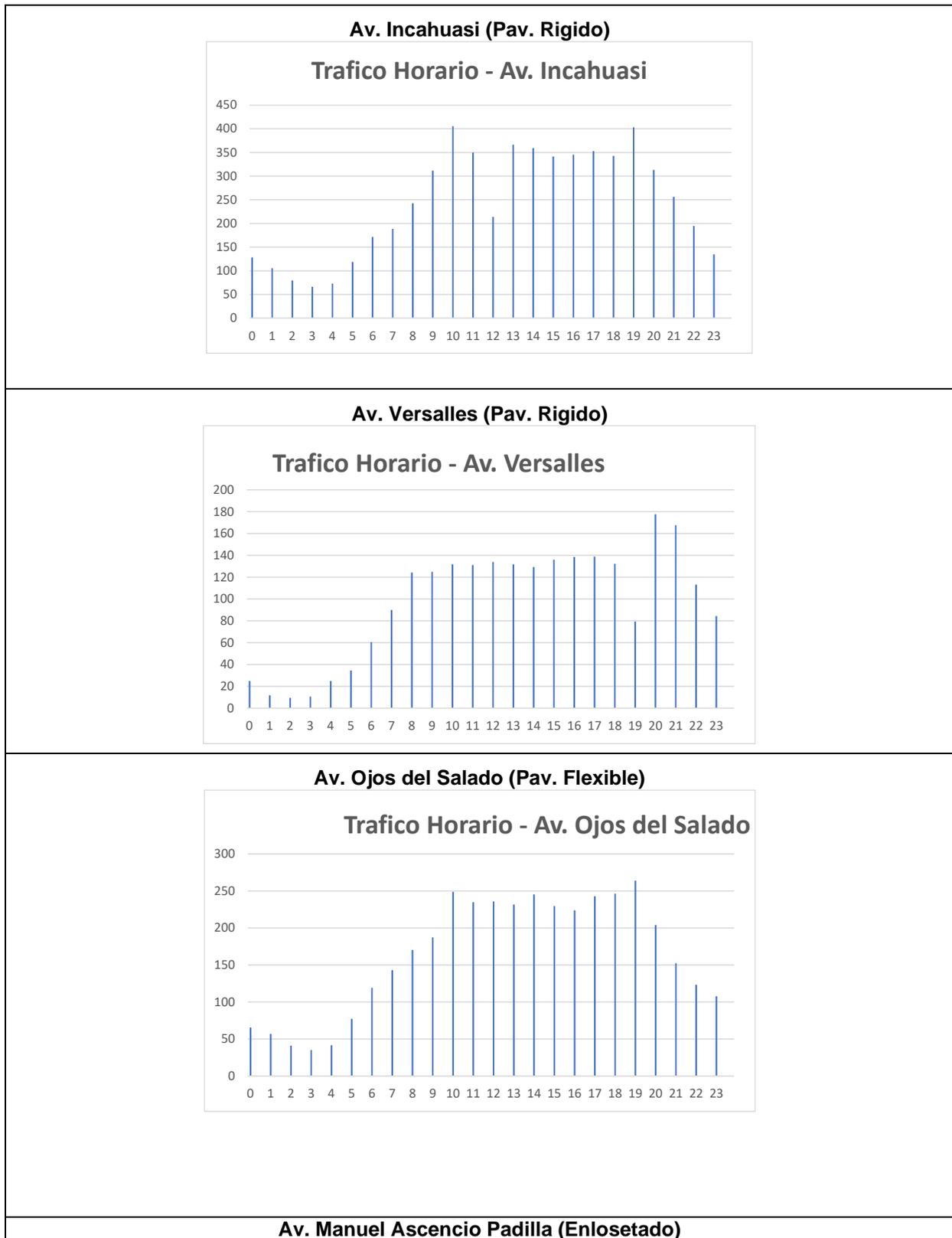


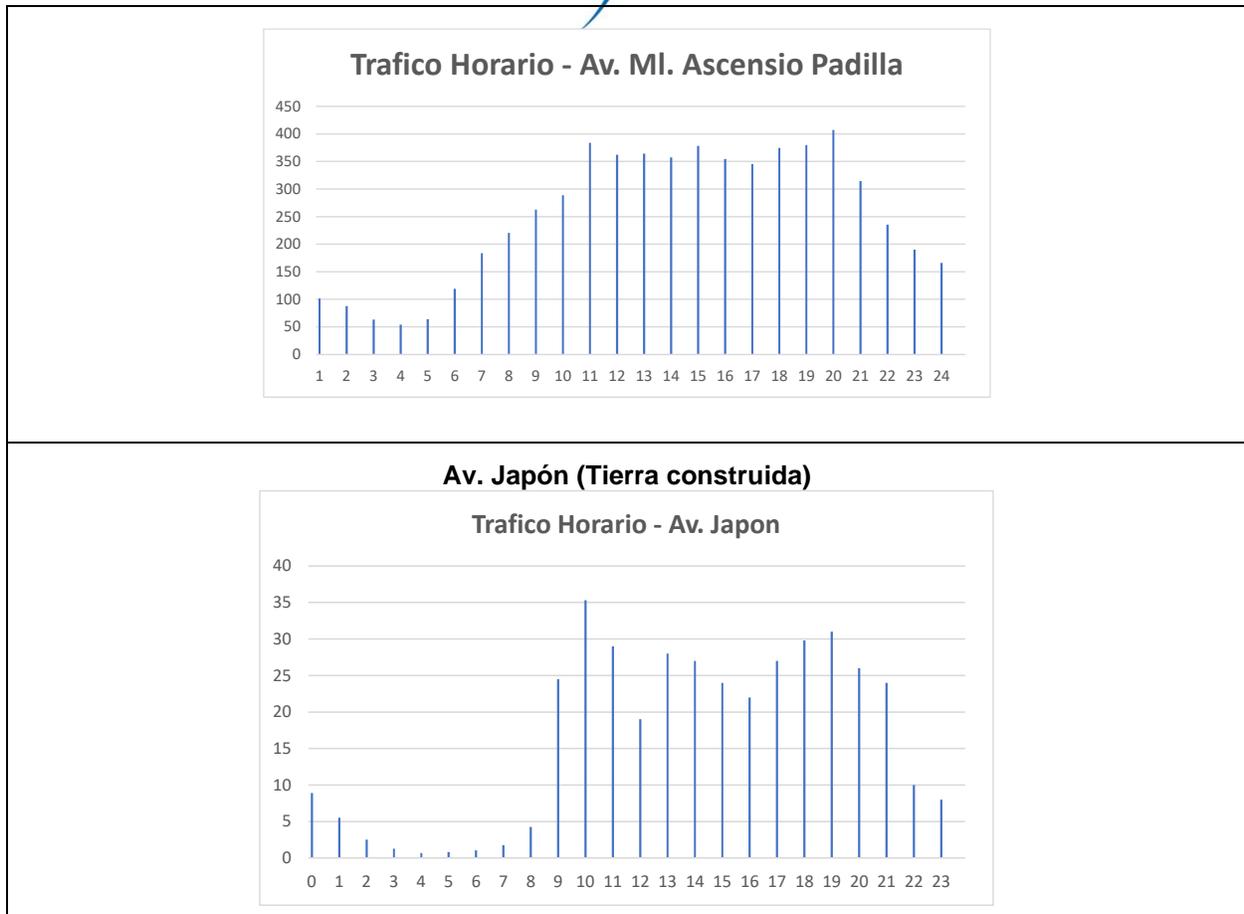
Fuente: Elaboración propia

En todos los casos, no existe una hora-pico evidente, en realidad alrededor de las 10:00 de la mañana se incrementa de manera notoria el tráfico. La hora-pico nocturna parece encontrarse entre las 19:00 y las 20:00 horas, incluso hasta las 21:00.

El tráfico parece estabilizarse, presentándose como bastante uniforme entre las 10:00 y las 19:00 horas. Luego se presenta una hora-pico nocturna entre las 19:00 y las 21:00 para descender y presentar los menores tráficos (tráficos valle) entre las 2 y 4 de la madrugada.

Figura 16: Histogramas del tráfico horario





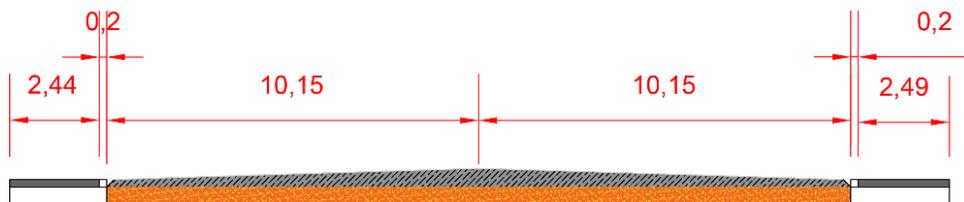
Fuente: Elaboración propia

En todas las vías urbanas consideradas, el tráfico se mueve libremente, sin restricciones.

CONSIDERACIONES SOBRE LA GEOMETRIA Y UTILIZACION DE LAS VIAS.

Gráfico Nro. 3: Perfil típico de la Av. Héroes del Gas

AV. HEROES DEL GAS



Fuente: Elaboración propia

La avenida Héroes del Gas, parte desde la avenida 6 de marzo y su papel es importante para la comunicación de la reciente urbanización que aún se encuentra en desarrollo. Afortunadamente esta avenida ya ha sido enlosetada.

Nótese las aceras muy limitadas, con un ancho mínimo, su condición es variada pues en sectores están revestidas, en otros se mantienen de tierra. Además, no mantienen un solo nivel. El estado en que se encuentran es regular pero variable según el sector.

Foto1: Av. Héroes del Gas



Fuente: Elaboración propia

Es interesante observar que la gente circula por la calzada, antes que usar las aceras que no cumplen adecuadamente su función.

Una gran parte de su desarrollo está de acuerdo con el perfil que se muestra, aunque en la parte final existen torres centrales con cables de alta tensión.

Afortunadamente se puede apreciar el majestuoso “Illimani”.

Los carriles de ida y vuelta no están definidos ni demarcados. No es patente el eje y la separación de calzadas, menos aún la delimitación de carriles.

No es posible establecer con claridad la huella para efectuar las mediciones.

El espacio es suficiente, pero se puede optimizar su uso.

Foto 2: Av. Héroes del Gas



Fuente: Elaboración propia

La fotografía muestra la capa superficial (losetas de concreto de cemento portland).

Una singularidad que afecta las mediciones de rugosidad son las tapas de las cámaras de inspección.

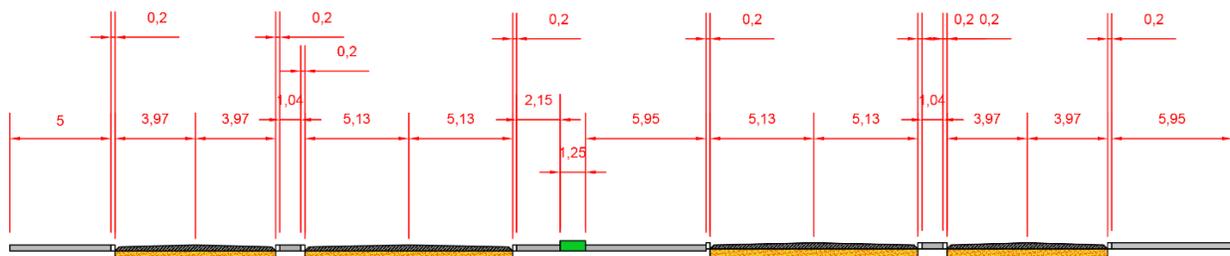
En las vías urbanas, es complementario pero imprescindible delimitar con claridad los carriles de circulación, mediante señalización (ojos de gato, por ejemplo), de otra manera el flujo de vehículos es desordenado e incierto. No se puede asegurar porque carril se circula; es aleatorio. No se puede establecer con claridad la huella que se debe medir.

El ancho de las aceras es insuficiente para los peatones, pero no existen problemas, pues se puede circular por la calzada. Se ha observado un minusválido circulando en su silla de ruedas por la calzada, porque las aceras no ofrecen homogeneidad de superficie, ni continuidad.

Dos metros y medio de acera a cada lado contrasta con los 20,30 metros reservados para vehículos que están muy lejos de saturar la vía y afectar su nivel de servicio. El espacio público no utilizado podría ser readecuado para ciclovías, ensanche de aceras y habilitar un ambiente más amigable para todos los usuarios que tienen derecho a ese espacio público (pensar en las “calles completas”).

Gráfico Nro. 4: Perfil típico de la Av. Versalles

AV. VERSALLES



Fuente: Elaboración propia

La avenida Versalles tiene pavimento rígido. Se inicia en la intersección con la avenida 6 de marzo (cerca de la extranca de Senkata) y se desarrolla en dirección sudeste.

En ancho disponible es alrededor de 60 metros como se muestra en la figura. Cuenta con un separador central y varios carriles de circulación para ambos sentidos. A ambos lados existen carriles de acceso a las residencias separados de los carriles de paso. Es repetitivo el aspecto de no tener bien demarcados los carriles. En 10.30 metros se podrían

tener tres carriles por cada sentido de circulación. La elección del ancho de cada carril es importante, es más, algunos estudios dan valores de ancho de carril basados en las estadísticas para evitar anchos adicionales que pueden resultar inseguros.

Una parte, correspondiente a los carriles separados para la circulación local o de acceso a las residencias, no ha sido concluida.

Los carriles tanto de la ida como de la vuelta no están definidos ni demarcados. No es notorio el eje y la separación de calzadas, menos aún la delimitación de los varios carriles, tanto en el sentido de ida como de vuelta.

Posiblemente se podría haber aprovechado de las juntas del pavimento rígido para eventualmente tener definidos los carriles.

En las vías urbanas se debería delimitar con claridad los carriles de circulación, mediante señalización (ojos de gato, por ejemplo), de otra manera el flujo de vehículos es desordenado e incierto. No se puede asegurar qué carril presenta mayor número de vehículos. La circulación es aleatoria. No se puede establecer con claridad la huella que se debe medir.

El ancho de las aceras es suficiente para los peatones actuales, aunque hay negocios de todo tipo que invaden las aceras y reducen su efectividad.

En la fotografía siguiente nótese algunos vehículos parados (parqueados) en la calzada de circulación rápida. Otros se encuentran sobre las vías destinadas al acceso residencial. Asimismo, ocupan parte de estas vías algunas vendedoras.

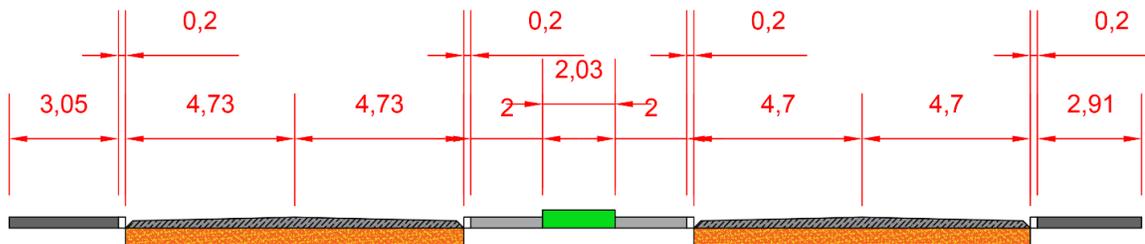
Foto 3: Av. Versalles



Fuente: Elaboración propia

La tierra que se junta en los bordes de los carriles se constituye en un indicador del desorden del tráfico y del mal uso del espacio. Aunque con esa señal hemos determinado el carril de medición.

Gráfico Nro. 5: Av. Incahuasi
AV. INCAHUASI



Fuente: Elaboración propia

La Avenida Incahuasi tiene pavimento rígido. El ancho de cada carril es poco ortodoxo. Las normas para carreteras establecen anchos de 3,50 a 3,65 metros. Se ha establecido que el ancho más adecuado es 3,30 metros.

Adicionalmente, a lo largo de esta vía existen muchos talleres y negocios que ocupan parte de las aceras con anuncios y letreros, con materiales o con equipos y herramientas de trabajo.

Foto 4: Av. Incahuasi



Fuente: Elaboración propia

Vista panorámica de la Avenida, se nota ya el deterioro de la calzada, a nivel de las juntas (aristas y vértices) así como de la superficie.

AVENIDA MADRE DE DIOS

Foto 5: Av. Madre de Dios

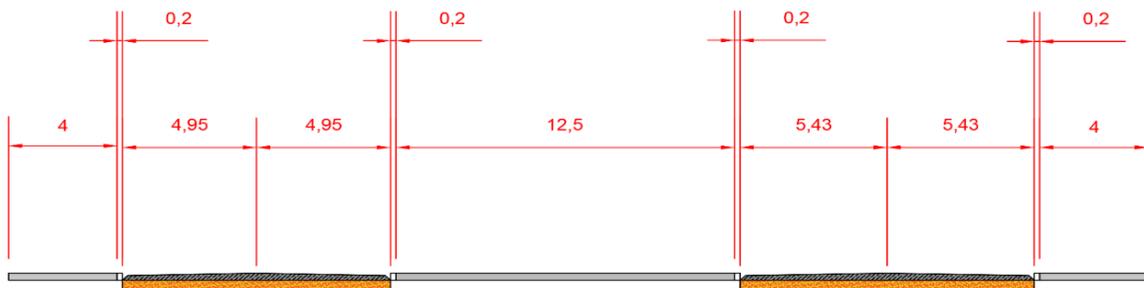


Foto 6: Av. Madre de Dios



Fuente: Elaboración propia

Gráfico Nro. 6: Av. Madre de Dios



Fuente: Elaboración propia

Esta amplia avenida aun es de tierra construida, aunque ya están delimitados algunos espacios por medio de cordones de acera. Tiene tráfico reducido. Se ha constatado dos

líneas de minibuses que prestan servicio de transporte desde la Ceja y desde la ex-tranca. Sus frecuencias son bastante espaciadas.

El estado de la superficie no es muy malo; podría quizás ser considerado “malo” pero se entiende que es zona en expansión.

Gráfico Nro. 7: Av. Japón

AV. JAPON

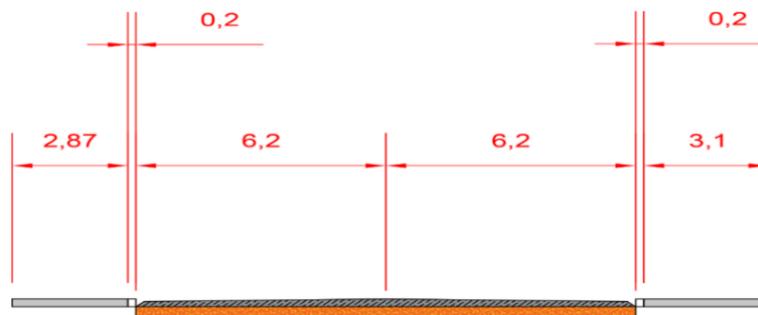


Fuente: Elaboración propia

Esta avenida es de tierra, aunque ya están delimitados los carriles y las aceras por medio de los cordones. Tiene tráfico, especialmente durante el día, se vislumbra como vía comercial. El espacio es suficiente para experimentar con calles completas.

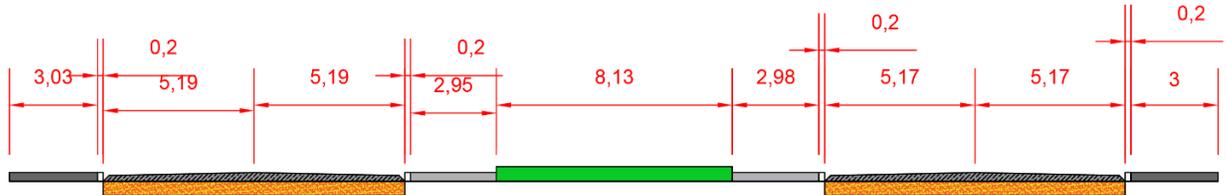
AVENIDA MANUEL ASCENCIO PADILLA

Gráfico Nro. 8: Av. Manuel Ascencio Padilla



Fuente: Elaboración propia

Esta avenida cuenta con bastante tráfico. Funciona como colectora y distribuidora de los flujos que pasan por ella. Existen nuevas vecindades colindantes cuyos habitantes necesariamente requieren pasar por esta zona. Hay varias líneas de minibuses que circulan prestando servicio de transporte público. Se notan algunos carros parqueados a uno u otro lado de la calzada. Podría contarse con 4 carriles, pero nuevamente el tráfico es desordenado.

Gráfico Nro. 9: Av. Ojos del Salado**AV. OJOS DEL SALADO**

Fuente: Elaboración propia

Existen minibuses que recorren por ambos sentidos. Esas líneas ingresan o salen de la Avenida Incahuasi y llevan pasajeros a la avenida 6 de marzo (Ex - tranca). Algunas líneas van hasta La Ceja.

Esta avenida cuenta con bastante tráfico. Funciona como colectora y distribuidora de los flujos que pasan por ella. Existen nuevas vecindades colindantes que necesariamente requieren pasar por esta zona. Hay varias líneas de minibuses que circulan prestando servicio de transporte público. Se notan algunos carros parqueados a uno u otro lado de la calzada. Podría contarse con 3 carriles por sentido, pero nuevamente el tráfico es desordenado.

Se ha constatado que cuenta con "ojos de gato" pero insuficientes pues están colocados cada 20 metros y no son notorios; su acción es poco efectiva.

Gráfico Nro. 10: Av. 23 de Marzo

Fuente: Elaboración propia

Es continuación de la avenida Ojos del Salado, pero la circulación de vehículos es menor. Cuenta con bastante espacio.

4.6 RESULTADOS

Objetivo General

Utilizando el Rugosímetro MERLIN, determinar la “rugosidad” superficial expresada en unidades IRI (Índice de Rugosidad Internacional); asimismo determinar el PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) de vías de segundo orden del distrito 8 de la ciudad de El Alto.

De la misma forma, determinar si el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es un indicador aplicable a la gestión de pavimentos de vías urbanas.

Resultado: Las vías con pavimento flexible y con pavimento rígido han dado como resultado una serviciabilidad regular, incluso las enlosetadas tienden a superar el umbral de malo y llegar a regular.

Las de tierra arrojan una serviciabilidad mala.

Por la inspección visual efectuada, se constataron deficiencias o deterioros.

En las vías con pavimento asfáltico se presentan: fisuras, ondulaciones, deterioro por derrame de combustible, ahuellamiento.

En las vías con pavimento rígido se presentan: desportillamientos en vértices y aristas, fisuras longitudinales y diagonales, fisuras erráticas.

En las vías con pavimento articulado (losetas) se presentan depresiones y ahuellamiento.

Las de tierra presentan una superficie irregular, huellas profundas y con baches frecuentes. La velocidad de circulación es reducida. Su serviciabilidad es mala.

Estos aspectos nos permiten afirmar que los resultados de las mediciones son acertados y lógicos.

En todos los casos se pueden deber al tipo de suelo, la calidad de los materiales utilizados, factores climáticos y por falta de adecuado mantenimiento o daños mal reparados. Básicamente no existe tráfico pesado

Entonces, manteniendo medidas de seguridad el uso del MERLIN en vías urbanas resulta favorable por su bajo costo, las velocidades de los vehículos en las vías urbanas son menores a las desarrolladas en las carreteras.

El MERLIN da valores que permiten evaluar el estado o condición de las superficies de rodadura.

La medición de la calidad de un pavimento depende de la evaluación que se realice desde el punto de vista de la situación estructural y de la condición funcional. La evaluación estructural y la funcional de una superficie pavimentada son actividades distintas pero complementarias, por ejemplo, un pavimento puede tener buena capacidad estructural; pero el hecho de no señalar los carriles puede significar que la capacidad funcional de la vía sea deficiente.

El IRI es un control de recepción importante que se refleja en el nivel de comodidad, seguridad y costos de operación para los usuarios; así como disminución de los efectos dinámicos en el pavimento.

Sin embargo, contar con información sobre la concepción, construcción y mantenimiento permite respaldar los resultados obtenidos.

En este caso solo se pudo combinar las mediciones de rugosidad con las observaciones del sitio.

Objetivos Específicos

- i. Efectuar mediciones de rugosidad en vías urbanas del Distrito 8, seleccionadas cuidadosamente, con el fin de formular requerimientos mínimos a tener en cuenta respecto a la aceptación de equipos de medición y la evaluación del IRI.

Resultado: Se han efectuado las mediciones de rugosidad previstas en las 8 vías urbanas de segundo orden (algunas son de Tercer Orden pero debido a planes futuros jugarían un rol similar a las de Segundo Orden) del Distrito 8. Habían sido previamente seleccionadas para tener dos de cada tipo de superficie de rodadura con fines de comparación.

- ii. Correlacionar los resultados de la Rugosidad (IRI) con el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).

Resultado: Se muestra la tabla No. 9 que resume los resultados del trabajo realizado

Tabla 9: Resumen de Resultados con Valores IRI y PSI

RESUMEN DE RESULTADOS - VALORES IRI - PSI

Avenidas pavimentadas con: CONCRETO ASFALTICO					IRI			PSI			
Nro.	Tramo	Planilla Nro.	Dirección	Huella	Promedio por Avenida		Promedio por Sup. de	Promedio	Estado de Serviciabilidad	Promedio	Estado de Serviciabilidad
1	Avenida Ojos del Salado	1	IDA	Derecha	3.69	4.38	3.56	2.07	REGULAR	2.43	REGULAR
2		2	IDA	Derecha							
3		3	VUELTA	Derecha	5.06						
4		4	VUELTA	Derecha							
5	Avenida 23 de Marzo	1	IDA	Derecha	2.75	2.75		2.85	REGULAR		
6		2	VUELTA	Derecha							

RESUMEN DE RESULTADOS - VALORES IRI - PSI

Avenidas pavimentadas con: PAVIMENTO RIGIDO					IRI		PSI				
Nro.	Tramo	Planilla Nro.	Dirección	Huella	Promedio por Avenida		Promedio por Sup. de	Promedio	Estado de Serviciabilidad	Promedio	Estado de Serviciabilidad
7	Avenida Versalles	1	IDA	Derecha	6.03	5.71	4.63	1.58	MALA	1.97	REGULAR
8		2	IDA	Derecha							
9		3	IDA	Derecha							
10		4	VUELTA	Derecha	5.38						
11		5	VUELTA	Derecha							
12		6	VUELTA	Derecha							
13	Avenida Incahuasi	1	IDA	Derecha	3.47	3.56	2.43	REGULAR			
14		2	IDA	Derecha							
15		3	VUELTA	Derecha	3.65						
16		4	VUELTA	Derecha							

RESUMEN DE RESULTADOS - VALORES IRI - PSI

Avenidas revestidas con: LOSETAS					IRI		PSI				
Nro.	Tramo	Planilla Nro.	Dirección	Huella	Promedio por Avenida		Promedio por Sup. de	Promedio	Estado de Serviciabilidad	Promedio	Estado de Serviciabilidad
17	Avenida Manuel	1	IDA	Derecha	6.40	6.40	5.01	1.37	MALA	1.82	REGULAR
18	Ascensio Padilla	2	VUELTA	Derecha							
19	Avenida Heroes del Gas	1	IDA	Derecha	3.68	3.62		2.4	REGULAR		
20		2	IDA	Derecha							
21		3	VUELTA	Derecha							
22		4	VUELTA	Derecha							

RESUMEN DE RESULTADOS - VALORES IRI - PSI

Avenidas consideradas de Tierra Construida					IRI		PSI					
Nro.	Tramo	Planilla Nro.	Dirección	Huella	Promedio por Avenida		Promedio por Sup. de	Promedio	Estado de Serviciabilidad	Promedio	Estado de Serviciabilidad	
23	Avenida Madre de Dios	1	IDA	Derecha	6.60	6.74	7.09	1.28	MALA	1.19	MALA	
24		2	IDA	Derecha								
25		3	VUELTA	Derecha	6.88							
26		4	VUELTA	Derecha								
27	Avenida Japon	1	IDA	Derecha	8.13	7.43		1.1				MALA
28		2	IDA	Derecha								
29		3	VUELTA	Derecha	6.74							
30		4	VUELTA	Derecha								

Elaboración propia

- iii. Determinar si el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es un indicador aplicable para la gestión de pavimentos de vías urbanas.

Resultado: En realidad, considerando los promedios, todas las vías urbanas pavimentadas están en regular estado. Las de tierra están en mal estado.

Por la inspección visual efectuada, se constataron algunas deficiencias o deterioros:

- En las vías con pavimento asfáltico se presentan: fisuras, ondulaciones, deterioro por derrame de combustible, ahuellamiento.
- En las vías con pavimento rígido se presentan: desportillamientos en vértices y aristas, fisuras longitudinales y diagonales, fisuras erráticas.
- En las vías con pavimento articulado (losetas) se presentan depresiones y ahuellamiento.

En todos los casos se pueden deber al tipo de suelo, la calidad de los materiales utilizados, factores climáticos y por falta de adecuado mantenimiento o daños mal reparados.

Por ese motivo, se considera que las mediciones efectuadas son el real reflejo del estado de las vías urbanas.

- iv. Analizar los criterios de medición (equipos, singularidades), de cálculo y de aceptación de este índice, en vías urbanas.

Resultado: Las singularidades inciden sobre el IRI porque son de alguna manera elementos ajenos al pavimento y a su proceso constructivo, tales como pozos de inspección de alcantarillado, sumideros, rompemuelles, cunetas; sin embargo, las lecturas que proporcionan salen de rango y en el procesamiento de los datos es posible afrontar su influencia.

- v. A partir de la evaluación del IRI en esas vías urbanas, presentar los resultados que muestran tendencias y patrones de comportamiento de la rugosidad en el pavimento (flexible, rígido y articulado de vías urbanas) y su comparación con vías no pavimentadas.

Resultado: Según los datos procesados, las vías con pavimento flexible presentan valores de serviciabilidad más altos que las otras superficies. Le siguen las que tienen pavimento rígido y luego están las articuladas (enlosetadas). Como era de esperar, las de tierra presentan una serviciabilidad muy baja.

Esta situación lleva a pensar en sistematizar la información desde el mismo momento del cálculo estructural. No se ha podido establecer la antigüedad de los pavimentos. Mucho menos datos constructivos. La información lograda de los vecinos es muy vaga y dudosa.

- vi. A través de la observación del contexto como ser: la utilización de las vías, su diseño, prácticas y conductas de los usuarios y de los habitantes del Distrito en cuestión, examinar particularidades y matices que presentaren las vías consideradas.

Resultado: En las jornadas de trabajo de campo, se ha observado que muchos peatones circulan por la calzada y no utilizan las aceras. Pasa lo mismo con personas que se mueven en silla de ruedas.

En algunos casos las aceras son muy limitadas, con un ancho inadecuado, o están inconclusas o tienen desniveles respecto a los vecinos. Además, que su estado o condición no ofrece comodidad en los desplazamientos peatonales.

Las aceras no ofrecen homogeneidad de superficie, ni continuidad.

El ancho de las aceras es suficiente para los peatones actuales, aunque en algunos casos hay negocios que invaden las aceras y reducen su efectividad.

Otro aspecto notorio es que, a falta de señalización horizontal y delimitación adecuada de los carriles, los vehículos circulan de manera errática. No es fácil establecer cual carril es utilizado por lo errático de los desplazamientos. La oferta de carriles es amplia según lo que se puede observar en los perfiles transversales dibujados.

En las vías urbanas es complementario pero imprescindible el delimitar con claridad los carriles de circulación, mediante señalización (ojos de gato, por ejemplo), de otra manera el flujo de vehículos es desordenado e incierto. No se puede asegurar el carril de circulación; es aleatorio. No se puede establecer con claridad la huella que se debe medir.

El ancho de las aceras contrasta con los muchos carriles a disposición de los vehículos. El espacio público no utilizado podría ser readecuado para ciclovías, ensanche de aceras y habilitar un ambiente más amigable para todos los usuarios que tienen derecho a ese espacio público (pensar en las “calles completas”).

La elección del ancho de cada carril es importante, es más, algunos estudios dan valores de ancho de carril basados en las estadísticas para evitar anchos adicionales que pueden resultar contrarios a la seguridad vial.

La tierra que se junta en los bordes de los carriles se constituye en un indicador del desorden del tráfico y del mal uso del espacio. Aunque con esa señal hemos determinado el carril de medición.

Objetivos fijados especialmente y exclusivamente para el avance del estudio

Objetivo 1: Coordinación con el Distrito 8 del GAMEA.

Resultado: Se suscribió el “Acuerdo de Coordinación” con la Sub-alcaldía del Distrito 8 del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto.

Objetivo 2: Con la colaboración de los técnicos del SAMD-8 DEL GAMEA determinar las vías urbanas a considerar en el proyecto de investigación propuesto.

Resultado: Se efectuó la selección en acuerdo y coordinación con los técnicos respectivos.

Objetivo 3: Capacitar a los auxiliares en la calibración y el uso del MERLIN.

Resultado: Las auxiliares están facultadas para calibrar y efectuar mediciones con el

MERLIN.

Objetivo 4: Programar y efectuar mediciones en vías urbanas del Distrito 8.

Resultado: Se cuenta con 30 formularios de campo totalmente llenos con los recorridos y mediciones que se efectuaron en las vías urbanas seleccionadas.

Objetivo 5: Identificar singularidades

Resultado: Se identificaron las singularidades manifiestas en las vías urbanas en estudio (se encuentran registradas en los formularios de campo).

Objetivo 6: Procesamiento de la información.

Resultado: Se ha programado en excel todos los cuadros y tablas necesarios para el procesamiento y los cálculos respectivos sobre la base de las mediciones efectuadas. Se ha procesado la información colectada en los trabajos de campo. Se realizarán algunos ajustes a los cuadros obtenidos.

Los anexos fotográficos se constituyen en el medio de verificación.

Objetivo 7: Programar y Efectuar mediciones en vías urbanas del Distrito 8.

Resultado: Se ha efectuado la medición de las vías urbanas consideradas y se han dibujado sus perfiles transversales.

Objetivo 8: Estudios complementarios

Resultado: Se instaló una cámara y se filmó solamente una de las vías consideradas para valorar y establecer una aproximación del volumen de tráfico que circula por las mismas y al mismo tiempo clasificar ese tráfico por tipo de vehículo.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y explicados se tienen las siguientes conclusiones.

- La utilización del MERLIN para determinar la “rugosidad” superficial es factible, los resultados que se obtienen son fiables. El MERLIN da valores que permiten evaluar el estado o condición de las superficies de rodadura.
- Manteniendo medidas de seguridad, el uso del MERLIN en vías urbanas resulta favorable por su bajo costo.
- El IRI se puede constituir en un control de recepción de obras importante. Una avenida o calle bien concluida se reflejará en mayor comodidad, seguridad y en menores costos de operación para los usuarios. Incluso se beneficiará el pavimento porque se reducirán los efectos que la agresión dinámica le ocasiona con la constante circulación de vehículos.
- La combinación de las mediciones de rugosidad junto con las observaciones de contexto puede conducir a adecuar la utilización del espacio público en beneficio de todos.
- La oferta de carriles es amplia, pero la falta de señalización horizontal y delimitación adecuada de esos carriles permite que los vehículos circulen de manera errática y sin orden.
- Según los datos procesados, las vías con pavimento flexible presentan valores de serviciabilidad más altos que las otras superficies. Le siguen las que tienen pavimento rígido y luego están las articuladas (enlosetadas). Como era de esperar, las de tierra presentan una serviciabilidad muy baja.
- Debido a que las aceras no ofrecen homogeneidad de superficie, ni continuidad, e incluso sufren la invasión de distintos negocios los peatones se ven en la necesidad de circular por la calzada y los vehículos tienen un pretexto mas para no mantener una circulación ordenada.
- El reducido ancho de las aceras contrasta con los muchos carriles a disposición de los vehículos. El espacio público no utilizado podría ser readecuado para ciclovías, ensanche de aceras y habilitar un ambiente más amigable para todos los usuarios que tienen derecho a ese espacio público (pensar en las “calles completas”).

- La elección del ancho de cada carril es importante, es más, algunos estudios dan valores de ancho de carril basados en las estadísticas para evitar anchos adicionales que pueden resultar inseguros.
- de contexto puede conducir a plasmar espacios públicos amigables y funcionales.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- La medición de la calidad de un pavimento depende de la evaluación que se realice desde el punto de vista de la situación estructural y desde la condición funcional. Si bien son actividades distintas, son también complementarias. Para la evaluación estructural se requieren información y datos. Un pavimento puede tener buena capacidad estructural; pero el hecho de no señalizar los carriles puede significar que la capacidad funcional de la vía sea deficiente. Sería interesante que los municipios dispongan de la información sistematizada necesaria.
- En las vías urbanas es complementario pero imprescindible, el delimitar con señalización horizontal los carriles de circulación, de otra manera el flujo de vehículos es desordenado e incierto. No se puede asegurar cual es el carril de mayor circulación; es aleatorio. No se puede establecer con claridad la huella que se debe medir. Sería interesante emprender un programa de señalización horizontal.
- Habría que estudiar la opción de cubrir las calles con pavimento flexible (asfáltico) debido a que, según los datos procesados, las vías con pavimento flexible presentan valores de serviciabilidad más altos que las otras superficies.
 - De manera accesoria, en las jornadas de trabajo de campo, se ha observado que muchos peatones circulan por la calzada y no utilizan las aceras. Pasa lo mismo con personas que se mueven en silla de ruedas. Siendo estas avenidas un espacio público extenso sería bueno considerar la posibilidad de satisfacer las expectativas de la población que se mueve a pie, en bicicleta o en silla de ruedas con espacios apropiados y amigables.
 - Por la inspección visual efectuada, se constataron algunas deficiencias o deterioros. Para analizar las causas se requiere información que provenga desde la etapa de concepción del proyecto así como de la etapa de construcción y supervisión. Esta situación lleva a pensar en la necesidad de sistematizar la información desde el mismo momento del cálculo estructural. No se ha podido establecer la antigüedad de los pavimentos. Mucho menos obtener datos constructivos. La información colectada de los vecinos es vaga y dudosa.

BIBLIOGRAFIA

1. **M A CUNDILL (1996)** The Merlin Road Roughness Machine – User Guide.
2. **M A CUNDILL (1991)** Merlin Low-Cost Road Roughness Measuring Machine.
3. **F. CARO y G. PEÑA (2012)** Análisis y Criterios para el Cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en Vías Urbanas Colombianas que Orienten la Elaboración de una Especificación Técnica. Intekhnia | Vol. 7 | No. 1| enero - junio de 2012 | ISSN: 1900-7612 | pp. 57 – 72
4. **TINGAL LIMAY HOMERO (2021)** Análisis del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) de la Superficie del Pavimento Flexible de la Vía Cajamarca – Baños del Inca, utilizando el Rugosímetro de Merlin.
5. **SAYERS, MICHAEL, GILLESPIE THOMAS y QUEIROZ CESAR (1986):** World Bank Technical paper number 46. The international road roughness experiment, Washington. D.C. USA
6. **CUNDILL, M. (1996):** “The MERLIN Road Roughness Machine: User Guide.” Transport Research Laboratory, Overseas Development Administration. TRL Report 229. Crowthorne.
7. **BRYAN ALBERTO REYES PIONCE (2020)** Determinación del Índice de Rugosidad Internacional en la Av. La Prensa, usando Aparatos Inteligentes y el Rugosímetro de Merlín.
8. **CAROLINA NÚÑEZ; IGNACIO PÉREZ (2005)** El Modelo HDM-4: Descripción y Posibilidades de Aplicación dentro de un Sistema de Gestión de Carreteras.
9. **ARTEAGA VILLANUEVA, G. D. NORIEGA POMA, V. H.(2019)** Análisis de la Variación del Índice de Regularidad Internacional (Iri) en Función de Variables Constructivas y Geométricas en Vías Menores.
10. **DEL AGUILA, PABLO (2011)** Metodología para la Determinación de la Rugosidad de los Pavimentos con Equipo de Bajo Costo y Gran Precisión.
11. **SAYERS, M. et al. (1986)** “The International Road Roughnes Experiment: establishing correlations and a calibration standard for measurements”. Bank Technical Paper N°45. Washington D.C.
12. **SAYERS, M.W. et al. (1986)** “Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements” World Bank Technical Paper N° 46. Washington D.C.
13. **GAMEA, (2021)** “Texto de Análisis de la Información Técnica del Territorio” (Esquema de Priorización para el Mejoramiento de Vías de Primer y Segundo Orden)
14. **Administradora Boliviana De Carreteras, (2011)** Volumen 5:”Manual de Conservación Vial”

VII. ANEXOS

ANEXO No. 1

Resolución del SENAPI

ANEXO No. 2

Acuerdo de Coordinación con la Sub-alcaldía Municipal del Distrito 8 de la ciudad de El Alto

ANEXO No. 3

Documentos de trabajo

ANEXO No. 4

Reporte Fotográfico

ANEXO No. 5

Escala de Calificación de la Serviciabilidad según AASHO (AASHO 1962).

ANEXO No. 6

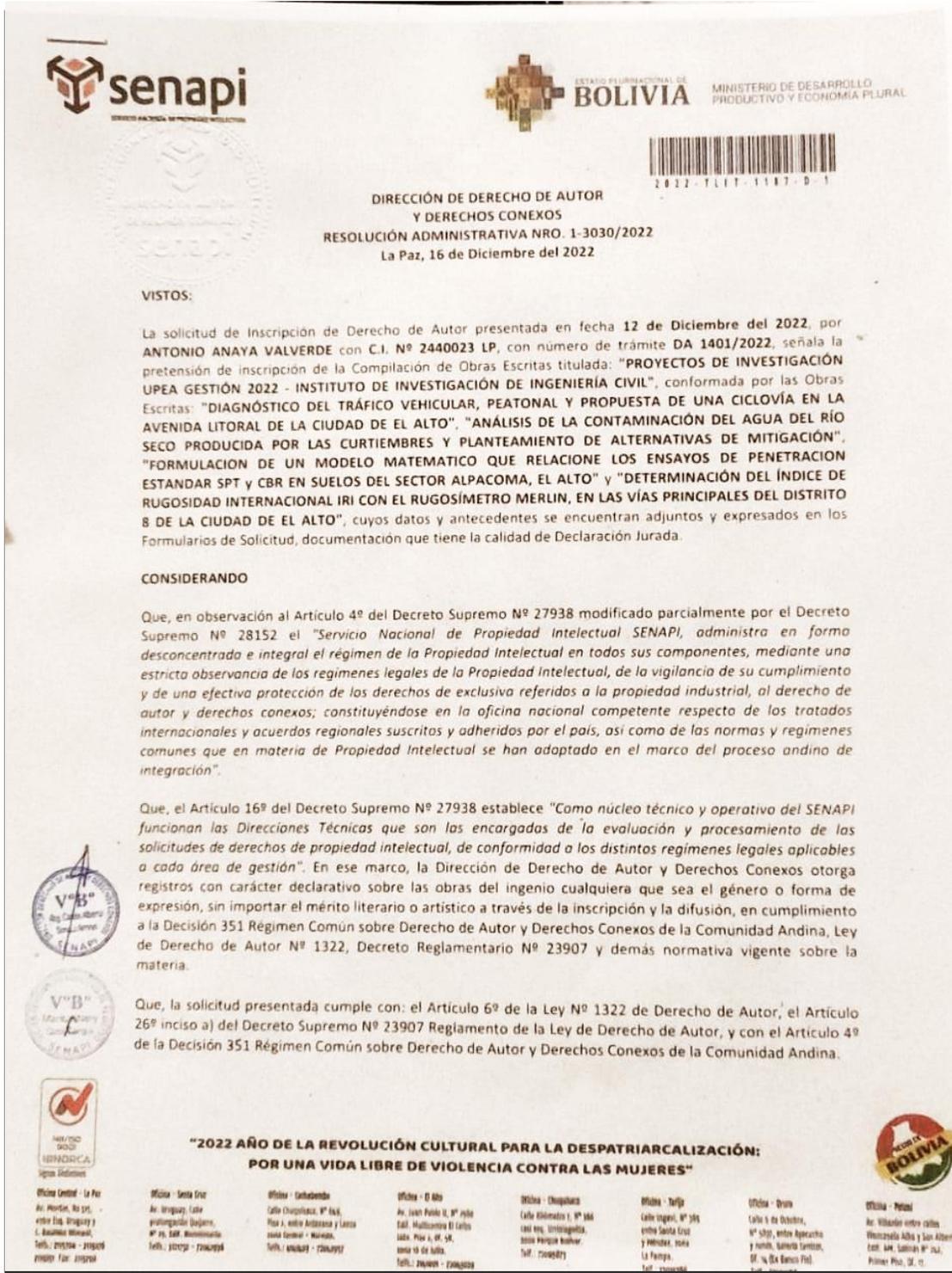
MÉTODOS DE MEDICIÓN DE RUGOSIDADES:

ANEXO No. 7

EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD

ANEXO No. 1

Resolución del SENAPI



senapi
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

ESTADO PLURINACIONAL DE **BOLIVIA**
MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

2022-1117-1187-0-1

DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-3030/2022
La Paz, 16 de Diciembre del 2022

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **12 de Diciembre del 2022**, por **ANTONIO ANAYA VALVERDE** con C.I. N° **2440023 LP**, con número de trámite **DA 1401/2022**, señala la pretensión de inscripción de la Compilación de Obras Escritas titulada: **"PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2022 - INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL"**, conformada por las Obras Escritas: **"DIAGNÓSTICO DEL TRÁFICO VEHICULAR, PEATONAL Y PROPUESTA DE UNA CICLOVÍA EN LA AVENIDA LITORAL DE LA CIUDAD DE EL ALTO"**, **"ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA DEL RÍO SECO PRODUCIDA POR LAS CURTIEMBRES Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN"**, **"FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO"** y **"DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN, EN LAS VÍAS PRINCIPALES DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD DE EL ALTO"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en los Formularios de Solicitud, documentación que tiene la calidad de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adaptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN: POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"

OFICINA Central - La Paz
Av. Morón, No 975,
entre Eza, Uruguay y
L. Bustillo Miranda,
Teléfono: 2102000 - 2102001
2102007 Fax: 2102008

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijano,
N° 95, Edif. Montevideo,
Teléfono: 320790 - 3206998

Oficina - Cochabamba
Calle Charabambas, N° 164,
Piso 3, entre Andaraca y Lanza
santa Catalina - Cochabamba,
Teléfono: 3204001 - 3204002

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 950a
Tall. Multiestera El Centro
santa Cruz, Of. 58,
entre 18 de Julio,
Teléfono: 2000000 - 2000000

Oficina - Chuquiaguana
Calle El Estrecho 1, N° 366
Calle 400, Entreaguana,
santa Cruz, Bolivia,
Teléfono: 3200000

Oficina - Tarija
Calle Ingenieros, N° 308
entre Santa Cruz
y Mercedes, zona
La Pampa,
Teléfono: 3200000

Oficina - Oruro
Calle 8 de Octubre,
N° 580, entre Apeacacho
y surco, Santa Cruz,
Of. 14, (Ex Banco Fiel)
Teléfono: 3200000

Oficina - Potosí
Av. Villalón entre calles
Potosí y San Alberto,
Calle 144, Sullana N° 144,
Potosí Pto., Of. 11



senapi
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA
MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*.

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*.

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ..."*, por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

POR TANTO

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

RESUELVE:

INSCRIBIR en el Registro de Obras Escritas de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, la Compilación de Obras Escritas titulada: **"PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2022 - INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL"**, conformada por las obras escritas:

- **"DIAGNÓSTICO DEL TRÁFICO VEHICULAR, PEATONAL Y PROPUESTA DE UNA CICLOVÍA EN LA AVENIDA LITORAL DE LA CIUDAD DE EL ALTO"**, a favor de los autores: CARLOS FERNANDO DIAZ MACHICADO con C.I. Nº 2448436 LP, EDDY HUANCA VARGAS con C.I. Nº 8427112 LP y KAREN MARIBEL LLUSCO MUJICA con C.I. Nº 9972967 LP y como titular derivado: INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA con NIT Nº 122025022, representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.
- **"ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA DEL RÍO SECO PRODUCIDA POR LAS CURTIEMBRES Y PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN"**, a favor de los autores: JUAN RICARDO AGUILAR AGUILAR con C.I. Nº 3387511 LP, VIDAL CARITA TARQUI con C.I. Nº 6061996 LP y JHOEL ALVARO HUAYLLIRI CHAMBI con C.I. Nº 9879969 LP y como titular derivado: INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA con NIT Nº 122025022, representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.
- **"FORMULACION DE UN MODELO MATEMATICO QUE RELACIONE LOS ENSAYOS DE PENETRACION ESTANDAR SPT Y CBR EN SUELOS DEL SECTOR ALPACOMA, EL ALTO"**, a favor de los autores: JORGE FELIX CHAVEZ VISCARRA con C.I. Nº 2445557 LP, JHOSELINE CALLI HUARACHI con C.I. Nº 6815590 LP y VERONICA CASTAÑETA YUCRA con C.I. Nº 7003141 LP y como titular derivado : INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA, con NIT Nº 122025022, representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.
- **"DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN, EN LAS VÍAS PRINCIPALES DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD DE EL ALTO"**, a favor de los



**"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"**



<p>Oficina Central - La Paz Av. Morán, No 575, entre Diag. Urugua y C. Barahón Almaraz, Telf.: 2292964 - 2292965 2292967 Fax: 2292960</p>	<p>Oficina - Santa Cruz Av. Urugua, Calle promoción del Quijano, Nº 26, Edif. Bicentenario, Telf.: 3229254 - 3229256</p>	<p>Oficina - Cochabamba Calle Chiquibambá, Nº 446, Piso 2, entre Antezana y Laraca zona Central - Noroeste, Telf.: 4444445 - 70042957</p>	<p>Oficina - El Alto Av. Juan Pablo II, Nº 2550 Edif. Multicéntrico El Centro Calle, Piso 2, Of. 18, zona 16 de Julio, Telf.: 2240481 - 7204289</p>	<p>Oficina - Chiquibambá Calle Kilómetro 7, Nº 364 cruz vta. Orinogallo, zona Parque Bolívar, Telf.: 7204289</p>	<p>Oficina - Tarija Calle Ingenio, Nº 995 entre Santa Cruz y Méndez, zona La Pampa, Telf.: 7204289</p>	<p>Oficina - Oruro Calle 4 de Octubre, Nº 5423, entre Apaza y Jureta, Calle Central, Of. 14 (Ex Santa Fe), Telf.: 6220444</p>	<p>Oficina - Potosí Av. Villazón entre calles Wenceslao Peña y San Alberto, Telf. 404, Salinas Nº 642, Hímer Pico, Of. 2.</p>
---	--	---	---	--	--	---	---

www.senapi.gob.bo



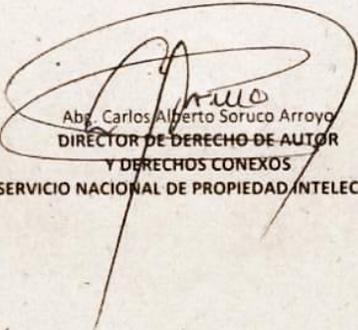
ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA

MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL

autores: JOSE DANIEL BUSTOS QUIROGA con C.I. N° 782215 CB, MAGALY TARQUI ALANOCA con C.I. N° 12364583 LP y JENNY LULY PILLCO QUENALLATA con C.I. N° 9879179 LP y como titular derivado : INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA, con NIT N° 122025022, representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.

Quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.


Ab. Carlos Alberto Soruco Arroyo
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR
Y DERECHOS CONEXOS
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



CASA/mvcc
c.c.Arroyo



"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"



Oficina Central - La Paz
Av. Morales, N° 975,
entre las: Ortopedia y
C. Botánico Wilson,
Telf.: 2259266 - 2259267
2259268 Fax: 2259269

Oficina - Santa Cruz
Av. Ortopedia, Calle
paralela a la calle,
N° 71, Edif. Bismarck,
Telf.: 3375750 - 3375756

Oficina - Cochabamba
Calle Chiquitana, N° 469,
Piso 1, entre Anticuario y Lomas
de la Cruz - Rosado,
Telf.: 4444440 - 7244247

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2540
Edif. Politécnico II (entre
Calle Pina y, W. 58,
cerca al de Jallu),
Telf.: 7944440 - 7944441

Oficina - Ortopedia
Calle Edificatorio 7, N° 964
cerca con, Ortopedia,
zona Parque Bolívar,
Telf.: 7244247

Oficina - Tarija
Calle Argemón, N° 981
entre Santa Cruz
y Méndez, zona
La Pampa,
Telf.: 7244246

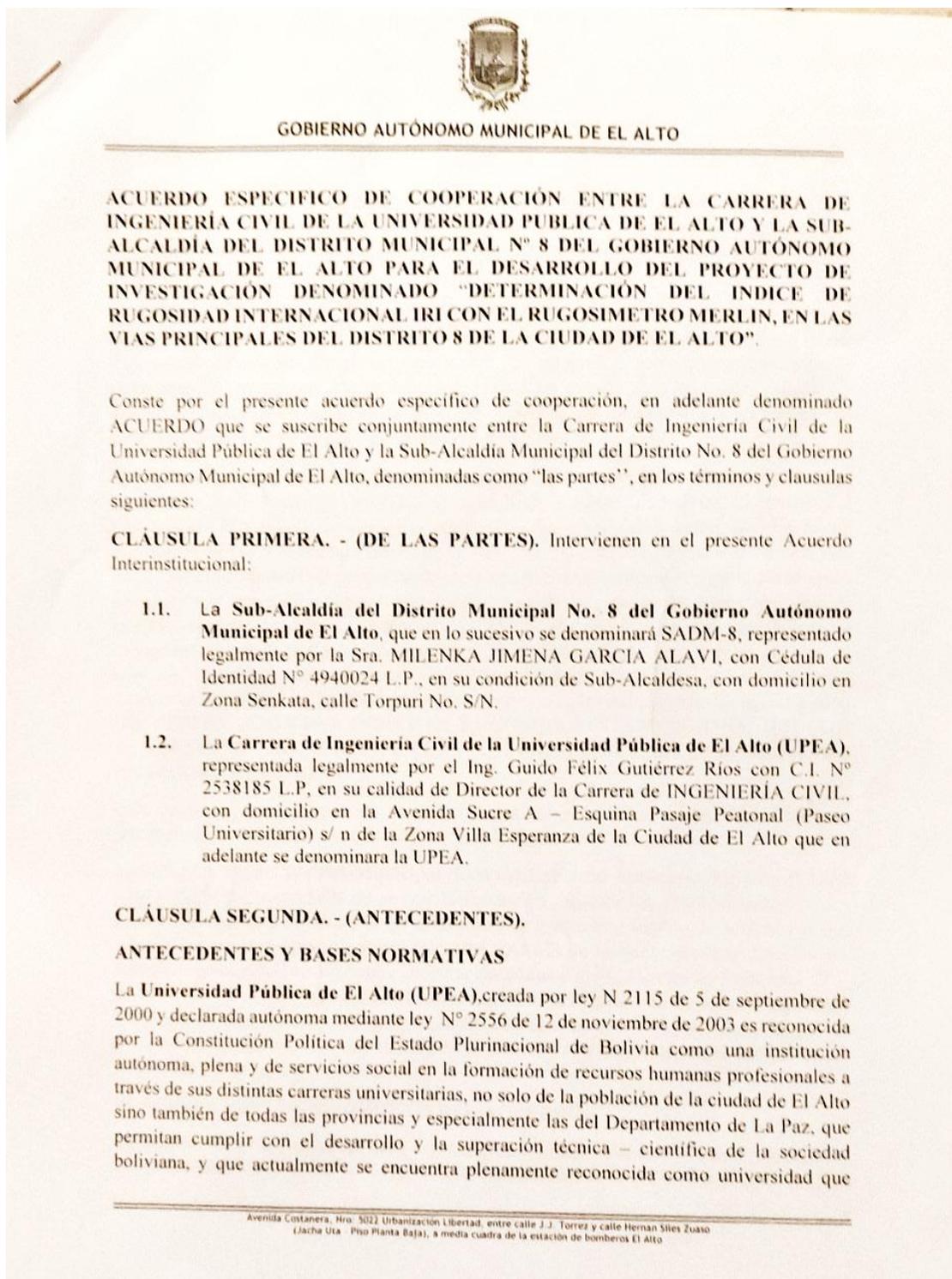
Oficina - Oruro
Calle 4 de Octubre,
N° 5817, entre Aguarcho
y Jumbú, Calle Central,
Ed. N. (Ex Banco Fia),
Telf.: 8220248

Oficina - Potosí
Av. Villalón entre calles
Wenceslao Aldea y San Alberto,
Edif. IAP, Salvo N° 24,
Primer Piso, Ed. 11,
Telf.: 8220248

WWW.senapi.gob.bo

ANEXO No. 2

Acuerdo de Coordinación con la Sub-alcaldía Municipal del Distrito 8 de la ciudad de El Alto





GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO

forma parte del sistema de universidades de Bolivia, en igualdad de jerarquía y de condiciones institucionales, fortaleciendo la investigación, la cultura y que debe estar consustanciada al mismo tiempo, con el rol social que debe cumplir la universidad del futuro en nuestro país.

El Art.92 de la Constitución Política del Estado, establece que "las Universidades Públicas son autónomas e iguales en jerarquía, la autonomía consiste en la libre administración de sus recursos, el nombramiento de sus autoridades, su personal docente y administrativo, la elaboración y aprobación de sus estatutos, planes de estudio y presupuestos anuales; y aceptación de legados y donaciones, así como la celebración de contratos, para realizar sus fines y sostener y perfeccionar sus institutos y facultades ..."

Por lo cual, en cumplimiento del estatuto orgánico de la Universidad Pública de El Alto, aprobada en su II Congreso Ordinario, el reglamento de convenios Interinstitucionales y el plan general de extensión universitaria, donde se establece la planificación, coordinación e interacción de la Universidad Pública de El Alto con las distintas instituciones o personas jurídicas de la sociedad boliviana a través de la suscripción de convenios u otros documentos de extensión e interacción social; y así alcanzar la misión de cumplir los fines y objetivos de esta casa superior de estudios para los cuáles fue creada, como una institución de servicio de nuestra sociedad, la Carrera de Ingeniería Civil de la UPEA, tiene a bien suscribir el presente Acuerdo Interinstitucional con la Sub-alcaldía del Distrito 8, del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto, para el desarrollo conjunto del proyecto de investigación "**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN, EN LAS VÍAS PRINCIPALES DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD DE EL ALTO**".

Este Acuerdo Interinstitucional específico, está suscrito en el marco del Convenio Interinstitucional suscrito entre la UPEA y el GAMEA.

La **Sub Alcaldía del Distrito Municipal No. 8 del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto - GAMEA**, con el fin de apoyar la formación capacitación y actualización de los recursos humanos, a través de la investigación y la interacción social que se forma en las universidades y el compromiso institucional del GAMEA de apoyar en esta importante labor, considera pertinente que exista una cooperación mutua entre la Carrera de Ingeniería Civil de la UPEA y la **SADM-8 del GAMEA** a través de la suscripción de un acuerdo específico que regule la relación entre ambas instituciones, para el desarrollo de actividades conjuntas en la ejecución del proyecto de investigación señalado anteriormente, en el ámbito de sus respectivas atribuciones.

CLÁUSULA TERCERA. - (OBJETO DEL ACUERDO).

El presente Acuerdo Específico tiene como objeto establecer una relación de cooperación y trabajo conjunto entre la Carrera de Ingeniería Civil de la UPEA y la Sub Alcaldía del Distrito



 GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO

Municipal No. 8 del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto para la realización del proyecto de investigación titulado: **“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN, EN LAS VÍAS PRINCIPALES DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD DE EL ALTO”**.

CLÁUSULA CUARTA. - (DE LOS COMPROMISOS).

La SAMD-8 del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto en coordinación con la Carrera de Ingeniería Civil tienen previsto desarrollar en forma conjunta el proyecto de investigación **“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN, EN LAS VÍAS PRINCIPALES DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD DE EL ALTO”**.

Para el logro de los objetivos y alcance del referido proyecto de investigación, ambas partes se COMPROMETEN a realizar las siguientes actividades:

La **SADM-8 del GAMEA** conviene los siguientes COMPROMISOS:

- a) APROBAR el Perfil y Plan de Trabajo para el inicio y desarrollo del proyecto de investigación elaborado por el Docente Investigador de la Carrera de Ingeniería Civil, emitiendo observaciones, recomendaciones y su acuerdo sobre el referido documento; si corresponde coordinará con el Docente Investigador para subsanar las observaciones correspondientes.
- b) Apoyar con personal del área técnica, quienes evaluarán y aprobarán las metodologías propuestas por la carrera de Ingeniería Civil en lo referente a la determinación del Índice de Rugosidad Internacional IRI con el Rugosímetro MERLIN de las vías urbanas representativas de distintas superficies de rodadura en el área del Distrito 8.
- c) Colaborar en la elección de vías del Distrito 8, con distintas superficies de rodadura (pavimento flexible, pavimento rígido, losetas y tierra) para las mediciones previstas.
- d) Facilitar la documentación e información que se tenga en la SAMD-8 relativa al proyecto de investigación.
- e) Proporcionar asistencia técnica a través de sus especialistas para alcanzar los objetivos de la investigación.
- f) Apoyo en otras actividades enmarcadas en el proyecto de investigación previamente aprobadas por la SAMD-8 que sean solicitadas por el Docente Investigador de la

Avenida Costanera, Hto: 5022 Urbanización Libertad, entre calle J.J. Torres y calle Hernán Siles Zuazo
(Jacha Uta - Piso Planta Baja), a media cuadra de la estación de bomberos El Alto



GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO

UPEA, las mismas deben estar dentro del alcance y las posibilidades técnicas y administrativas de la Dirección del GAMEA.

OBLIGACIONES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Y DEL DOCENTE INVESTIGADOR Y AUXILIARES DE INVESTIGACION

- a) Designar un Docente Investigador y 2 auxiliares de investigación (Equipo de Investigadores) de acuerdo con los Estatutos y Reglamentos Internos, que se encargarán del desarrollo del proyecto de investigación, que deben estar en permanente comunicación con las oficinas de la SADM-8 del GAMEA, a efectos de cumplir con los objetivos propuestos.
- b) El equipo de investigadores desarrollara el proyecto de investigación con el rigor científico que requiere el proyecto de investigación, para ser presentado a la SADM-8 para su evaluación y aprobación conjunta como requisito necesario para que se inicie este.
- c) La UPEA pondrá a disposición del Municipio el resultado del trabajo de investigación desarrollado.
- d) Solicitar la conformidad previa y expresa de la **SADM-8 del GAMEA**, para la difusión y publicación del trabajo de investigación desarrollado en el marco de este acuerdo, respetando los derechos de autor enmarcados en la Ley N° 1322.
- e) La responsabilidad en la actuación de los investigadores será estrictamente considerada de carácter personal, no involucrando a ninguna de las instituciones del convenio en cuanto a sus obligaciones y responsabilidades penales, civiles y administrativas correspondientes. En consecuencia, ni la Universidad Pública de El Alto, ni la Sub-Alcaldía Municipal Número 8 del Gobierno Autónomo Municipal de El Alto, asumirán conductas impropias, inadecuadas o insuficientes de los investigadores, deslindando responsabilidades de terceros a las partes firmantes de este acuerdo específico.

CLÁUSULA QUINTA. - (DURACIÓN DEL ACUERDO ESPECIFICO). - El término de duración del presente Acuerdo Interinstitucional es hasta la finalización del proyecto de investigación es decir hasta el 31/12/2022 o de mutuo acuerdo entre las partes.

CLÁUSULA SEXTA. - (CLAUSULA OBLIGATORIA Y EXPRESA). - Se establece que las funciones que desempeñan el equipo de investigadores y del personal designado de la SADM-8 serán relacionadas estrictamente de asesoramiento al tema de investigación.

El equipo de investigación es responsable de la correcta ejecución del proyecto de investigación que es parte de este acuerdo específico.

Avenida Costanera, Nro. 5022 Urbanización Libertad, entre calle J. J. Torrez y calle Hernán Siles Zuazo (Jacha Uta Piso Planta Baja), a media cuadra de la estación de bomberos El Alto



GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE EL ALTO

CLÁUSULA SEPTIMA. - (ALCANCE DEL CONVENIO). - El presente acuerdo tiene como única finalidad implementar la cooperación mutua entre las PARTES para el bien de la comunidad y toda la población del Municipio de El Alto de manera directa y otros municipios de manera indirecta.

CLÁUSULA OCTAVA. - (MODIFICACIÓN Y RESOLUCIÓN). - Los objetivos, cláusulas y formas de operar del presente acuerdo podrán ser modificados o ampliados previo acuerdo entre las partes, los cuales pasarán a formar parte del presente Acuerdo.

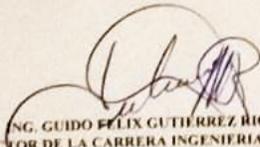
El incumplimiento de algunas de las cláusulas del presente convenio dará lugar a la parte afectada a resolverlo por medio de una comunicación escrita, la que deberá remitirse a la contra parte con TREINTA días de anticipación.

CLÁUSULA NOVENA. (DOMICILIO A EFECTOS DE NOTIFICACIÓN). - Cualquier notificación que deba darse en el marco de la ejecución del presente Acuerdo de Cooperación debe ser enviada a la otra parte, a las siguientes direcciones:

La Sub Alcaldía del Distrito Municipal No. 8 SADM-8 del GAMEA, con dirección Zona Senkata, Calle Torpuri No. S/N.

La CARRERA DE INGENIERIA CIVIL DE LA UPEA: Dirección Av. Sucre "A" s/n, Pasaje Peatonal (Paseo Universitario), Zona Villa Esperanza El Alto, Departamento de La Paz Bolivia.

CLÁUSULA DECIMA. - (ACEPTACIÓN). - La Sub Alcaldía del Distrito Municipal No. 8 del GAMEA y la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Pública de El Alto, declaramos nuestra absoluta conformidad con las estipulaciones del presente Acuerdo, firmando en constancia en la ciudad de El Alto a los 15 días del mes de JUNIO del año dos mil veintidós.


 ING. GUIDO FELIX GUTIERREZ RIOS
 DIRECTOR DE LA CARRERA INGENIERIA CIVIL
 U.P.E.A.
 Ing. Guido Felix Gutierrez Rios
 DIRECTOR
 CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
 UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO




 Sra. MIRENSKA JIMENA GARCIA ALAVI
 SUB ALCALDESA DISTRITO SADM-8
 GOBIERNO AUTONOMO MUNICIPAL DE EL ALTO



Avenida Costanera - Nro: 5022 Urbanización Libertad, entre calle J. J. Torrez y calle Hernán Siles Zuazo (Jacha Uta - Piso Planta Baja), a media cuadra de la estación de bomberos El Alto

ANEXO No. 3

DOCUMENTOS DE TRABAJO - FORMULARIOS UTILIZADOS

Formularios utilizados para la medición de Rugosidades y para los conteos de tráfico (se tienen 24 formularios llenados en los aforos de tráfico efectuados) y para Información adicional (entrevistas).

	UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO FORMULARIO DE CAMPO											
	ENSAYO: IRI - RUGOSIMETRO MERLIN					CODIGO DEL DOCUMENTO:						
	NORMA:					INCI - UPEA:						
CALLE o AVENIDA:												
SECTOR :					ENSAYO No. :							
FECHA :					KM. :							
HORA :					PROGRESIVA INICIO :							
CARRIL :					PROGRESIVA FINAL :							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TIPO DE PAVIMENTO	
1											TIERRA CONSTRUIDA	
2											ENLOSETADO	
3											CONCRETO ASFALTICO	
4											PAVIMENTO RIGIDO	
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
OBSERVACIONES:												
Nombre del Operador : Nombre del Anotador :												

Elaboración propia

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

FORMULARIO DE CAMPO PARA CONTEO DE CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS



Calle o Avenida : Fecha :

Estación : Registrado por :

Sentido :



HORA		Automoviles Vagonetas	Camionetas Hasta 2 ton.	Otros Livianos	Microbus 12 a 21 asientos	Bus Mediano 22 a 35 asientos	Bus grande Mas de 35 astos	Camión Pequeno (2.5 a 5.5 tn)	Camión Mediano (6 a 9.5 tn)	Camión Grande (10 Ton o mas)	Camión con acoplado	Motocicletas	Otros
De:	A:												

Form. Invlri 3 Página No. :

Elaboración propia

DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE VEHÍCULO					
Automoviles Vagonetas	Camionetas	Otros Livianos	Microbus	Bus Mediano	Bus grande
					
Descripción : Vehiculos de pasajeros con capacidad hasta 11 asientos inclusive.	Descripción : Vehiculos livianos de carga con capacidad hasta 2 toneladas (40 qq), inclusive.	Descripción : Vehiculos livianos de carga y/o pasajeros como jeeps, furgonetas doble cabina, etc. con capacidad hasta 2 toneladas (40 qq) u 11 asientos.	Descripción : Vehiculos de pasajeros con capacidad comprendida entre 12 y 21 asientos inclusive.	Descripción : Vehiculos de pasajeros con capacidad comprendida entre 22 y 35 asientos inclusive.	Descripción : Vehiculos de pasajeros con capacidad de 36 o mas asientos.
Camión Pequeno	Camión Mediano	Camión Grande	Camión con acoplado	Motocicletas	Otros
					
Descripción : Vehiculos livianos de carga con capacidad comprendida entre 2.5 Ton (50 qq) y 5.5 Ton (110 qq), inclusive.	Descripción : Vehiculos livianos de carga con capacidad comprendida entre 6.0 Ton (120 qq) y 9.5 Ton (190 qq), inclusive.	Descripción : Vehiculos livianos de carga con capacidad de 10,0 Ton (200 qq) o más.	Descripción : Vehiculos de carga con remolque o semiremolque cuyo número total de ejes (incluyendo camión y remolque) sea 3 o más.	Descripción : Vehiculos motorizados de dos llantas o con small-car, de 1 a 3 pasajeros.	Descripción : Vehiculos que no se encuentran comprendidos en los anteriores, como ser maquinaria agrícola y de construcción.

Elaboración propia

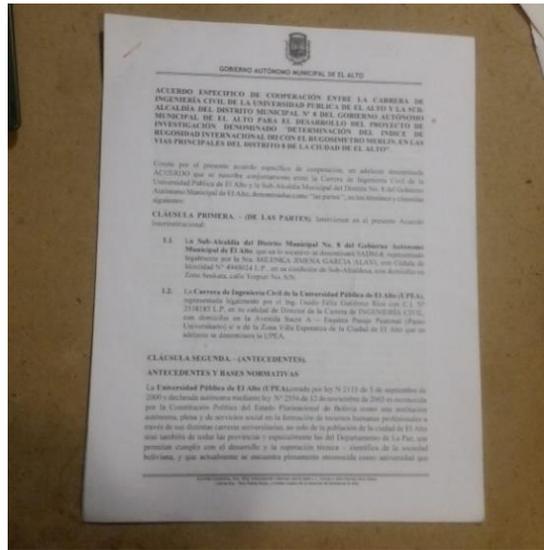
ANEXO No. 4

REPORTE FOTOGRÁFICO relacionado con los objetivos fijados especial y exclusivamente para el avance del estudio. Todas las fotografías son elaboración propia de los investigadores; las numeraciones que presentan son específicas y fijadas exclusivamente para este Anexo.

Objetivo 1: Coordinación con el Distrito 8 del GAMEA.

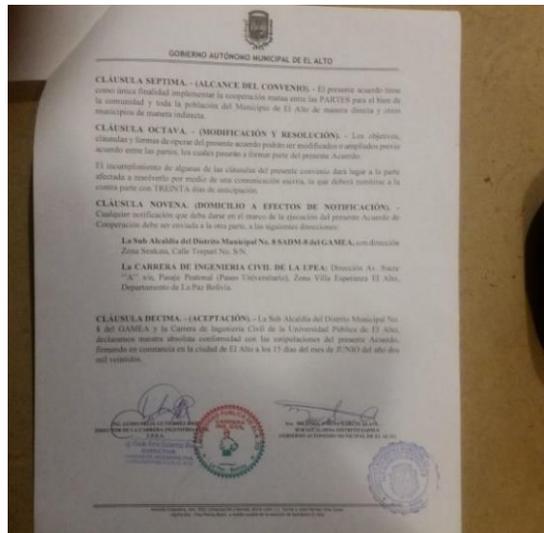
(En el Anexo 2 se encuentra la copia del Acuerdo)

Fotografía RF 1 “Acuerdo de Coordinación”



Elaboración propia

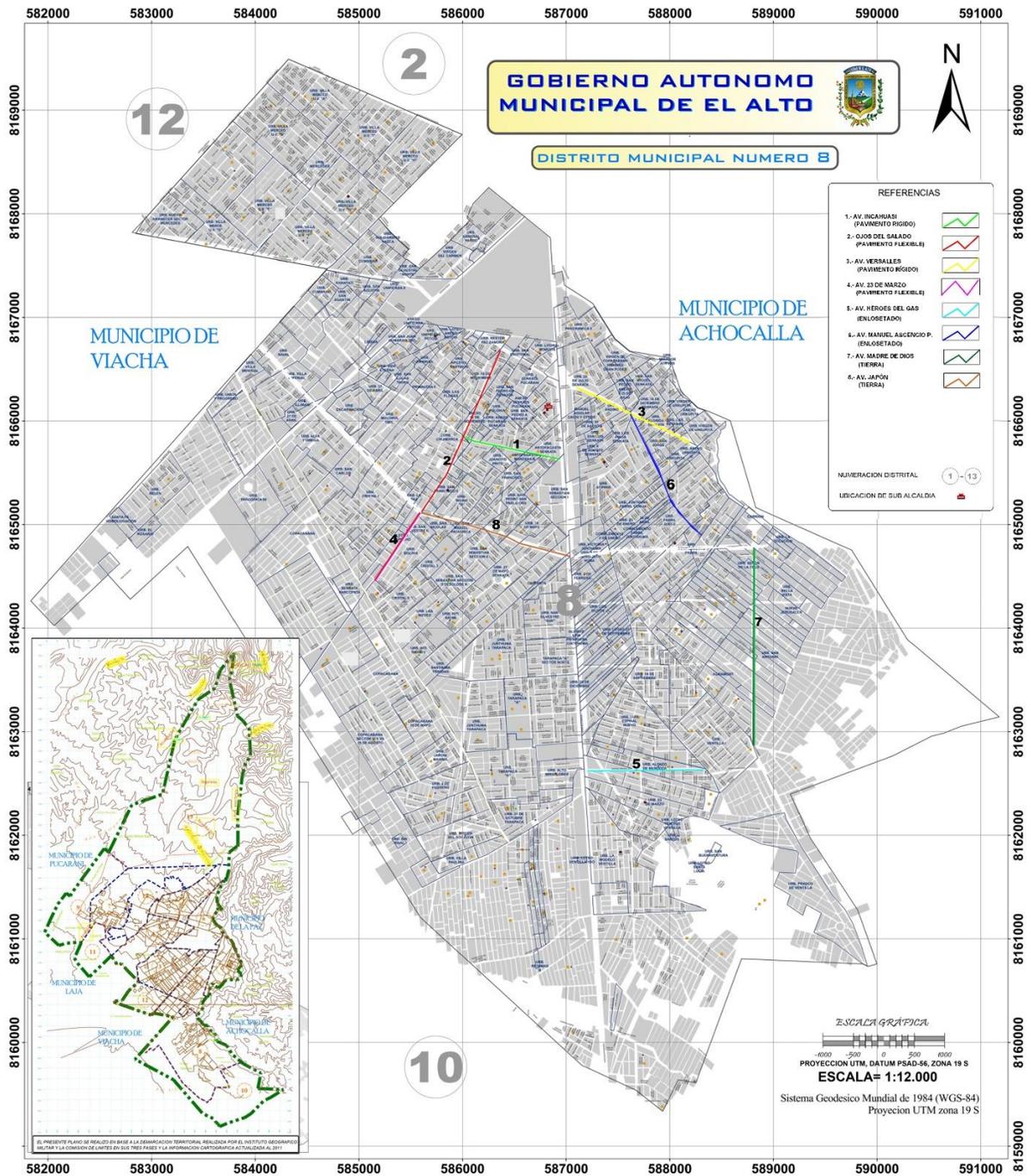
Fotografía RF 2 “Acuerdo de Coordinación”



Elaboración propia

Objetivo 2: Con la colaboración de los técnicos del SAMD-8 DEL GAMEA determinar las vías urbanas a considerar en el proyecto de investigación propuesto.

Fotografía RF 3 Vías urbanas seleccionadas



Elaboración propia

Objetivo 3: Capacitar a los auxiliares en la calibración y el uso del MERLIN.

Resultado: Las auxiliares están facultadas para calibrar y efectuar mediciones con el MERLIN.

Taller sobre calibración y mediciones con el MERLIN y cálculos inherentes. Prácticas presenciales

Docente investigador y Auxiliares (Fotografías RF 4 a RF 10)



Fotografía RF 4



Fotografía RF 5



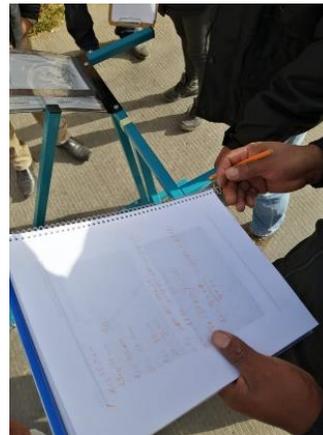
Fotografía RF 6



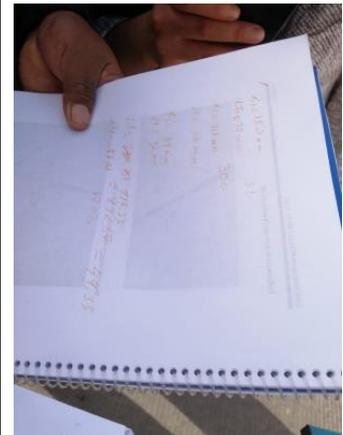
Fotografía RF 7



Fotografía RF 8



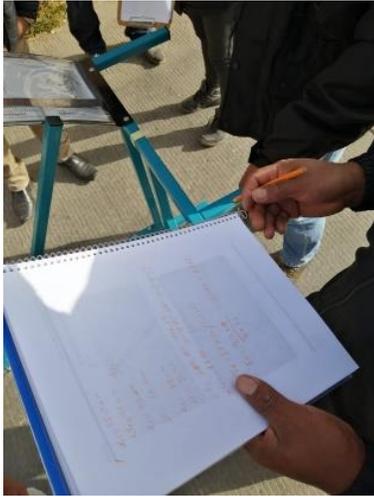
Fotografía RF 9



Fotografía RF 10

Elaboración propia

Objetivo 4: Programar y efectuar mediciones en vías urbanas del Distrito 8.

Fotografía RF 11 Formulario de campo	Fotografía RF 12 Trabajo de campo
	

Elaboración propia

Objetivo 5: Identificar singularidades

Fotografía RF 13 Singularidad (sumidero)



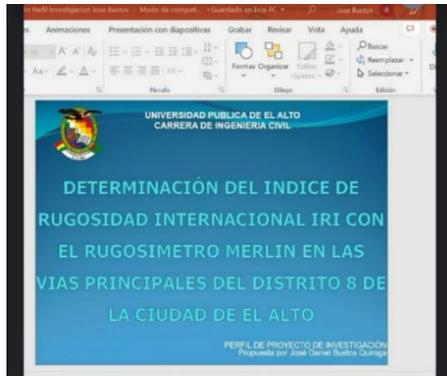
Fotografía RF 14 Singularidad (rompemuelles)	Fotografía RF 15 Singularidad (cuneta)
	

Elaboración propia

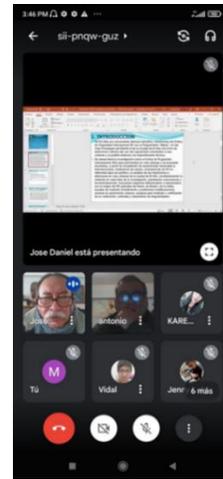
1.2 OTRAS FOTOGRAFÍAS DEL TRABAJO PRESENTADAS MENSUALMENTE

MARZO/2022

Foto ORF 1 y ORF 2 Presentación del Plan de Trabajo



Elaboración propia

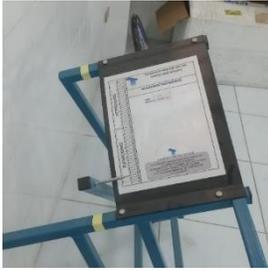


Elaboración propia

ABRIL/2022

VISITA A LA SUBALCALDÍA DEL DISTRITO 8

Foto ORF 3	Foto ORF 4	Foto ORF 5	Foto ORF 6
Llegando a la Subalcaldía del Distrito 8 (Senkata)		Ingresando a la Subalcaldía del Distrito 8 (Senkata)	
			
Elaboración propia		Elaboración propia	

<p>Foto ORF 7</p> <p>Ingresando a la Subalcaldía del Distrito 8 (Senkata)</p>	<p>Foto ORF 8</p>	<p>Foto ORF 9</p>	<p>Foto ORF 10</p> <p>Equipo de Medición de Rugosidades (Rugosímetro MERLIN)</p>
			
<p>Elaboración propia</p>	<p>Elaboración propia</p>	<p>Elaboración propia</p>	<p>Elaboración propia</p>

MAYO/2022

Calibración del rugosímetro MERLIN.- Docente investigador y Auxiliares

<p>Foto ORF 11</p> 	<p>Foto ORF 12</p> 
--	---

Elaboración propia

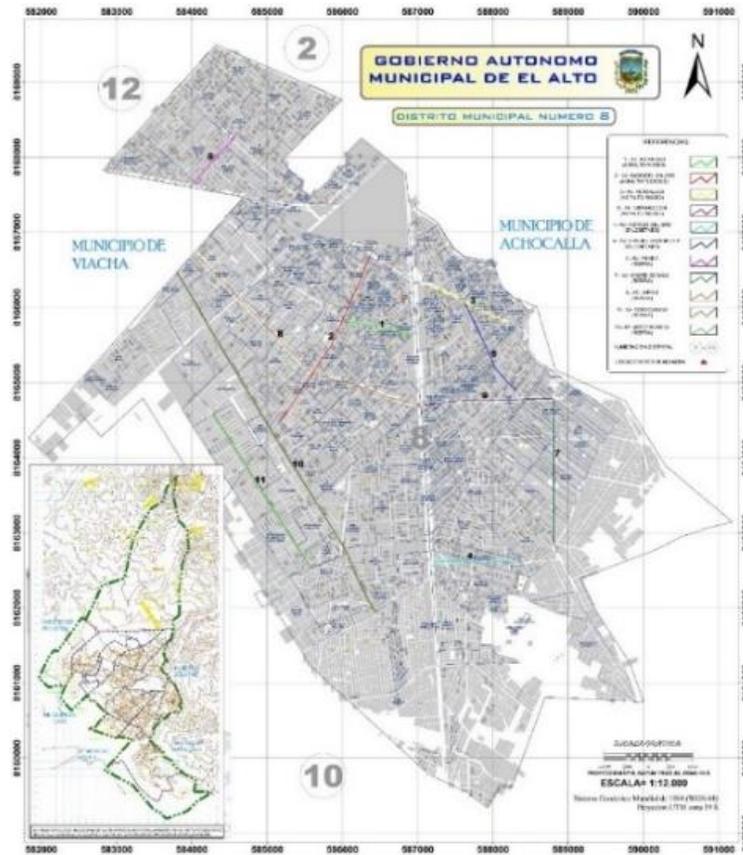
Elaboración propia

<p>Foto ORF 13</p> 	<p>Foto ORF 14</p> 
---	--

Elaboración propia

Elaboración propia

Foto ORF 15 .- Vías urbanas del Distrito 8 preseleccionadas para mediciones de rugosidad



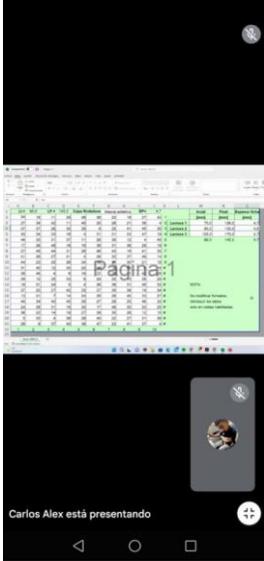
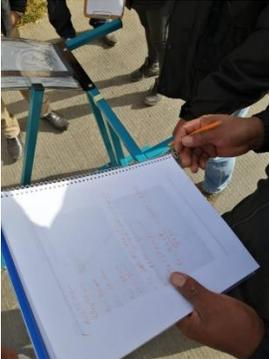
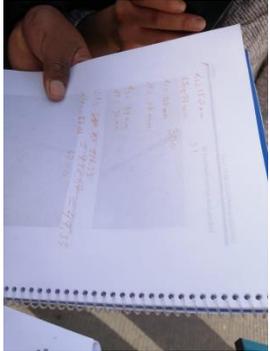
Elaboración propia

JUNIO/2022

Taller sobre calibración y mediciones con el MERLIN y cálculos inherentes. Explicación virtual

Foto ORF 16	Foto ORF 17	Foto ORF 18	Foto ORF 19
Elaboración propia	Elaboración propia	Elaboración propia	Elaboración propia

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL IRI CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN, EN LAS VÍAS PRINCIPALES DEL DISTRITO 8 DE LA CIUDAD DE EL ALTO"

Explicación virtual.	Taller sobre calibración y mediciones con el MERLIN y cálculos inherentes. Prácticas presenciales.		
Foto ORF 20	Foto ORF 21	Foto ORF 22	Foto ORF 23
			
Elaboración propia	Elaboración propia	Elaboración propia	Elaboración propia

JULIO/2022

**Inicio de Mediciones, Identificación de singularidades
AVENIDA VERSALLES**

Foto ORF 24



Elaboración propia

Foto ORF 25



Elaboración propia

Foto ORF 26



Elaboración propia

Foto ORF 27



Elaboración propia

Foto ORF 28 Singularidad (sumidero)



Elaboración propia

Foto ORF 29



Elaboración propia

Foto ORF 30 (Final del pavimento)



Elaboración propia

AV. OJOS DEL SALADO

Foto ORF 31



Elaboración propia

Foto ORF 32



Elaboración propia

Foto ORF 33 - Singularidad (cuneta)



Elaboración propia

Foto ORF 34



Elaboración propia

AV. INCAHUASI

Foto ORF 35 (Ubicación)



Elaboración propia

Recorrido de Campo - PAVIMENTO RÍGIDO
Foto ORF 36



Elaboración propia

AGOSTO/2022 y SEPTIEMBRE/2022 - Medición de rugosidades
Av. Versalles

Foto ORF 37



Elaboración propia

Foto ORF 38



Elaboración propia

Foto 44

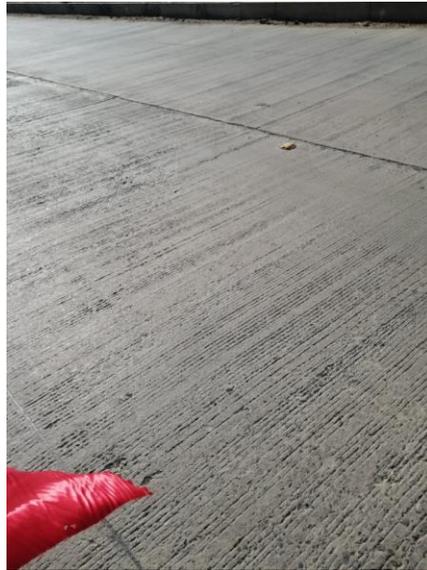
Foto ORF 39	Foto ORF 40 – Sumidero
	
Elaboración propia	Elaboración propia

Foto ORF 41 (Singularidad)



Elaboración propia

Foto ORF 42 (Ojos de gato)



Elaboración propia

Foto ORF 43



Elaboración propia

Av. Ojos del Salado

<p style="text-align: center;">Foto ORF 44</p> 	<p style="text-align: center;">Foto ORF 45</p> 
<p style="text-align: center;">Elaboración propia</p>	<p style="text-align: center;">Elaboración propia</p>
<p style="text-align: center;">Foto ORF 46</p> 	<p style="text-align: center;">Foto ORF 47</p> 
<p style="text-align: center;">Elaboración propia</p>	<p style="text-align: center;">Elaboración propia</p>
<p style="text-align: center;">Foto ORF 48</p> 	<p style="text-align: center;">Foto ORF 49</p> 
<p style="text-align: center;">Elaboración propia</p>	<p style="text-align: center;">Elaboración propia</p>

Calle Manuel Ascencio Padilla (enlosetada)

Foto ORF 50



Elaboración propia

Foto ORF 51



Elaboración propia

Foto ORF 52



Elaboración propia

Foto ORF 53



Elaboración propia

Avenida Héroes del Gas

Foto ORF 54	Foto ORF 55
	
Elaboración propia	Elaboración propia

Foto ORF 56	Foto ORF 57
	
Elaboración propia	Elaboración propia

2. Avenida Madre de Dios

Foto ORF 58	Foto ORF 59
	
<p>Elaboración propia</p>	<p>Elaboración propia</p>

<p>Foto ORF 60 Midiendo la avenida, para dibujar el perfil transversal típico y apreciar algunos aspectos misceláneos (aceras desiguales)</p>	<p>Foto ORF 61 Midiendo la avenida Héroes del Gas, para el perfil transversal típico y apreciar el tráfico</p>
--	---



Elaboración propia



Elaboración propia

ANEXO 5

ESCALA DE CALIFICACION DE LA SERVICIABILIDAD SEGÚN AASHO (AASHO 1962).

MALA: De 1.0 a 2.0 Los pavimentos en esta categoría se han deteriorado hasta un punto donde pueden afectar la velocidad de tránsito de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas. El deterioro incluye pérdida de áridos, agrietamiento, ahuellamiento, y ocurre en un 50% o mas de la superficie. El deterioro en pavimentos rígidos incluye desconche de juntas, escalonamiento, parches, agrietamiento y bombeo

Regular De 2.0 a 3.0 En esta categoría la calidad de manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y puede presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en pavimentos flexibles pueden incluir ahuellamiento, parches y agrietamiento. Los pavimentos rígidos pueden incluir fallas en las juntas, agrietamiento, escalonamiento y bombeo.

Buena: De 3.0 a 4.0 Los pavimentos de esta categoría, si bien no son tan suaves como los “Los Muy Buenos”, entregan un manejo de primera clase y muestran muy poco o ningún signo de deterioro superficial. Los pavimentos flexibles pueden estar comenzando a mostrar signos de ahuellamiento y figuración aleatoria. Los pavimentos rígidos pueden estar empezando a mostrar evidencias de un leve deterioro superficial, como desconches y fisuras menores.

ANEXO 6

MÉTODOS DE MEDICIÓN:

El Banco Mundial clasificó los métodos de medición en cuatro grupos de acuerdo con la correlación que emplean entre sus medidas y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

- **Métodos Clase 1.-** Estos métodos se consideran los más exactos en la medición y determinación del IRI, pues se basan en el levantamiento de perfiles topográficos. La desventaja de este método es que el rendimiento es limitado al efectuar la toma de muestras. Dentro de este grupo se encuentran el Perfilómetro TRRL beam y el procedimiento con “Mira y nivel de precisión” (Rod and Level).
- **Métodos Clase 2.-** En esta clase el nivel de exactitud es menor que los de la clase anterior. Este método utiliza perfilómetros de velocidad alta o eventualmente equipos de medición estática al igual que la clase 1, pero con un nivel de exactitud inferior. Entre estos perfilómetros de alta velocidad se tienen: el Perfilómetro APL Tráiler, el Perfilómetro GMR type (Inertial Profilometer).

Los métodos de clase 1 y clase 2 establecen la rugosidad en unidades IRI haciendo el uso de programas de cálculo y procesamiento de datos; están basados en algoritmos matemáticos que simulan la respuesta dinámica que experimenta el sistema de suspensión de un vehículo al transitar por la vía que se estudia.

- **Métodos Clase 3.-** En este grupo se encuentran métodos que utilizan ecuaciones de correlación para estimar la rugosidad IRI. Estos métodos se denominan “tipo respuesta” (Response-Type Road Roughness Measuring System, o simplemente, RTRRMS). En este caso, se determina la rugosidad detectando los movimientos de la suspensión del remolque o del vehículo en el que está montado el equipo.

Las mediciones tomadas mediante los equipos que corresponden a los métodos Clase 3, varían con las características dinámicas del vehículo. Sin embargo, proporcionan parámetros de rugosidad que se pueden correlacionar con el IRI. Las propiedades dinámicas de cada vehículo pueden cambiar respecto al tiempo y por este motivo las mediciones directas correlacionan el IRI con ecuaciones de calibración, estas ecuaciones son obtenidas mediante curvas de calibración obtenidas en campo y para cada equipo.

Dentro de este grupo encontramos los siguientes: - Mays Meter (norteamericano), - Bump Integrator (Inglés), - NAASRA Meter (Australiano).

- **Métodos Clase 4.-** En caso de que se requieran datos de rugosidad con precisión moderada o que no sea indispensable obtener datos precisos, se puede recurrir a una evaluación subjetiva, se trata de recorrer los caminos y asignar valores de rugosidad según la inspección visual (se requiere que esa evaluación se efectúe por personal con experiencia en detectar fallas y deterioro de las superficies. Un equipo tipo respuesta que no esté calibrado cae dentro de esta categoría de Clase 4. (Del Águila Rodríguez, 1999).

ANEXO 7

EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD

Desde los años sesenta se desarrollaron equipos para medir la rugosidad superficial del pavimento, incluso de superficies no pavimentadas. Esos equipos han ido evolucionando con el tiempo y las innovaciones tecnológicas, considerando mayor precisión y rendimientos mas elevados.

- **Levantamiento con Mira y Nivel:** El levantamiento topográfico es posiblemente el método más exacto, siendo además de bajo costo. Consiste en medir (levantar) el perfil longitudinal. Se requiere una mira de precisión y un nivel topográfico que se utilizan para la toma de datos. Se efectúa el levantamiento del perfil topográfico a distancias de 0,25 m. con una precisión de 0,5 mm., los valores obtenidos se transforman a unidades IRI mediante un programa computarizado (se experimentó con este método para la calibración de equipos dinámicos correspondientes a la clase 3). En caso de disponerse para la medición de rugosidades, es evidente que el rendimiento será bajo por la cantidad de datos que se requieren obtener.

Foto ORF 62.- Mira y Nivel



**Fuente: Catálogo Instop
Nivel Óptico Leica NA730**

FACE DIPSTICK: El Face Dipstick o perfil pivotante (varilla graduada) es un equipo de alta precisión y de bajo costo; aunque debido a su bajo rendimiento solo se obtiene una limitada cantidad de datos (medidas) del perfil longitudinal de la vía, considerando el tiempo. Este equipo consiste en un inclinómetro soportado por dos apoyos separados por una distancia de 25 a 30 cm, los cuales registran la elevación de un apoyo relativo a elevación del otro apoyo y una barra que permite hacer desplazamientos con el Dipstick.

Foto ORF 63.- Face Dipstick



Fuente: Catálogo Dipstick

PERFILÓGRAFOS: Los Perfilógrafos han sido utilizados desde hace bastante tiempo y existen diseños diversos. Se presentan dos tipos de perfilógrafos de entre muchos que han sido desarrollados, son el perfilógrafo California y el Rainhart (Zevallos G., 2016, pág. 34)

Foto ORF 64 y ORF 65.- Perfilógrafos California y Rainhart



Fuente: Romaro Internacional, S.A de C.V

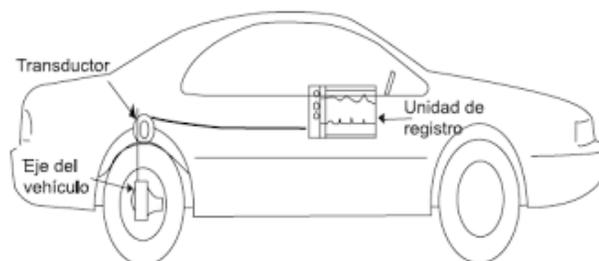


Fuente: Rainhart Company

Los perfilógrafos tienen una rueda sensible, montada al centro del marco para mantener el movimiento vertical libre. La desviación de un plano de referencia, establecido por el marco del Perfilógrafo, se registra en papel según el movimiento de la rueda sensible. Los perfilógrafos pueden calcular desviaciones muy ligeras de la superficie y ondulaciones en aproximadamente 6.0 m (20 pies) en longitud. Los perfilógrafos son aparatos relativamente baratos, simples de manejar y mantener, y proveen un perfil de la superficie analizada que los usuarios fácilmente pueden entender. Ambos son operados manualmente por una sola persona, a la velocidad normal de caminado; por esta razón no se usan para obtener la regularidad de una red de carreteras, labor que requiere de alta velocidad. Su principal uso ha sido en el control de calidad de construcciones, en los cuales se realizan re-chequeos de los nuevos tramos de pavimentos con defectos y verificar su corrección. Son también muy apropiados para examinar losas de puentes, así como para aquellos trabajos que requieren sólo una distancia corta de perfil (Zevallos G., 2016, pág. 35).

EQUIPOS TIPO RESPUESTA (RTRRMS) Por largos años, la mayoría de los datos de regularidad de los pavimentos de una red fueron obtenidos con vehículos instrumentados con medidores de las irregularidades de las superficies de rodamiento, llamados sistemas de medición de la regularidad de una carretera tipo respuesta (RTRRMS, por sus siglas del inglés “response-type road roughness measuring system”). Los equipos RTRRMS operan a la velocidad normal de circulación de una carretera, estos dispositivos están montados en un vehículo liviano, o en un remolque especial. Los equipos RTRRMS miden los movimientos verticales del eje trasero del automóvil o el eje del remolque respecto al marco del vehículo. De esta manera el equipo mide la respuesta (rebote) del vehículo a la regularidad del camino, por lo que no es realmente una medida verdadera de la lisura de la superficie. (Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008).

Foto ORF 66.- Equipo RTRRMS

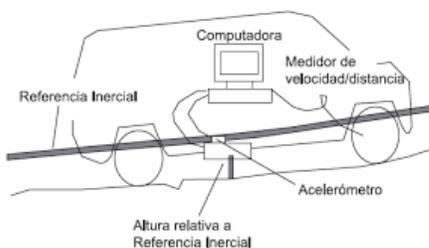


Fuente: Adaptado de “A synopsis on the current equipment used for measuring pavement smoothness”

Por consiguiente, el hecho de que el sistema tipo respuesta dependa de la dinámica del vehículo anfitrión tiene varios efectos no deseados: → Las medidas de regularidad no son estables en el tiempo. → Las medidas de regularidad no son transportables. A pesar de estos y otros problemas asociados con medidores tipo respuesta, han estado funcionando durante los últimos 50 años y aún con el advenimiento de otros perfilógrafos, gran cantidad de agencias de carreteras los siguen usando. (Zevallos G., 2016, pág. 36).

PERFILÓMETRO INERCIAL: El Perfilómetro inercial es un equipo de alto rendimiento que producen medidas automáticas y de alta calidad del perfil del camino; concebidos especialmente para el análisis de la regularidad superficial de la carretera, tanto longitudinal como transversal, superando la calidad y precisión a cualquier equipo tradicional. Estos equipos producen medidas continuas del perfil longitudinal a altas velocidades a través de la creación de una referencia inercial, integrado por acelerómetros colocados en el vehículo los cuales permiten obtener el movimiento vertical del mismo y sensores de “no contacto” (por ejemplo, dispositivos láser infrarrojos) utilizados para medir el desplazamiento relativo entre el vehículo y la superficie del pavimento.

Foto ORF 67.- Equipo RTRRMS



Fuente: Adaptado de “A synopsis on the current equipment used for measuring pavement smoothness”

Las mediciones son independientes de cualquier variación en el peso y velocidad del vehículo, temperatura, color y textura del pavimento. Generan el perfil longitudinal del camino en tiempo real y sobre todo tienen la ventaja de realizar las mediciones a altas velocidades, facilitando la obtención de datos en una determinada vía. (Badilla, Elizondo, & Barrantes, 2008).

RUGOSIMETRO MERLÍN: En el Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) se estudió y perfeccionó el Rugosímetro MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation). El MERLIN es un equipo de bajo costo, fácil de

operar y su método de análisis es simple; sus resultados son confiables debido a que está basado en el principio del Perfilómetro estático.

La determinación de la rugosidad con el Rugosímetro Merlín está sustentada en apreciar la desviación del terreno frente a una cuerda promedio, el Merlín mide el desplazamiento vertical entre la superficie de la vía y el punto intermedio de una línea imaginaria (valor constante). Este desplazamiento se conoce como “desviación respecto a la cuerda promedio” (Reyes B, 2020, pag.17)

Se debe tomar 200 observaciones respecto a la cuerda promedio de forma consecutiva a lo largo de la vía considerando un intervalo de longitud constante entre cada medición. El equipo nos da como condición que a mayor rugosidad será mayor la variabilidad de los desplazamientos. Al definir el histograma de distribución de frecuencias de las mediciones, será posible medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarlas con la escala estándar de la rugosidad (ver Figura 4). Rango estadístico “D” es el parámetro que establecerá la magnitud de la dispersión, este será determinado después de la depuración del 10% de la muestra (10 en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades Merlín”, (Reyes B, 2020, pag.17).

Foto ORF 68.- Rugosímetro MERLIN



Fuente: Elaboración propia