

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Trabajo de Integración Curricular

Tema: Evaluación del IRI de campo de una vía rural (Caso de estudio Av. Pichincha (Ayora)
hasta Galo Plaza Laso (Ibarra))

AUTOR:

Acosta Ortega Sarhuet Antonio

Jaramillo Pazos William Andrés

TUTOR: Ing. Verónica Arellano

QUITO DM, JUNIO 2023

Tabla de contenido

CAPÍTULO I	9
1.1 Introducción	10
1.2 Objetivos	11
Objetivo general:.....	11
Objetivos específicos:	12
1.3 Alcance.....	12
1.4 Hipótesis.....	12
1.5 Planteamiento del problema	12
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO	13
2.1 Rugosidad de caminos.....	14
2.2 Definición del IRI.....	16
2.3 Equipos para medir la rugosidad superficial de los pavimentos	16
2.4 Tipos de Pavimentos	21
2.4.1 Pavimentos flexibles	21
2.4.2 Pavimentos rígidos.....	21
2.4.3 Deterioro del pavimento	22
2.5 Tipos de fallas	22
2.6 Modelos Matemáticos	25
2.6.1 Modelo matemático del cuarto de un auto.....	25

2.6.2 Estimación de intervalos mediante una distribución estadística ‘t’	26
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	29
3.1 Calibración del equipo ROMDAS atreves del MERLIN.....	30
3.2 PROCEDIMIENTO PARA UTILIZAR MERLIN	31
3.3 Cálculos para determinación IRI en función del MERLIN.....	32
3.4 Sistema ROMDAS V 2.0 como sistema de medición de rugosidad	33
3.4.1 Principio de uso.....	33
3.4.2 Instalación	33
3.5 Calibración	39
3.5.1 Preparación del vehículo.....	39
3.5.2 Selección del tramo de calibración para la rugosidad.....	39
3.5.3 Calibración del sensor de distancia y velocidad	40
3.5.4 Calibración del rugosímetro (Bump integrator).....	41
3.6 Cálculo de la Ecuación de calibración	42
CAPITULO IV.....	44
4.1 Resultados de calibración odómetro	45
4.2 Recolección datos para la calibración MERLIN.....	50
4.3 Recolección datos para calibración con ROMDAS.....	65
4.4 Medición Rugosidad vía Ayora-Ibarra.....	72
4.4.1 Recolección de datos.....	72
4.4.2 Proceso de datos.....	74

4.4 Análisis de resultados.....	77
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
Conclusiones	81
Recomendaciones.....	82
BIBLIOGRAFÍA:	84
ANEXOS	88

Tabla de contenidos: Imágenes

Imagen 1 Valores referenciales IRI	16
Imagen 2 Perfilógrafo	17
Imagen 3 Bump Integrator	17
Imagen 4 Perfilómetro manual.....	17
Imagen 5 Aparato Dipstick	18
Imagen 6 Perfilómetro laser.....	18
Imagen 7 Perfilómetro laser.....	19
Imagen 8 Utilización dipstick	20
Imagen 9 Esquema básico del equipo MERLIN.....	21
Imagen 10 Asfalto fallando por baja temperatura.....	23
Imagen 11 Asfalto claramente agrietado	24
Imagen 12 Grieta en el borde.....	24
Imagen 13 Un bache en una vía de asfalto.	25
Imagen 14 Ejemplificación de modelo de ¼ de carro	26
Imagen 15 Distribución t	27
Imagen 16 Regresión lineal	28

Imagen 17 Descripción del MERLIN	31
Imagen 18 Marca en la rueda MERLIN	31
Imagen 19 Vitara 2014.....	34
Imagen 20 Equipo recolección de datos	34
Imagen 21 Screw in sensor	35
Imagen 22 Equipo Medidor Rugosidad (BI)	36
Imagen 23 Conexión BI en el eje trasero del carro.....	37
Imagen 24 Menú principal del programa.....	38
Imagen 25 Ingreso de datos para medición ROMDAS	41
Imagen 26 Inicio de la toma de datos en ROMDAS	43
Imagen 27 Tramo de calibración odómetro	45
Imagen 28 Medición calibración en campo	45
Imagen 29 Primera medición (odómetro).....	46
Imagen 30 Segunda medición (Odómetro).....	46
Imagen 31 Tercer factor corrección (odómetro).....	47
Imagen 32 Cuarta medición (odómetro).....	47
Imagen 33 factor ajuste odómetro.....	48
Imagen 34 Medición MERLIN (Av. El Inca).....	51
Imagen 35 Vía El Inca utilizada para calibración.....	51
Imagen 36 Medición MERLIN (Jorge Drom)	52
Imagen 37 Vía Av. Jorge Drom utilizada para calibración	52
Imagen 38 Medición MERLIN (Av. República).....	53
Imagen 39 Vía Av. República utilizada para calibración	53
Imagen 40 Medición MERLIN (Galo Plaza Lasso, tramo1)	54
Imagen 41 Vía Av. Galo Plaza Lasso (tramo 1) para calibración.	54

Imagen 42 Vía Agustín Guerrero utilizada para calibración.	55
Imagen 43 Vía Agustín Guerrero utilizada para calibración.	55
Imagen 44 Medición MERLIN (Av. Amazonas)	56
Imagen 45 Vía Av. Amazonas utilizada para calibración.....	56
Imagen 46 Medición MERLIN (Av. Colón).....	57
Imagen 47 Vía Av. Colón utilizada para calibración.....	57
Imagen 48 Medición MERLIN (Mango Inga).....	58
Imagen 49 Vía Mango Inga utilizada para calibración.....	58
Imagen 50 Medición MERLIN (Simón Bolívar).....	59
Imagen 51 Vía Av. Simón Bolívar para calibración.....	59
Imagen 52 Medición MERLIN (Galo Plaza, Sector Parque Recuerdos).....	60
Imagen 53 Vía Galo Plaza (Sector Parque Recuerdos) utilizada para calibración.....	60
Imagen 54 Medición MERLIN (Juan Gonzales).....	61
Imagen 55 Vía Juan Gonzales utilizada para calibración.	61
Imagen 56 Juan Gonzales utilizada para calibración.	62
Imagen 57 Calibración con equipo ROMDAS por diferentes vías de calibración.....	65
Imagen 58 Calibración con equipo ROMDAS por diferentes vías de calibración.....	65
Imagen 592 Tramo seleccionado para medición IRI	72
Imagen 60 Preparación vehículos para medición vía Ayora-Imbabura.....	72
Imagen 61 Inicio vía medición (Ayora).....	73
Imagen 62 Medición Rugosidad en el caso de estudio	73
Imagen 63 Fin vía medición (Imbabura)	74

Tabla de contenidos: Tablas

Tabla 1 Índice serviciabilidad	14
Tabla 2 Equipos para medir la rugosidad	17
Tabla 3 Calibración Odometro.....	48
Tabla 4 Valores críticos para los intervalos de confianza.....	50
Tabla 5 BI obtenidos de 1 pasada por tramo de calibración	66
Tabla 6 BI (400m) de las 5 pasadas de cada vía calibración	66
Tabla 7 BI (1000) de las 5 pasadas de cada vía calibración	67
Tabla 8 Verificación estadística de los BI, si pasan o no las calibraciones.	69
Tabla 9 Ejemplo de corrección de IRI	75
Tabla 10 Valores del IRI y PSI de la vía Ayora por tramos.	77
Tabla 11 Clasificación AASHTO vías de calibración	78

Tabla de contenidos ecuaciones

Ecuación 1.....	15
Ecuación 2.....	27
Ecuación 3.....	28
Ecuación 4.....	28
Ecuación 5.....	32
Ecuación 6.....	42
Ecuación 7.....	42
Ecuación 8.....	49
Ecuación 9.....	50
Ecuación 10.....	71

Tabla de contenidos: Gráficas

Gráfica 1 Relación entre rugosidad IRI MERLIN vs BI ROMDAS	71
Gráfica 2 Tramo seleccionado para medición IRI	76

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

La estructura vial es vital en la sociedad, ayuda tanto al comercio como a la economía de esta. En varios países del mundo se tiene como gran prioridad el tener estructura vial de primer nivel con el fin de poder tener una conexión entre todos los estados o provincias. Se han desarrollado un sin número de sistemas que tienen como principal objetivo optimizar los recursos para lograr que los caminos cumplan su función eficientemente al máximo de su capacidad. El principal elemento de la infraestructura vial son los pavimentos, la rugosidad es uno de sus indicadores que ha ganado importancia en los últimos años. Es por esto la necesidad de medir el estado actual de un pavimento (rígido o flexible) con el fin de determinar mediante el IRI (Índice de Rugosidad Internacional) el cual se estableció como una escala única de rugosidades. Por otro lado, cabe recalcar que una carretera no depende únicamente de la regularidad de la superficie, sino también de la capacidad de la estructura de sus capas para soportar peso (Bucheli y Jaramillo, 2005).

Desde el imperio romano, se han construido caminos y carreteras para establecer comunicaciones entre las civilizaciones, lo cual ha ayudado al avance tecnológico, económico y científico de la sociedad. La evidencia que permanece hoy en los caminos pavimentos desde el imperio romano sugiere que la rugosidad es un factor importante en los trayectos antiguos ya que se caracterizan por tener una alta rugosidad en las mismas, por lo que con la invención del auto a motor se superó la velocidad de viajar a caballo o carreta y esto influyo de manera directa al mantenimiento de las vías y creación de vías más lisas.

En esos años los primeros aparatos para medir la rugosidad era un intento de perfilógrafo, el cual representa un histograma de la superficie de una vía, era uno de los primeros métodos para medir la rugosidad, pero viendo que para el operador se complicaba ya que tenía que arrastrar un bote se cambió al mismo aparato, pero con ruedas. Existió dos aparatos el perfilógrafo liso deslizante y el de ruedas, medía el número de ondas sin embargo en casos en los cuales se

presentaban longitudes de onda largas no producía ninguna medición, dando como resultado un análisis erróneo. Dado que se presentaban obvias y grandes desventajas, a lo largo se fue implementando mejoras las cuales promovieron mayores facilidades y resultados mucho más exactos. Ahora bien, se adaptaron ruedas, en el año 1920 se construyó un prototipo en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, comprobando la teoría de que, al tener una serie de ruedas para establecer un plano de referencia para medir las variaciones de la vía, la rugosidad era la media de la desviación de la rueda del centro (Bucheli y Jaramillo, 2005).

Por otro lado, también existe el mecanismo de medida era el “**chloe**” desarrollado por la AASHO, es un remolque a velocidad baja apoyado sobre dos llantas, lo que se registraba era la “variación de la cuesta” que se expresa como in/millas. En 1960 se desarrolló dispositivos capaces de medir las propiedades de una vía en un vehículo en movimiento, a estos se los llamo SMRR, Sistema de Medición de Rugosidades por Reacción, pero existiendo un problema de que los resultados no son tan fiables ya que al tomar datos con dos rugosímetros diferentes los resultados no eran los mismos ya que existe una diferencia dinámica de vehículos y condiciones, en la calibración del dispositivo, gracias a este problema se comenzó el desarrollo del famoso Índice de rugosidad Internacional, creando correlaciones entre cada método de medición de la rugosidad con parámetros globales, esto dio paso a la IRRE(Internacional road roughness experiment) que reunió a varios institutos de carretera de varios países para crear el IRI (Bucheli y Jaramillo, 2005).

1.2 Objetivos

Objetivo general:

Evaluar el estado de una vía rural bajo el parámetro del índice de rugosidad internacional (IRI) con el equipo ROMDAS en el caso de estudio en la vía Av. Pichincha (Ayora) hasta Galo Plaza Laso (Ibarra).

Objetivos específicos:

- Determinar una ecuación de calibración para la rugosidad relacionando los datos de los equipos ROMDAS y el MERLIN.
- Evaluar los resultados y recomendar posibles soluciones con el fin de que se informe a las autoridades correspondientes la información para tomar las acciones respectivas.

1.3 Alcance

Este proyecto de disertación tiene como alcance evaluar el estado de una vía rural bajo el IRI con el equipo ROMDAS en un caso de estudio particular que es la vía desde Av. Pichincha (Ayora) hasta Galo Plaza Laso (Ibarra). Primero calibrando la máquina con otro equipo de medición llamado el rugosímetro de MERLIN, después obtener los datos con el aparato ROMDAS para proponer alternativas y posibles soluciones al problema de la vía, principalmente va dirigido a que la información se la use en una planificación vial para el país.

1.4 Hipótesis

La evaluación del IRI en campo en la vía Av. Pichincha (Ayora) hasta Galo Plaza Laso (Ibarra) usando el software ROMDAS, dará como resultados del estado de la misma calificando este resultado como muy buena, buena, regular, mala y muy mal.

1.5 Planteamiento del problema

La presente investigación pretende encontrar el Índice de rugosidad internacional, utilizando el equipo ROMDAS y calibrándolo con otro método para evaluar la rugosidad que en este caso es el MERLIN, analizar los resultados y dar recomendaciones para mejorar el tramo en el caso de estudio que se está realizando. La vía en estudio va desde la Av. Pichincha (Ayora) hasta Galo Plaza Lasso (Ibarra), cuenta con 36.800 Km de longitud. Las características del tipo de vía es asfaltada, se considera una vía rural y que cuenta con viviendas alrededor de tipo agrícola.

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1 Rugosidad de caminos

Medir el estado de un pavimento es un proceso complejo, ya que siempre varía dependiendo de los parámetros que se están evaluando, por lo cual de manera general existe dos ámbitos de análisis la situación estructural y la funcionalidad de la superficie.

Según AASHTO (1993), investigadores establecieron ideas básicas sobre las condiciones de un pavimento:

- El confort y seguridad son fundamentales para el pavimento.
- El confort depende de la percepción de cada usuario.
- PSR (Present Serviciability Rating): Este parámetro representa la servicialidad, que es la percepción del usuario al circular por un pavimento.
- PSI (Present Serviciability Rating): Este parámetro representa las características físicas del pavimento, se considera evaluaciones objetivas.

Calificación de la serviciabilidad

El estudio para realizar la serviciabilidad, se selecciona un grupo de personas para evaluar la vía por tramos, y cada uno da su opinión de este, en la norma AASHTO (1993), existen rangos para determinar el estado de la vía.

Tabla 1 Índice serviciabilidad

Índice de serviciabilidad (PSI)	Calificación
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mala
1-0	Muy mala

Fuente: Guide for Design of Pavement Structure, AASHTO (1993).

Según Ventura (2005), los parámetros que más afectan a la serviciabilidad son los baches, las grietas, la pérdida de material, en consecuencia, se encontró una correlación entre la rugosidad del perfil de la vía con la serviciabilidad, por lo que existen ecuaciones que para encontrar el PSI es necesario conocer las irregularidades del terreno y su rugosidad.

La AASTHO (1993), presenta ecuaciones tanto para pavimento rígido como flexible y así determinar el valor de PSI, en función de la varianza del perfil (rugosidad), grietas. En la actualidad ya no se utiliza la varianza del perfil, más bien se correlaciona las medidas de cada aparato con el IRI. Como la siguiente ecuación:

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

Ecuación 1

Fuente: Dujisin (1995)

IRI (Índice de Rugosidad Internacional)

Este es un indicador para medir la irregularidad del pavimento, en base entre un perfil longitudinal teórico y real. Empezando desde el número 0 el cual considera en perfectas condiciones, pero solo visto de manera teórica, ya que en la práctica nunca se va a llegar a ese valor. Se debe tener algunos aspectos en cuenta en el análisis del IRI que son:

- El IRI es una medida independiente del aparato con la que se mida, ya que cada aparato tiene sus unidades particulares para medir las irregularidades
- La escala IRI es proporcional a que tan regular es la vía longitudinalmente
- Cada equipo tiene su método de valorar y realizar las medidas por lo tanto su precisión varía con que se mide (Moyano, 2020).

2.2 Definición del IRI

Según Moyano (2020), para definir la escala y unidades para el IRI, se utilizó conceptos de dinámica, para modelar un sistema que simula la cuarta parte de un vehículo con su sistema de masas y resortes, tema que se explica más adelante.

De esto, el autor Sayers (1995) menciona que *“El IRI es la acumulación del movimiento entre la masa amortiguada y la no amortiguada, cuando se simula el paso del modelo del cuarto de carro, normalizado por el largo del perfil”*

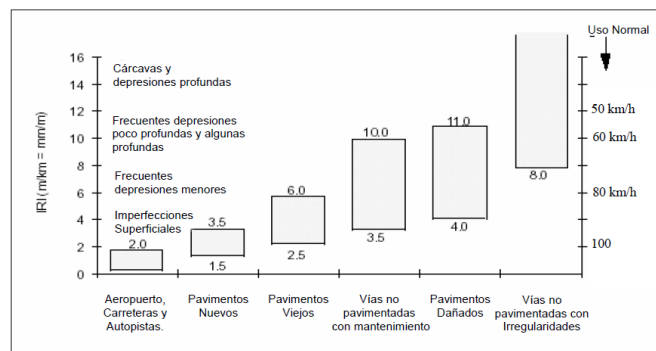


Imagen 1 Valores referenciales IRI




Fuente: Ventura. J (2005). Determinación del índice de regularidad internacional. Escala de condición pavimentos


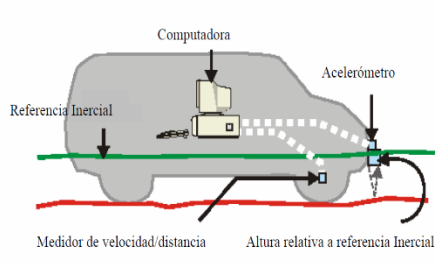
En la imagen 1, se puede apreciar el índice establecido el IRI, considerando el estado de la vía, se asigna un valor desde el 0 hasta el 16, en función del tipo de vía analizada y también de la velocidad máxima establecida.

2.3 Equipos para medir la rugosidad superficial de los pavimentos

Para Ventura (2005), existen algunos equipos para medir la rugosidad en una vía, tales como:

Tabla 2 Equipos para medir la rugosidad

Equipo	Precisión	Descripción	Gráfico ejemplo
Perfiló grafos	Media	Equipos que se desplazan a través de la vía, y registran los desniveles respecto de un plano de referencia, con una rueda generalmente que tiene libertad de movimiento vertical	 <p>Imagen 2 Perfilógrafo Fuente: Ventura, J. (2005) Determinación del Índice de regularidad internacional.</p>
SMRR (Sistema de Medición de Rugosidades por Reacción calibrado)	Media	Equipos que se conectan a un automóvil y que sirve para recolectar datos con mayor velocidad, la desventaja es que los resultados nunca son iguales porque influyen muchos factores	 <p>Imagen 3 Bump Integrator Fuente: Acosta.S, Jaramillo.W (2023)</p>
Perfilómetro manual	Alta	Recolección de datos en tiempo muy lento, pero de gran precisión, obtiene una medida exacta del perfil	 <p>Imagen 4 Perfilómetro manual Fuente: Tecmicro (2019). Rugosímetro-perfilómetro portátil</p>

<p>Dipstick</p>	<p>Alta</p>	<p>Es un inclinómetro que mide las alturas respecto de un apoyo relativo, el aparato te proporciona una cantidad pequeña de medidas, normalmente se usa para calibrar otros aparatos</p>	 <p>Imagen 5 Aparato Dipstick Fuente: Zelaya, R (2019). Desarrollo de la metodología para la medición del IRI</p>
<p>Perfilómetro láser</p>	<p>Alta</p>	<p>Estos aparatos producen medidas de alta calidad y a gran velocidad, debido que se coloca acelerómetros (sensores) que no se tiene contacto con el suelo y mide el desplazamiento relativo del vehículo</p>	 <p>Imagen 6 Perfilómetro laser Fuente: Ventura, J. (2005). Determinación del índice de regularidad internacional</p>

La importancia de calibrar el equipo con el que se va a hacer la medición, es tener más precisión con los resultados obtenidos, recolectando los datos desde diferentes tipos de aparatos los cuales capten la información requerida, se tendrán distintos rangos de rugosidades posibles

para la inspección futura. Se debe tener en cuenta algunos aspectos para tomar las mediciones del aparato para calibrar (Bucheli y Jaramillo, 2005):

- Los tramos tienen que ser entre 400-450m de longitud.
- Geometría constante, para asegurar una velocidad constante.
- Evitar exceso de fallas para evitar una mala representación.
- Identificar el paso de la huella de los vehículos.

Tipos de equipos para calibración

Existen varios equipos con diferentes técnicas para obtener la rugosidad, con los que se puede encontrar los rangos de valores del IRI, en la cotidianidad se utilizan los equipos más sencillos como perfiles estáticos, equipos dinámicos de precisión. Que son equipos que tienen avances en corto tiempo (Rodríguez, Torres y Villeda ,2019).

Mira y nivel topográfico

Esta forma es la más precisa para medir el perfil longitudinal, consiste en una mira graduada de precisión con un nivel topográfico para determinar en el perfil de la huella sus niveles. Sus ventajas son: es accesible, barato, muy preciso; sus desventajas son: Requiere mucho esfuerzo y tiempo, se recorren distancias cortas en cada medición (Rodríguez, Torres y Villeda ,2019).



Imagen 7 Perfilómetro laser

Fuente: Nivel óptico Leica geosystem serie NA700 Infoagro. (s.d).

Dipstick: Consiste en un aparato que se inclina que tiene apoyos separados de 300mmn el cual lleva un acelerómetro dentro y se utiliza con una computadora, con la inclinación y separación se conoce la diferencia de altura, que se calcula automáticamente en la computadora. Sus ventajas: más eficiente que otros aparatos, su bajo costo, y su simple operación: sus desventajas son: lentitud, aplica a secciones cortas ya que se realiza aproximadamente 250m/h Rodríguez, Torres y Villeda (2019).



Imagen 8 Utilización dipstick

Fuente: Ventura. J. (2005). Determinación del índice de regularidad internacional

Machine for Evaluating Roughness using low-cost instrumentation (MERLIN), es un equipo que consiste en una estructura metálica, para facilidad de toma de mediciones se tiene una rueda al frente del equipo y en la parte de atrás un apoyo para equilibrar el aparato, y un apoyo oscilante central, este se conecta a un brazo en su extremo superior donde se tiene una punta en la parte superior sobre un tablero de metal, este pivot registra desviaciones en una escala predeterminada, si es 1mm en la vía, en la punta superior se registra una medida de 10, donde las mediciones se realizan cada vuelta de la rueda hasta completar la distancia de 400m (Rodríguez, Torres y Villeda ,2019).

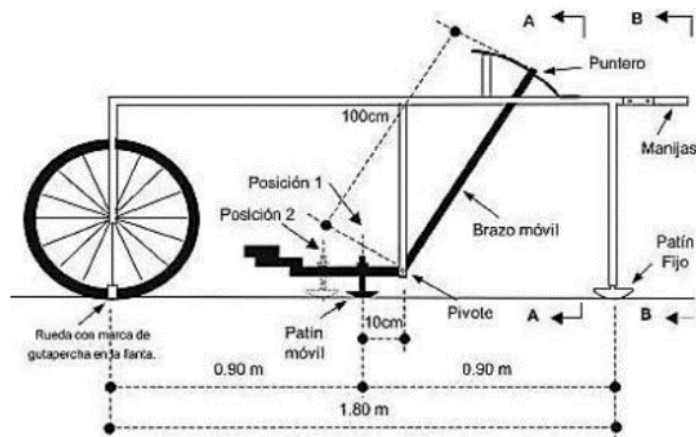


Imagen 9 Esquema básico del equipo MERLIN

Fuente: Zelaya, R (2019). Desarrollo de la metodología para la medición del IRI

2.4 Tipos de Pavimentos

2.4.1 Pavimentos flexibles

Según Pérez (2021), los pavimentos flexibles son conocidos por la capacidad de la adaptación a los cambios de temperatura extremos, así como las cargas de tráfico que estas sufren. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente por capas de asfalto y materiales granulares, y se utiliza comúnmente en carreteras de bajo y medio volumen de tráfico.

La capacidad de los pavimentos flexibles para soportar cargas de tráfico y cambios de temperatura se debe en gran parte a la capacidad de las capas de asfalto para deformarse y absorber la energía de las cargas. Esta flexibilidad también ayuda a reducir la aparición de grietas y otros tipos de daño en la superficie de la carretera. (Pérez, 2021)

En general, los pavimentos flexibles son una opción común y eficaz para construir carreteras y calles en una amplia variedad de entornos y condiciones. (Pérez, 2021)

2.4.2 Pavimentos rígidos

El pavimento rígido es un tipo de superficie de carretera que se caracteriza por su resistencia a las cargas de tráfico y cambios de temperatura. Este tipo de pavimento está

compuesto principalmente por losas de concreto, que se colocan sobre una base de material granular y suelen ser de mayor espesor que los pavimentos flexibles (Pérez, A. 2021).

La rigidez de este pavimento proviene de la capacidad del concreto para soportar cargas de tráfico sin deformarse significativamente, lo que lo hace adecuado para carreteras y calles con un alto volumen de tráfico y cargas pesadas, como camiones y autobuses. Además, los pavimentos rígidos también pueden resistir mejor la acción del clima y el agua que los pavimentos flexibles (Pérez, A. 2021).

Sin embargo, los pavimentos rígidos pueden ser más costosos y difíciles de construir que los pavimentos flexibles, tienen una vida útil más larga y requieren menos mantenimiento a largo plazo, lo que puede ser beneficioso en zonas de alto tráfico o donde las condiciones climáticas son extremas. (Pérez, A. 2021).

2.4.3 Deterioro del pavimento

Según Pérez (2021) los pavimentos tanto rígidos como flexibles tienen un tiempo de vida estimado, lo cual dependerá de diversos factores. Puede que tengan malformaciones, defectos en su instalación, entre otros. Estas fallas pueden llegar a ocasionarse debido a la carga y a condiciones propias de la estructura del pavimento. También se tiene en cuenta las condiciones climáticas de la zona.

Teóricamente, el asfalto es un material impermeable por lo que no deben existir ningún tipo de filtración a la base o la subbase del pavimento, sin embargo, esto ocurre, y el agua presenta elementos tales como el oxígeno y compuestos que pueden originar cambios en las propiedades fisicoquímicas del asfalto. (Pérez, 2021)

2.5 Tipos de fallas

Existen tipos de fallas en los pavimentos flexibles, por lo cual Geotexan (2019) considera que son las siguientes:

- **Por baja temperatura**

Se considera este como el deterioro más común de todos, se caracteriza por tener fisuras transversales que se producen a lo largo de la capa asfáltica. Estas fisuras no se deben a las cargas por tránsito, si no por debido a que la carpeta asfáltica se contrae a bajas temperaturas y esto origina esfuerzos de tensión dentro de la carga, y por tanto a lo largo de la carpeta asfáltica se excede la resistencia a la tensión, y la misma se fisura (Grupo Bitafal, 2020)



Imagen 10 Asfalto fallando por baja temperatura.

Fuente: Grupo Bitafal (2020)

- **Por fatiga o piel de cocodrilo**

Un tipo de deterioro por el cual se considera frecuente es aquellas que ocurren en la huella donde las cargas pesadas se aplican. La aparición de fisuras longitudinales intermitentes a lo largo de la huella es debido a la fisuración por fatiga. Este tipo de deterioro cuando llegan a unirse suelen conocerse como piel de cocodrilo. Esto crea que las fisuras vayan derivando en baches cada vez más grandes. Si bien esto ocurre por el envejecimiento natural del asfalto, también ocurre cuando las cargas impuestas superan al cálculo previsto (Grupo Bitafal, 2020).



Imagen 11 Asfalto claramente agrietado

Fuente: (Grupo Bitafal, 2020)

- **Grietas de borde**

Se crean paralelas al eje de la vía. Este daño acelera por el debilitamiento de la subrasante o de la base (Grupo Bitafal, 2020).



Imagen 12 Grieta en el borde.

Fuente: (Grupo Bitafal, 2020).

- **Baches**

Finalmente, la falla más común los baches ocurre cuando el pavimento ha llegado a una vida útil máxima y no ha tenido mantenimiento correspondiente, se generan por el desgaste natural del pavimento. (Allstate Insurance Company, 2019)



Imagen 13 Un bache en una vía de asfalto.

Fuente: Allstate Insurance Company (2019)

2.6 Modelos Matemáticos

2.6.1 Modelo matemático del cuarto de un auto

Según Ventura (2005), el modelo del cuarto carro, parte de conceptos de sistemas dinámicos, básicamente este sistema es la representación de $\frac{1}{4}$ del carro considerando la masa del vehículo los amortiguadores del carro y la masa de la llanta, y representando algunos componentes como resortes que, son la rigidez entre el peso del carro a su llanta y entre la llanta y el suelo. Esto se representa como sistemas de amortiguación con masas inerciales que miden los desplazamientos verticales del camino.

Para definir el IRI, se tomó en cuenta el sistema, ya que simplifica el problema a un sistema de masas y resortes, y también se representa la superficie de la vía a una línea que representa el perfil longitudinal.

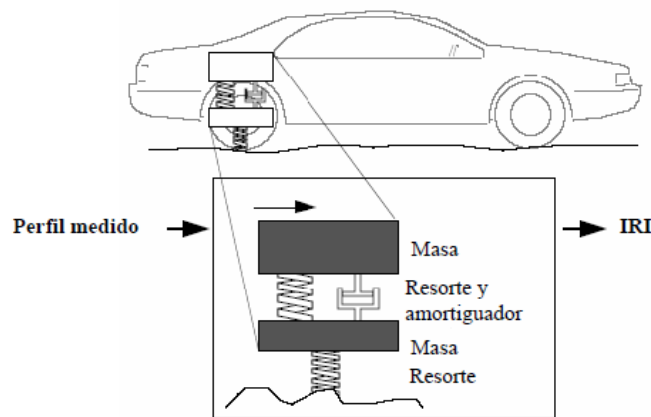


Imagen 14 Ejemplificación de modelo de 1/4 de carro

Fuente: Ventura.J.(2005). Determinación del índice de regularidad internacional

El principio en que se rige este modelo es el de la primera Ley de Newton, un objeto permanece en reposo o si está en movimiento, permanece en movimiento a una velocidad constante, a menos que una fuerza externa actúe sobre el, en este caso la fuerza externa es el perfil de la vía.

2.6.2 Estimación de intervalos mediante una distribución estadística ‘t’

De acuerdo a Anderson (2008), Es importante conocer que es la distribución estadística, ya que en la presente investigación se va a hacer uso de esta para determinar el valor del IRI mediante el aparato MERLIN.

Existen algunas consideraciones a tener en cuenta de esta distribución:

La matemática en este caso supone que la distribución de la población es normal, pero se utiliza cuando la desviación de la población es significativa.

- Depende de un parámetro que se llama “grado de libertad”
- Cada grado de libertad tiene una única distribución t
- A medida que el grado de libertad es mayor se acerca más a la distribución de probabilidad estándar.

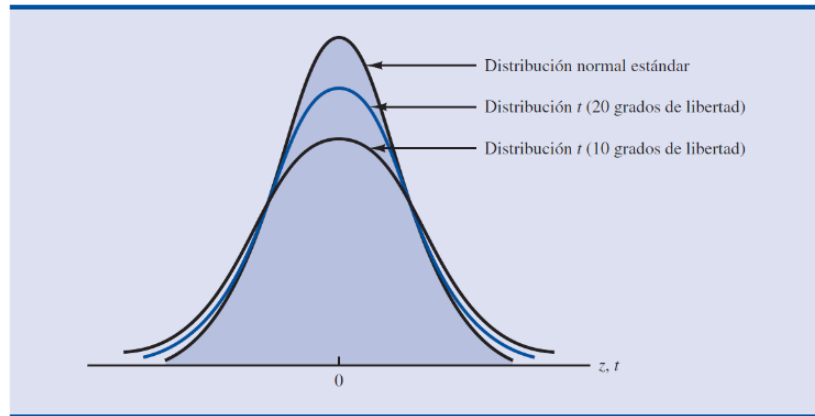


Imagen 15 Distribución t

Fuente: Anderson. (2008). Estadística para administración y economía

Regresión lineal

La regresión lineal, parte de la correlación de datos que básicamente busca relacionar dos variables, se comienza con un diagrama de dispersión de los datos (Lind, 2008).

Coefficiente de correlación (R^2)

Describe la fuerza que tiene la relación entre las variables; si el valor es 0 significa que hay poca asociación entre variables; si el valor es 1 o -1 se tiene una asociación fuerte directa y puede ser inversa, se puede calcular con la sumatoria de la variable en X menos su media multiplicado por la variable en Y menos su media, dividido para número de datos menos 1, multiplicado por la desviación estándar de cada eje (Lind, 2008).

Principio de mínimos cuadrados

Ya conociendo la fuerza entre las variables, existe una forma para realizar una recta con el principio de mínimos cuadrados, que es una ecuación que nace a partir de trazar la línea que son los valores hipotéticos de la abscisa Y con los valores reales, sacando su diferencia y elevando al cuadrado y al final realizar una suma de todas esas diferencias para encontrar una menor dispersión (Lind, 2008).

Su ecuación general es el de una simple recta.

$$Y = a + bX$$

Ecuación 2

Donde:

\hat{Y} : es la estimación de Y

$$b = r \frac{S_y}{S_x}$$

Ecuación 3

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

Ecuación 4

Intersección con la ordenada

Donde:

S_y ; S_x es desviación estándar de cada variable

\bar{X} ; \bar{Y} es la media de variable dependiente e independiente

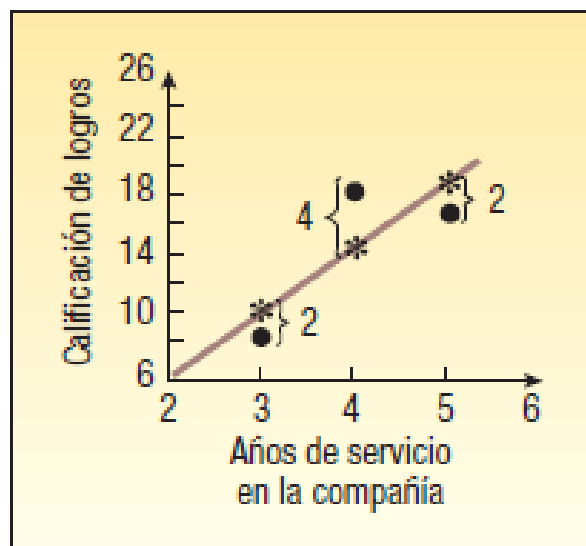


Imagen 16 Regresión lineal

Fuente: Lind. (2008). Estadística aplicada a los negocios y la economía.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Calibración del equipo ROMDAS atreves del MERLIN

Para Álvarez y Rivero (2012), el MERLIN o también llamado perfilómetro estático, fue desarrollado por el (*Transport And Road Research Laboratory*) para poder evaluar la condición de un pavimento y su rugosidad, sin embargo, principalmente su uso fue para aplicarlo a países en vía de desarrollo debido a que tiene un costo muy bajo, su construcción es simple, la calibración y el mantenimiento.

El MERLIN está compuesto por las siguientes partes:

- Tablero
- Manubrio
- Puntero
- Pivote
- Brazo móvil
- Patín fijo
- Una rueda con una marca para contabilizar cada vuelta (72 cm de diámetro)
- El total del largo del Merlin es de 1.90m.

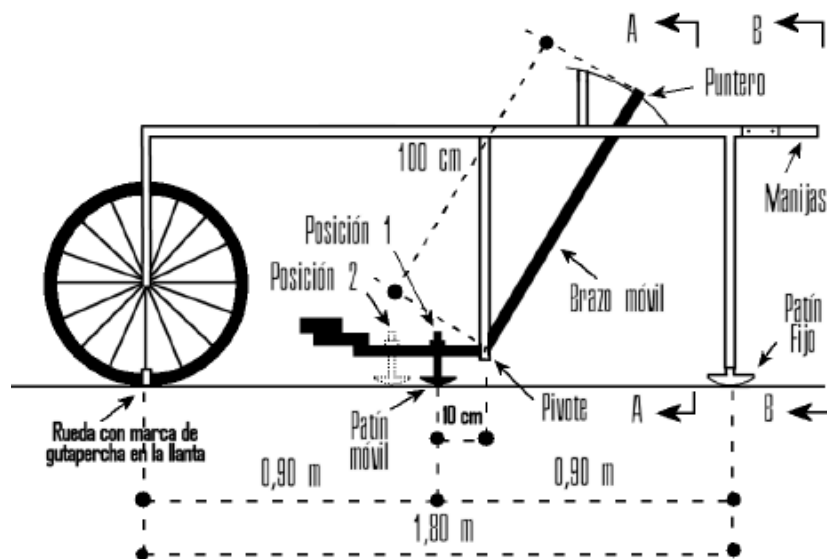


Imagen 17 Descripción del MERLIN

Fuente: Álvarez, S. & Rivero, R. (2012) Instrumento electrónico para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) con base en el perfilómetro estático MERLIN.



Imagen 18 Marca en la rueda MERLIN

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

3.2 PROCEDIMIENTO PARA UTILIZAR MERLIN

La superficie de la vía no debe estar en condiciones deplorables. Se realizarán 400 metros de vías para la respectiva calibración. Sin embargo, el manual de Romdas (2017) recomienda para calibrar el equipo mediante el MERLIN, se deben realizar 11.26 mediciones, en este caso 12 mediciones. Por tanto, es indiferente las vías que se escojan siempre y cuando cumplan los siguientes requisitos:

- Mínimo tener 400 m en un tramo recto.
- La vía NO debe tener baches considerables
- De preferencia ser vías que no sean altamente transitadas. (esto NO es un impedimento al momento de realizar la calibración, sin embargo, es una sugerencia)
- Se realiza durante 185 vueltas, que coincidirán 400 metros. Una vez completada las 185 vueltas, se realizarán 15 vueltas más con el fin de culminar las 200 vueltas. Estas 15 vueltas más, se las realiza en el sentido contrario por el cual se estaba realizando la medida. Esto con el fin de seguir el modelo matemático el cual está representado en un histograma, el mismo que dibujará un histograma representando el estado actual de la huella analizada.
- Una vez que se obtiene el histograma se debe contabilizar el 10% de las “X”, 5% por el lado izquierdo, que equivalen a 10 “X”, y 5% “X” por el lado derecho con el fin de descartar el 10% de la distribución. Con esto, se determina el “D”, es decir el ancho de la campana creada en el histograma. Con esto, se utilizará en la **ecuación #5** para obtener el IRI para los asfaltos, concretos, caminos de piedra y tierra. Esto se debe realizar por cada huella y realizar un promedio.

3.3 Cálculos para determinación IRI en función del MERLIN

$$IRI = 0.593 + 0.0471 * D$$

Ecuación 5

Donde:

IRI: Índice internacional de Rugosidad

D: Diámetro de la campana en milímetros

El IRI debe estar entre comprendido entre $2.4 < IRI < 15.9$

3.4 Sistema ROMDAS V 2.0 como sistema de medición de rugosidad

3.4.1 Principio de uso

Según Manual ROMDAS (2017) “*Road Measurement Data Acquisition System*”, consta un sistema que sirve para recolectar datos en caminos. Las principales funciones del equipo pueden ser estudio rugosidad, inventario vial, tiempo de viaje, movimiento de tráfico, recolección de datos, grabación de vías, estudios de movimiento de tráfico entre otros.

Los aparatos necesarios para la evaluación de la rugosidad en la vía:

- **Rugosidad:** El sistema recolecta información sobre perfiles longitudinales y transversales, para los perfiles longitudinales, se instala un aparato al ROMDAS que transforma los datos de rugosidad originales a rugosidades calibradas por el usuario. Las cuales se pueden obtener para varias velocidades, y esto proporciona facilidad al usuario de operar el vehículo con mayor facilidad y obtener resultados con mejor aproximación a la realidad.
- **Tiempo de viaje:** La máquina tiene la facilidad de realizar varios procesos al mismo tiempo, por lo tanto, mientras se va recolectando la información de la rugosidad graba la distancia de la vía y también el tiempo que se demora, y con esto se puede obtener una aproximación de la velocidad, aceleración durante los tramos de estudio.

3.4.2 Instalación

Vehículo de prueba: Se puede utilizar en cualquier vehículo, en este caso se utiliza un Chevrolet Grand Vitara 2014, el cual tiene un tipo de suspensión “independiente”.



Imagen 19 Vitara 2014

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

En el proceso de instalación consta de dos partes, equipos y software.

Equipo Recolector de datos

Es una máquina recopila los datos de diferentes tipos de mediciones, como la velocidad, distancia, rugosidad, inventario vial, donde toda la información recolectada pasa a través del dispositivo para almacenar los datos en un computador como archivo Microsoft Access.



Imagen 20 Equipo recolección de datos

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Las recomendaciones para el manejo del equipo son:

- Colocarlo en un lugar visible y evitando el piso ya el equipo es pequeño y delicado. Cabe recalcar que existe la opción de instalarlo de manera permanente, pero en este caso es desmontable.

La conexión de cables es:

- Cable del medidor de distancias: este es la interfaz entre el sensor de distancia y velocidad y el equipo de recolección de datos, ubicado dentro del vehículo.
- Cable para medir rugosidad: es la interfaz para registrar los datos del *bump integrator*.
- Cable de energía: Para dar energía al recolector de datos se tiene que conectar el encendedor de cigarrillos.

Sensor de velocidad y distancia

Es esencial conocer la distancia y velocidad en los tramos de estudio, este cable se conecta al velocímetro que tienen los vehículos, su proceso de instalación es primero desarmar el cable del velocímetro de la transmisión, y al final donde se pueda conectar el pin del aparato, conectar el cable al sensor y ajustarlo, dejando el lado plano para conectar en la ranura del final del sensor, conectar al sensor de la caja de cambios y después conectar al equipo de recolección de datos (Manual ROMDAS, 2017).



Imagen 21 Screw in sensor

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Bump Integrator (Rugosímetro)

El equipo recolector de datos tiene dos entradas para medir la rugosidad, se puede usar uno o las dos entradas, se puede utilizar con todo tipo de vehículo.



Imagen 22 Equipo Medidor Rugosidad (BI)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Se instala en la parte trasera del carro, no ocupa mucho espacio, cuenta con un kit de instalación que consiste en una base que se instala en el maletero donde se puede ajustar el aparato con pernos, adicionalmente se puede añadir una tapa de protección para proteger el equipo, el rugosímetro cuenta con un cable que va conectado al eje trasero del vehículo y por el otro lado es el cable que va conectado al recolector de datos.

Para instalar el cable existen varias posibilidades:

- **Suspensión trasera #1 rugosímetro:** Este se conecta a la suspensión para modelar la simulación del cuarto carro, pero solo se va a tener en un lado del vehículo que puede tener variaciones, ya que la medición es sensible por algunos factores, tales como presión de llantas, peso del vehículo, peso del tanque de gasolina, tipo de suspensión, entre otras.

- **Suspensión trasera #2 rugosímetro:** Significa que a cada suspensión trasera se va a realizar un modelo del cuarto carro, obteniendo dos resultados. El promedio de los dos nos da la rugosidad.
- **Eje trasero sólido:** Se considera como un modelo de “medio carro”, ya que se instala el rugosímetro al centro del eje trasero sólido y con los valores transformar al modelo de “un cuarto carro.”

En este caso se va a colocar en el eje del carro, es importante fijar la cuerda en el centroide del eje. Para la instalación es necesario dos personas, mientras uno tiene desenrollado la cuerda e intenta pasar por un agujero hecho en la carrocería, la otra persona está por debajo enganchando la punta del cable al gancho. Para saber que el aparato está en funcionamiento se empuja al carro hacia abajo y se observa que el rugosímetro va girando en función de cuanta fuerza se aplique (Bucheli y Jaramillo, 2005).



Imagen 23 Conexión BI en el eje trasero del carro

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Programa ROMDAS

Es un *hardware* que analiza los datos complementándose con el recolector de datos, se muestra en una computadora compatible con *Windows*, muestra los resultados que se obtiene en tiempo real durante la medición. En la imagen 24 se puede observar el menú de inicio, que contiene diferentes puntos (Manual ROMDAS 2017).

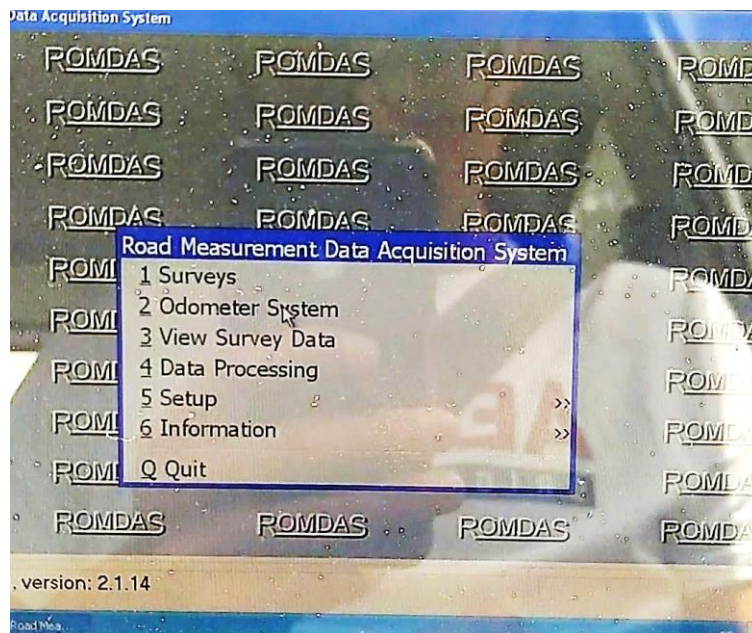


Imagen 24 Menú principal del programa

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Existen varios puntos:

- Survey: Estudios de vías, Localización de puntos, Estudio de rugosidad
- Odometer system: Comprobar el funcionamiento del medidor de distancias
- View Survey Data: Muestra el archivo con los datos obtenidos e información general
- Data processing: Lugar donde se puede ver como procesa los datos y valores que se pueden obtener, para luego ingresar los datos a Microsoft Access
- Setup: Se ingresa las calibraciones del equipo, personaliza la recolección de datos necesaria para el estudio

- Information: Muestra características del software
- Quit: Se sale el programa

3.5 Calibración

3.5.1 Preparación del vehículo

Según (Bucheli y Jaramillo, 2005). Se tiene que considerar algunos aspectos:

- Al momento de operar se tiene que recorrer 5 km ya que los neumáticos tienen que llegar a la presión correcta.
- Se chequea la presión de las llantas para trabajar con la misma con la que se va a realizar el ensayo.
- Considerar que el peso que se va a tener en el ensayo. En el caso analizado en este proyecto de titulación se consideró el carro sin carga y con dos personas (operador del equipo y conductor).
- Tomar en cuenta la cantidad de gasolina al ejecutar los ensayos de rugosidad. En el presente caso el tanque de gasolina se encontraba lleno hasta la mitad.
- La presión de llantas debe mantenerse constante (32 psi) lo largo de todas las mediciones.

3.5.2 Selección del tramo de calibración para la rugosidad

Según (Bucheli y Jaramillo, 2005), el objetivo es tener un rango de varios tipos de rugosidad para utilizarlo más adelante encontrando los coeficientes para calibrar las mediciones en el vehículo.

Se tiene que considerar los mismos tramos seleccionados en la medición de la rugosidad con el MERLIN, pero de igual manera se tiene que considerar algunos aspectos para la calibración.

1. La vía tiene que ser recta y sin mucha pendiente, utiliza los tramos del MERLIN de 400m, se tiene que mantener una velocidad constante antes y después del mismo para asegurarse una medición correcta.
2. Evitar obstáculos considerables como un redondel o curvas muy pronunciadas. El tramo no tiene que contener baches considerables o depresiones muy elevadas.
3. Al momento de seleccionar el tramo marcar con pintura el punto de inicio y el punto de llegada.
4. Considerar 4 tramos de vía que su superficie varíe de manera visible, se debe escoger para un pavimento flexible una vía recién asfaltada de pavimento flexible, otra vía en estado medio y otra vía en pésimo estado; por último, seleccionar una vía que sea de pavimento rígido.

3.5.3 Calibración del sensor de distancia y velocidad

1. Según manual ROMDAS (2017). seleccionar un tramo de calibración al menos 100m (recomendable 300 o más).
2. Se inicia el ROMDAS, vamos a calibración de odómetro.
3. Una vez listo el programa colocar la llanta delantera justo en el inicio del tramo de calibración, una vez listo presionar la barra espaciadora y comenzar con la calibración.
4. Mantener una velocidad constante al momento de la medición hasta que la llanta delantera llegue al punto final del tramo de calibración, volver a presionar la barra espaciadora para detener la calibración.
5. Presionar el botón enter, colocar los metros de calibración realizado y en la pantalla aparece el factor de calibración de la medición, realizar el mismo procedimiento 5 veces como mínimo para determinar la confiabilidad de los resultados.

3.5.4 Calibración del rugosímetro (Bump integrator)

1. Iniciar el Software ROMDAS
2. Seleccionar en el menú principal Survey, e ingresar los datos como nombre de la calle, nombre del archivo y activar el visto para obtener solo el dato de la rugosidad.
3. Cerrar la pestaña de la sección de inventario vial.

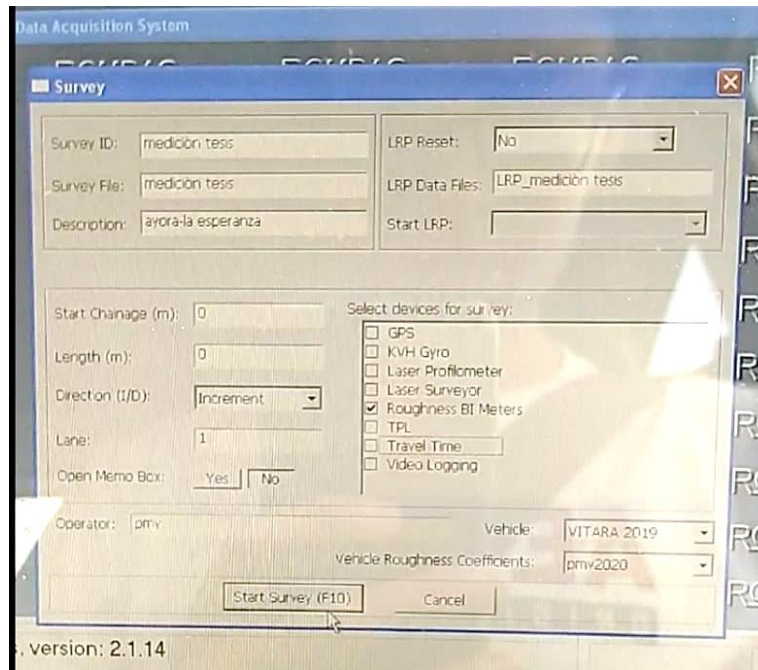


Imagen 25 Ingreso de datos para medición ROMDAS

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

4. Conducir el vehículo a una velocidad constante antes de llegar al tramo seleccionado, cuando se esté encima del punto de inicio, aplastar la barra espaciadora y realizar la medición de la rugosidad a lo largo de todo el tramo de 400m una vez completo la medición parar la recolección de datos
5. Realizar el mismo procedimiento 5 veces por cada vía que se tenga.
6. Los datos que se van a obtener son el promedio de la irregularidad de la superficie en intervalos de cada 100m.

3.6 Cálculo de la Ecuación de calibración

Los datos obtenidos por el BI, solo nos da la variación de la superficie a lo largo de la vía, pero la rugosidad se los da en una unidad de medida unificada, por lo que se tiene que encontrar una expresión que transforme las pulsaciones de rugosidad en rugosidad.

Se utiliza una hoja electrónica para encontrar una función de rugosidad en función de los tramos de 400m. El Software usa como ecuación la siguiente (Bucheli y Jaramillo, 2005):

$$IRI = A0 + A1 \cdot BI^{A2} + A5 \cdot e^{A6 \cdot BI}$$

Ecuación 6

Ecuación general para transformar los BI en unidad de IRI

Donde:

- **IRI:** es la rugosidad calibrada, en unidades de m/Km
- **BI:** Pulsaciones de rugosidad
- **A0 a A6:** Coeficientes que dependen de la regresión

Se puede simplificar la Ecuación hasta utilizar una función lineal que nos permita encontrar valores a partir de datos conocidos. Nos queda una Ecuación, (Bucheli y Jaramillo, 2005):

$$IRI = A0 + A1 \cdot BI^{A2}$$

Ecuación 7

Donde:

- A0 es el punto donde corta con la ordenada, en la regresión lineal
- A1 es el valor que representa la pendiente de la regresión lineal
- A2 como se considera una Ecuación lineal su valor es de 1

Se puede obtener ecuaciones con diferentes velocidades, para utilizarlas en diferentes situaciones, pero en este caso se va a determinar una sola para ir en ese rango de velocidad en el estudio.

Para obtener esta relación se va a utilizar una hoja de Excel donde se relaciona la rugosidad mediada con otra máquina para rugosidad versus los valores de pulsaciones que nos da el ROMDAS.

Donde con los coeficientes se tiene que ingresar al programa.

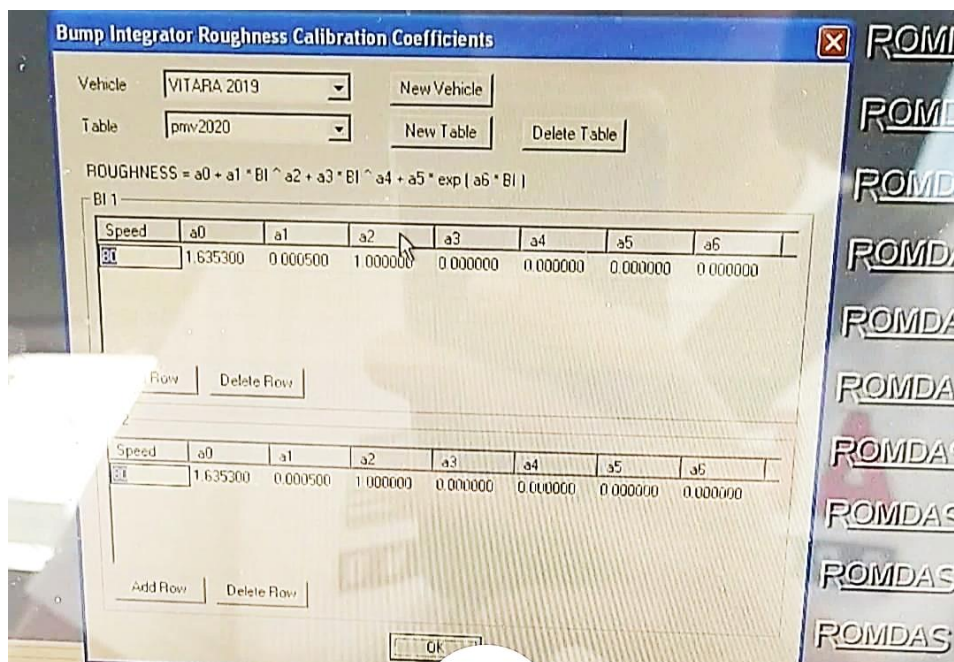


Imagen 26 Inicio de la toma de datos en ROMDAS

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

CAPITULO IV

4.1 Resultados de calibración odómetro

Tramo de calibración

El tramo de calibración seleccionado es de 100m, se encuentra topográficamente referenciado, ubicado en la Panamericana Norte, en el km 4+900 hasta el km 5+000, en el carril sentido sur-norte.



Imagen 27 Tramo de calibración odómetro

Fuente: Google earth (2023)



Imagen 28 Medición calibración en campo

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Resultados de pasadas con el equipo ROMDAS

Primera medición

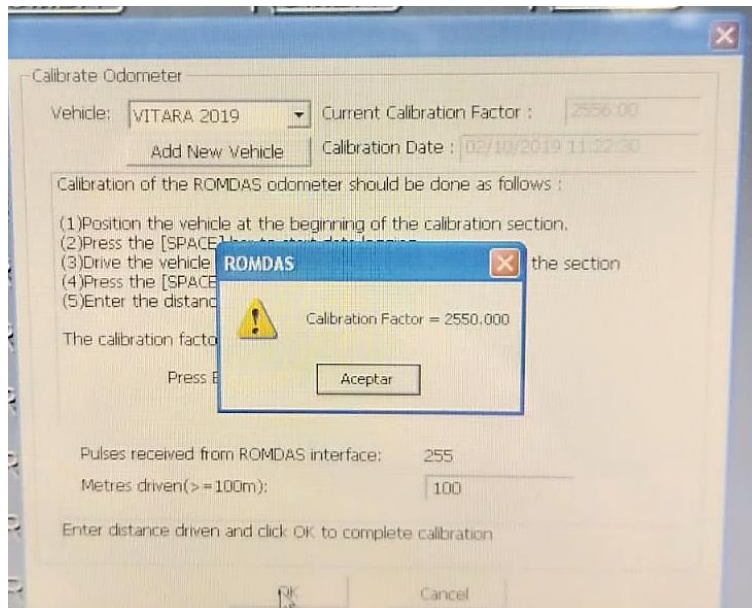


Imagen 29 Primera medición (odómetro)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Segunda medición

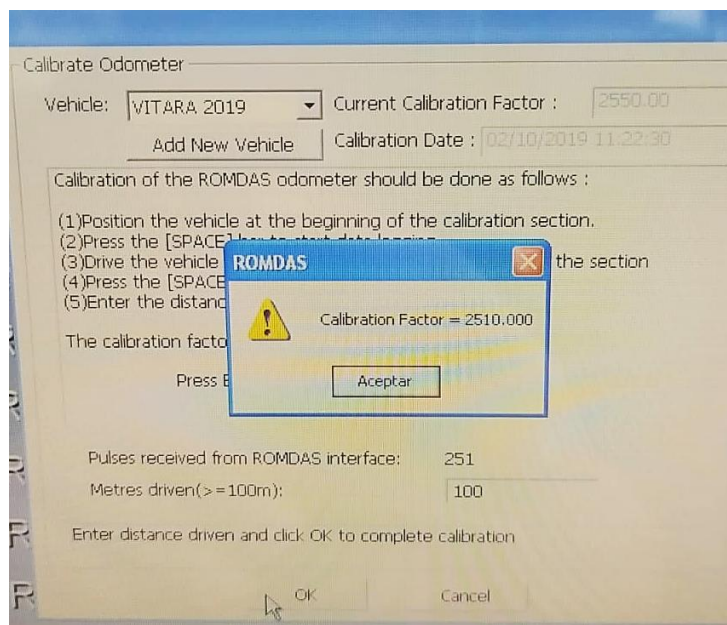


Imagen 30 Segunda medición (Odómetro)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Tercera medición

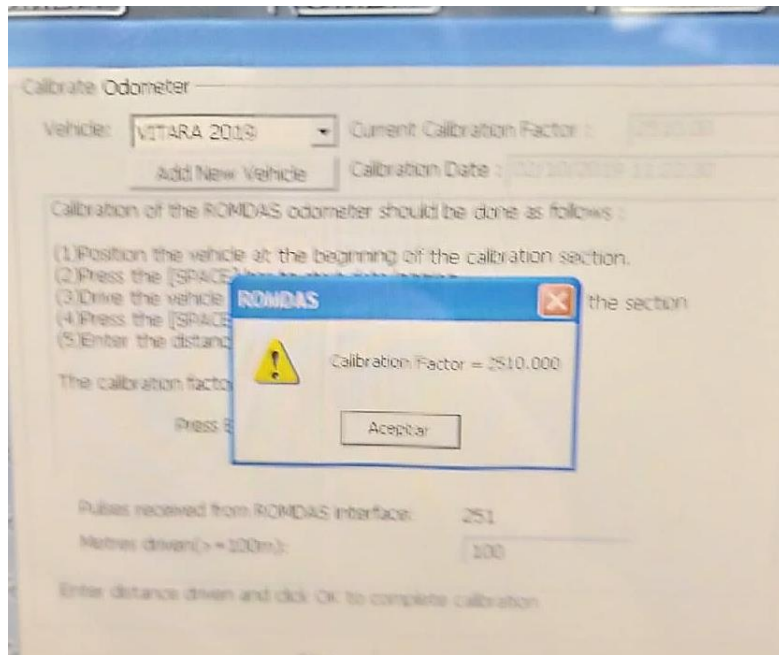


Imagen 31 Tercer factor corrección (odómetro)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Cuarta medición

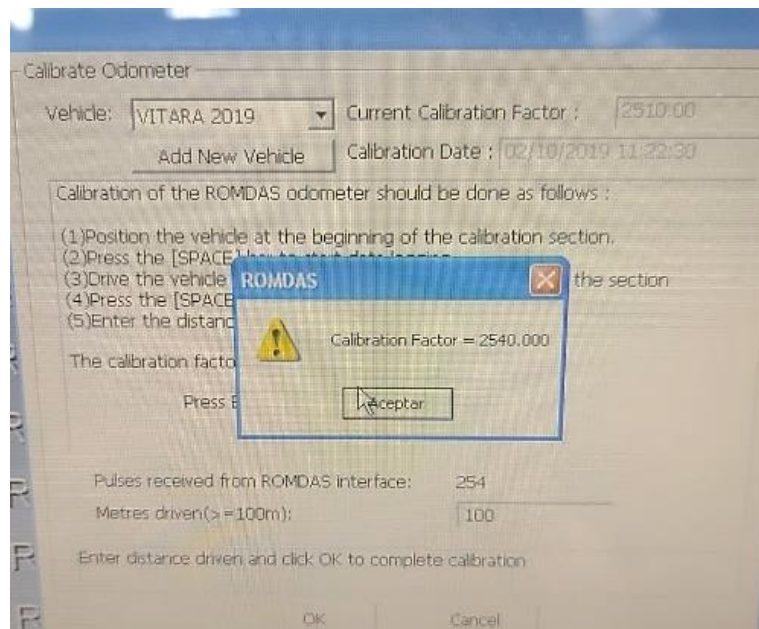


Imagen 32 Cuarta medición (odómetro)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Quinta medición

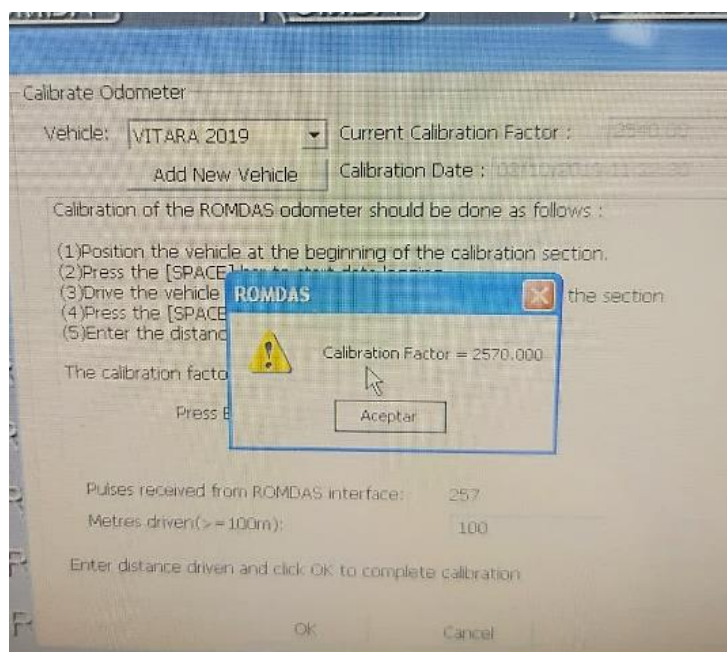


Imagen 33 factor ajuste odómetro

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Análisis de datos para valor de calibración odómetro

Se debe verificar que los resultados de las 5 mediciones no tengan variación significativa para poder comprobar que “beta” estadística es menor al 10% del promedio de los valores. Se obtiene un factor de calibración, el cual puede aplicarse hasta 5000km manual ROMDAS (2017).

Tabla 3 Calibración Odométrico

Calibración Odometro					%ERROR ACEPTABLE					10%			
Run Number					Sample	Mean	Sdev	S.Error	%S. Error	Beta 90%	Beta 95%	Pass/Fail 90%	Pass/Fail 95%
1	2	3	4	5									
2550	2510	2510	2540	2570	5	2536	26,08	11,66	0,46	24,86	32,37	PASS	PASS

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

La tabla#3 presenta los datos procesados de la calibración del odómetro.

Una vez obtenidos estos datos, se obtiene la media de los mismos, así mismo la desviación estándar, el s. error, en la tabla #, la cual proporciona el Manual ROMDAS (2017), β (beta), al 90 y 95 %, en este caso usamos el factor de 2.132 y 2.766 respectivamente.

Para poder obtener como satisfactorio el proceso de calibración, se debe tener en cuenta lo siguiente, β (beta) 90% y β (beta) 95% deben cumplir la condición de que deben ser menor o igual al 10% del promedio de cada BI. Siempre y cuando pase, la calibración pasará como satisfactoria, de lo contrario se deberá repetir la calibración con ROMDAS hasta que cumpla.

$$\beta = t \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 8

Variable estadística β

Donde:

- t: valor crítico de la distribución t
- n: número de pruebas
- s: desviación estándar de la rugosidad

Según Manual ROMDAS (2017), nos da valores debajo de 90 y 95% de intervalos de confianza para la distribución t.

Tabla 4 Valores críticos para los intervalos de confianza

Sample Size	Valores críticos de t para intervalos de confianza	
	90%	95%
3	2.92	4.303
4	2.353	3.182
5	2.132	2.776
6	2.015	2.571
7	1.943	2.447
8	1.895	2.365
9	1.86	2.306
10	1.833	2.262

Fuente: Manual ROMDAS (2017)

Los resultados son aceptables cuando la variable estadística β está dentro del porcentaje del promedio de rugosidad, en la aplicación práctica se tiene el 10% de valores de confianza.

$$\beta \leq 0.1 Blmean$$

Ecuación 9

4.2 Recolección datos para la calibración MERLIN

Según ROMDAS (2017), se tiene que dividir 4500m por la longitud del tramo de calibración, que consideramos de 400m.

Por lo tanto $4500/400 = 11.25$, por lo que se tiene que seleccionar 12, con lo cual se va a tomar los siguientes tramos:

1. Av. El Inca

- **Características:** El tramo analizado fue en la Av El Inca, en la ciudad de Quito. Consta con más de 500m de tramo recto. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS, no se presentó ningún problema.
- **Estado de la vía:** Buena
- **IRI promedio:** 4.29 m/km



Imagen 34 Medición MERLIN (Av. El Inca)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

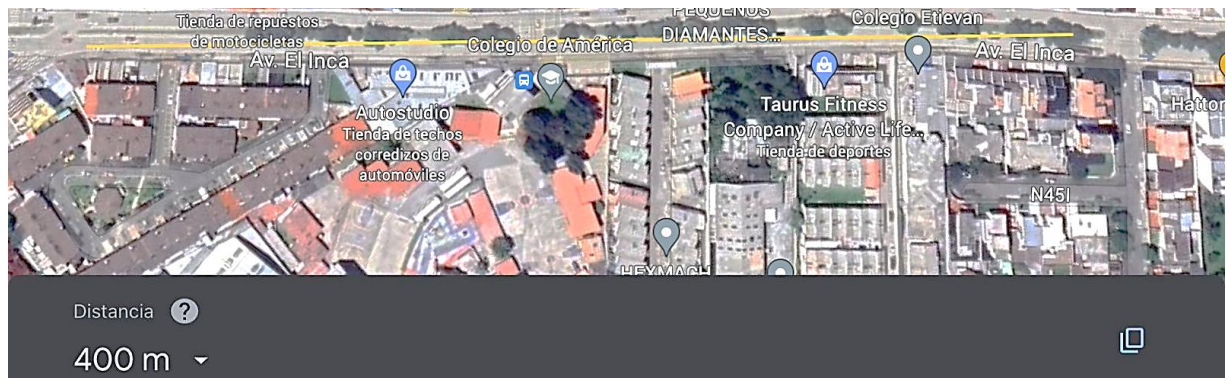


Imagen 35 Vía El Inca utilizada para calibración.

Fuente: Google earth (2023)

2. Calle Jorge Drom:

- **Características:** El tramo de vía se encuentra en la ciudad de Quito, se realizó la medida en el carril izquierdo, sentido desde Av. Gaspar de Villarroel hasta AV. Unión Nacional de periodistas. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS, el vehículo denotaba el estado de la vía produciendo ciertas vibraciones las cuales se podían notar en los pasajeros al momento de la toma.
- **Estado de la vía:** Medio.
- **IRI promedio:** 4.10 m/km.



Imagen 36 Medición MERLIN (Jorge Drom)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

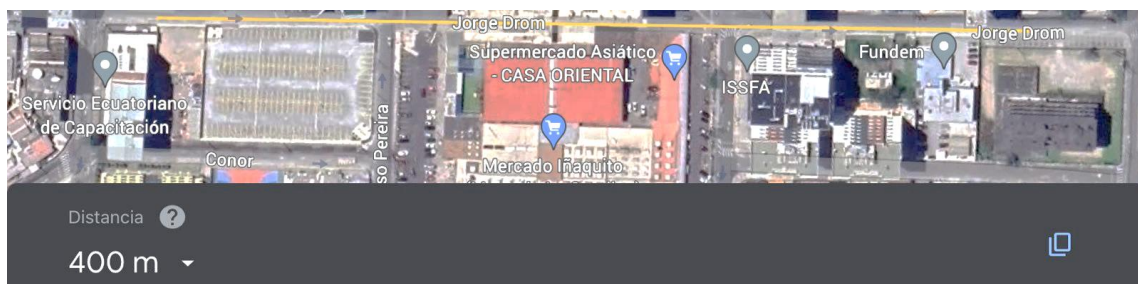


Imagen 37 Vía Av. Jorge Drom utilizada para calibración

Fuente: Google earth (2023)

3. Av. República

- **Características:** Se realizó en el carril derecho, sentido desde la Av. Eloy Alfaro hasta la Av. Diego de Almagro, en la ciudad de Quito. El momento de la toma de datos, la vía tenía aproximadamente 2 meses de ser reasfaltada por completo. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS, no se presentó ningún problema.
- **Estado de la vía:** Buena.
- **IRI promedio:** 2.85 m/km.

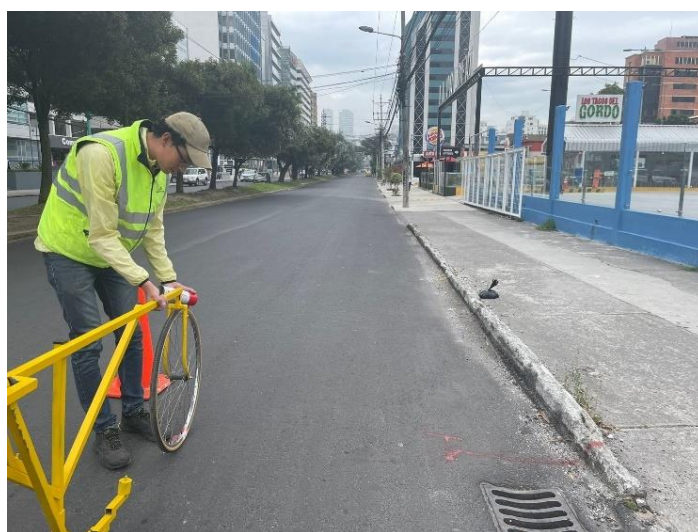


Imagen 38 Medición MERLIN (Av. República)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

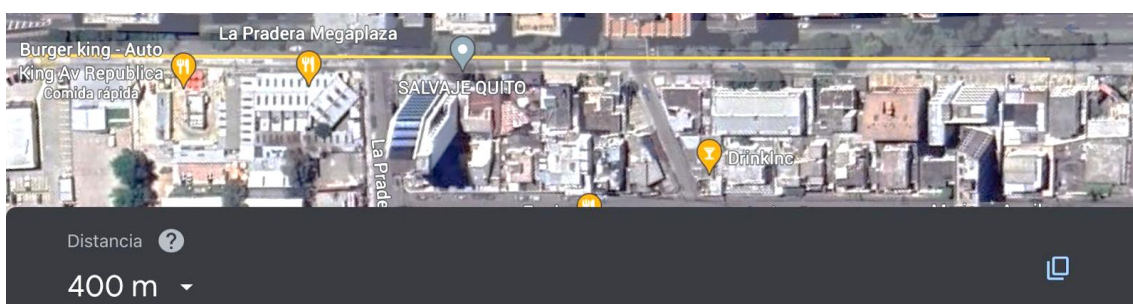


Imagen 39 Vía Av. República utilizada para calibración

Fuente: Google earth (2023)

4. Av. Galo Plaza Lasso (tramo 1)

- **Características:** Este tramo de vía se analizó en el carril derecho en la mitad de la vía, sentido desde la Av. Los Algarrobos hasta Av. Montalvo, en la ciudad de Quito. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS se tuvo algunos inconvenientes, el estado de la vía era muy malo, por ello el auto se balanceaba considerablemente.
- **Estado de la vía:** Mala.
- **IRI promedio:** 7.73 m/km.



Imagen 40 Medición MERLIN (Galo Plaza Lasso, tramo1)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

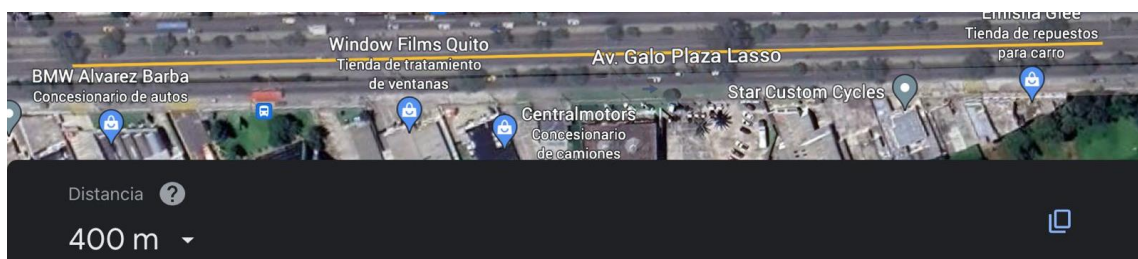


Imagen 41 Vía Av. Galo Plaza Lasso (tramo 1) para calibración.

Fuente: Google earth (2023)

5. Calle Agustín Guerrero

- **Características:** Ubicada en la parroquia de Calderón, en el barrio “Marianitas”, se realizó en el carril derecho en la ciudad de Quito. Al ser una parroquia rural, se tiene un considerable menor flujo vehicular, sin embargo, debido al gran crecimiento poblacional del sector, la vía es de uso cotidiano para los habitantes del sector. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS el único percance que tenía este tramo de vía era que se encontraban algunos baches pequeños, los cuales hacían saltar al vehículo. Al ser tan pequeños se consideran aceptables.
- **Estado de la vía:** Media.
- **IRI promedio:** 4.43 m/km.



Imagen 42 Vía Agustín Guerrero utilizada para calibración.

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)



Imagen 43 Vía Agustín Guerrero utilizada para calibración.

Fuente: Google earth (2023)

6. Av. Amazonas

- **Características:** Una de las avenidas más importantes de la ciudad de Quito, se realizó en el carril derecho, entre las calles Corea y Av. Atahualpa. Tiene más de 450 m de tramo recto, por lo cual se la considera óptima para la toma de datos. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS, no se presentó ningún problema.
- **Estado de la vía:** Buena
- **IRI promedio:** 2.83 m/km.



Imagen 44 Medición MERLIN (Av. Amazonas)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

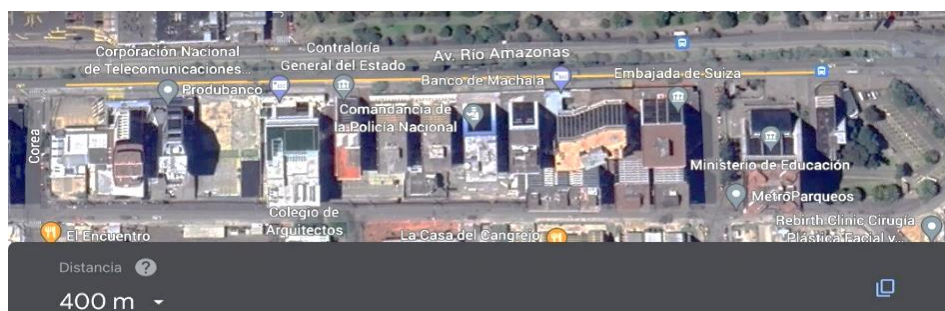


Imagen 45 Vía Av. Amazonas utilizada para calibración.

Fuente: Google earth (2023)

7. Av. Colón

- **Características:** Se realizó en el carril derecho. Entre la av. 10 de Agosto y la Av. Amazonas en el norte de Quito. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS, el estado de la vía era muy malo, por ello el auto se balanceaba considerablemente.
- **Estado de la vía:** Mala.
- **IRI promedio:** 6.65 m/km.



Imagen 46 Medición MERLIN (Av. Colón)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

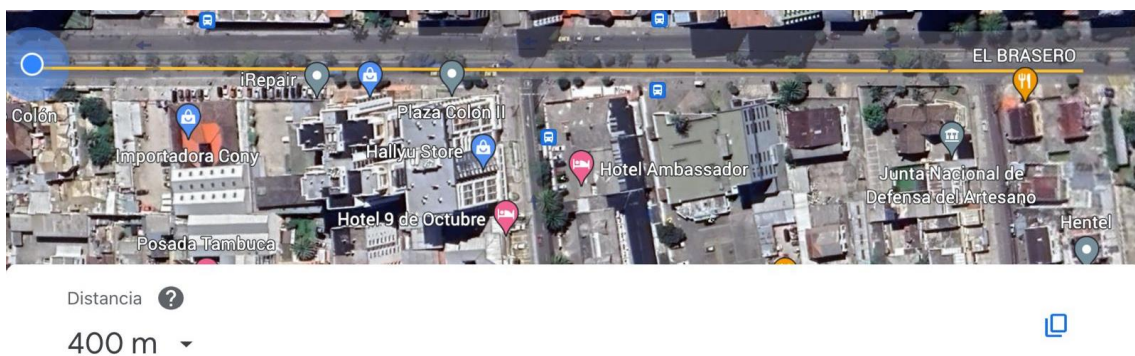


Imagen 47 Vía Av. Colón utilizada para calibración.

Fuente: Google earth (2023)

8. Av. Mango Inga

- **Características:** esta vía se encuentra en la extensión de la Simón Bolívar, en el sector de la Pampa en la ciudad de Quito. Se realizó en el carril derecho, considerando una gran extensión de vía óptima para la toma de datos. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS, no se presentó ningún problema.
- **Estado de la vía:** Buena.
- **IRI promedio:** 2.40 m/km.



Imagen 48 Medición MERLIN (Mango Inga)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)



Imagen 49 Vía Mango Inga utilizada para calibración.

Fuente: Google earth (2023)

9. Av. Simón Bolívar

- **Características:** Se realizó en el carril derecho en la ciudad de Quito El tramo se ubica 40 metros adelante de un redondel por el cual se puede tomar acceso al barrio de Carcelén y también para San José de Moran, parroquia de Calderón. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS, no se presentó ningún problema.
- **Estado de la vía:** Buena.
- **IRI promedio:** 2.56 m/km.



Imagen 50 Medición MERLIN (Simón Bolívar)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)



Imagen 51 Vía Av. Simón Bolívar para calibración.

Fuente: Google earth (2023)

10. Av. Galo Plaza Lasso (sector Parque de los Recuerdos)

- **Características:** Ubicado entre las calles De los Arupos y De las Avellanas, este tramo de vía se analizó en el carril derecho en la mitad de la vía. Ahora bien, es importante aclarar que es un tramo totalmente diferente al analizado previamente en la misma avenida. Con un mejor estado del pavimento, claramente era mejor el pavimento a primera vista. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS, no se presentó ningún problema.
- **Estado de la vía:** Media.
- **IRI promedio:** 4.43 m/km.



Imagen 52 Medición MERLIN (Galo Plaza, Sector Parque Recuerdos)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

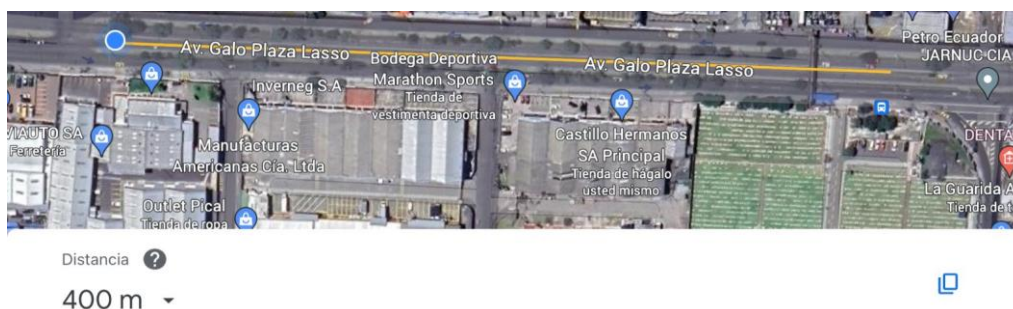


Imagen 53 Vía Galo Plaza (Sector Parque Recuerdos) utilizada para calibración.

Fuente: Google earth (2023)

11. Calle Juan Gonzales

- **Características:** Se realizó en el carril derecho, Ubicada entre las calles Corea y Jose Padilla en la ciudad de Quito. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS, el estado de la vía era muy malo, por ello el auto se balanceaba considerablemente. Siendo esta el tramo con IRI más alto de todas.
- **Estado de la vía:** Malo
- **IRI promedio:** 9.92 m/km



Imagen 54 Medición MERLIN (Juan Gonzales)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)



Imagen 55 Vía Juan Gonzales utilizada para calibración.

Fuente: Google earth (2023)

12. Calle José Larrea

- **Características:** Esta calle se realizó en el carril derecho, se encuentra en el sector de Ponceano Alto, en la ciudad de Quito. La vía en total tiene más de 450 m en un tramo recto, lo cual lo hace óptima para la calibración. Para la recolección de los (BI) mediante ROMDAS, no se presentó ningún problema.
- **Estado de la vía:** Buena.
- **IRI promedio:** 2.55 m/km.



Imagen 56 Juan Gonzales utilizada para calibración.

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

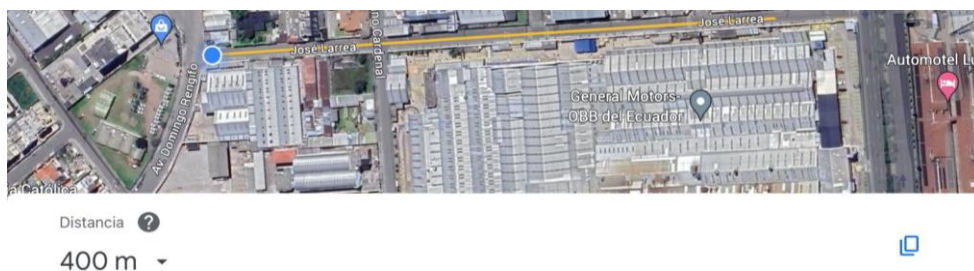


Imagen 1 Vía José Larrea utilizada para calibración

Fuente: Google earth (2023)

En el **anexo 1** se puede encontrar las hojas de campo de la huella izquierda y huella derecha de todos los tramos calibrados. A continuación, se muestran los datos procesados de la calibración manual con MERLIN:

Tabla 5 Valores de D y IRI para calibración

Resultados IR I - MERLIN							
N° medición	Tipo vía	Estado vía	Vía de medición	Huella	D (mm)	IRI(m/Km)	PROM IRI (m/Km)
1	Asfalto	Mala	Av. Galo Plaza Lasso	Derecha	155	7,9	7,73
2				Izquierda	148	7,6	
3	Asfalto	Mediana	Av. Jorge Drom	Derecha	76	4,2	4,10
4				Izquierda	73	4,0	
5	Asfalto	Buena	Av. República	Derecha	50	2,9	2,76
6				Izquierda	42	2,6	
7	Hormigón	-	Av. El Inca	Derecha	81	4,4	4,29
8				Izquierda	76	4,2	
9	Asfalto	Buena	José Larrea	Derecha	36	2,3	2,55
10				Izquierda	47	2,8	
11	Asfalto	Buena	Av. Simón Bolívar	Derecha	34,5	2,2	2,56
12				Izquierda	49	2,9	

13	Asfalto	Mediana	Av. Galo Plaza Lasso (Parque recuerdos)	Derecha	86,25	4,7	4,43
14				Izquierda	76,5	4,2	
15	Asfalto	Buena	Av Amazonas	Derecha	51	3,0	2,83
16				Izquierda	44	2,7	
17	Asfalto	Mediana	Agustín Guerrero	Derecha	87,5	4,7	4,82
18				Izquierda	92	4,9	
19	Asfalto	Mala	Av. Colon	Derecha	120	6,2	6,65
20				Izquierda	137	7,0	
21	Asfalto	Mala	Juan Gonzales	Derecha	216,25	10,8	9,92
22				Izquierda	180	9,1	
23	Asfalto	Buena	Mango Inga	Derecha	39	2,4	2,40
24				Izquierda	37,75	2,4	

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

En la tabla #5 se puede apreciar el IRI estimado con el MERLIN, el cual se obtiene de una media de la huella derecha e izquierda.

4.3 Recolección datos para calibración con ROMDAS

Para culminar con el proceso de calibración, según Manual ROMDAS (2017) se pasa por los 400m de las vías que se realizó la calibración con el MERLIN, 5 veces por cada vía, para recolectar la irregularidad (BI) de la vía. El análisis para procesar los datos es el siguiente:



Imagen 57 Calibración con equipo ROMDAS por diferentes vías de calibración

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)



Imagen 58 Calibración con equipo ROMDAS por diferentes vías de calibración

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

1. Con los datos obtenidos en bruto, cada 100m., se tiene la suma de los 400 m. Esto se repite con las 5 mediciones.

Tabla 5 BI obtenidos de 1 pasada por tramo de calibración

AGUSTIN GUERRERO	
CHAINAGE	ROUGH_2
100	546
200	1062
300	679
400	509
Suma total	2796

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Tabla 6 BI (400m) de las 5 pasadas de cada vía calibración

BI en 400m					
Vía de medición	1er paso	2do paso	3er paso	4to paso	5to paso
Av. Galo Plaza Lasso	5442	5914	5751	5641	5641
Av Republica	1812	1893	2002	1873	1885
Av Jorge Drum	3130	3141	3235	3209	3241
Av El Inca	2736	2624	2609	2693	2705
Jose Larrea	936	943	954	933	904
Av. Simón Bolivar	898	914	918	858	854
Av. Galo Plaza Lasso (Parque recuerdos)	1960	1882	1890	1916	1970
Av Amazonas	1048	1118	1146	1179	1154
Agustin Guerrero	2796	3029	3123	2973	3072
Av. Colon	3842	3895	3860	3878	3681
Juan Gonzales	7115	7623	7771	7501	7149
Mango Inga	676	653	638	643	607

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

2. Una vez que se tienen las sumas de las 5 pulsaciones, se transforman los valores de 400m a 1000m. esto se debe a que el IRI obtenido por MERLIN, está en las unidades m/km, mientras que el tramo de calibración obtenido solo es de 400m. Es por esto por lo que se hace la transformación mencionada, multiplicando cada valor *2.5. obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7 BI (1000) de las 5 pasadas de cada vía calibración

BI en 1000m					
Vía de medición	1er paso	2do paso	3er paso	4to paso	5to paso
Av. Galo Plaza Lasso	13605	14785	14377,5	14102,5	14102,5
Av Republica	4530	4732,5	5005	4682,5	4712,5
Av Jorge Drum	7825	7852,5	8087,5	8022,5	8102,5
Av El Inca	6840	6560	6522,5	6732,5	6762,5
Jose Larrea	2340	2357,5	2385	2332,5	2260
Av. Simón Bolivar	2245	2285	2295	2145	2135
Av. Galo Plaza Lasso (Parque recuerdos)	4900	4705	4725	4790	4925
Av Amazonas	2620	2795	2865	2947,5	2885
Agustin Guerrero	6990	7572,5	7807,5	7432,5	7680
Av. Colon	9605	9737,5	9650	9695	9202,5
Juan Gonzales	17787,5	19057,5	19427,5	18752,5	17872,5
Mango Inga	1690	1632,5	1595	1607,5	1517,5

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

3. Estos son los datos que usamos para comparar con el IRI obtenido con el MERLIN, y con ello encontrar la ecuación de calibración. (el resto de los datos sin procesar, se encuentran en anexos 2). Una vez transformados los datos, el análisis matemático es el mismo que se utilizó previamente en la calibración del odómetro. Es decir, se obtiene la media de estos, así mismo la desviación estándar, el s. error. Bajo el mismo criterio mostrado previamente. A continuación, se encuentran los datos procesados de las 12 calibraciones:

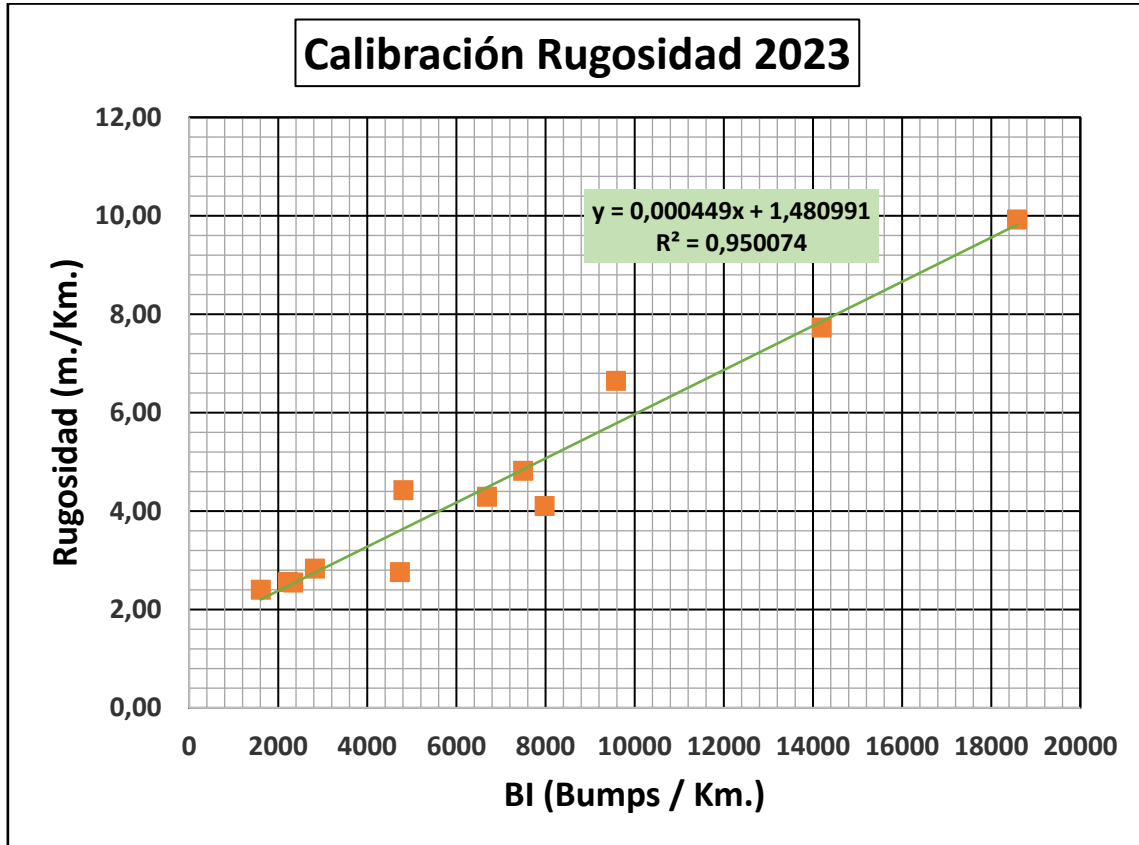
Tabla 8 Verificación estadística de los BI, si pasan o no las calibraciones.

														%ERROR		
														ACCEPTABLE	10%	
Site No.	Site Location	Superficie	Speed (Km. / h)	Run Number (Bumps / Km.)					Mean	Sdev	S.Error	S. Error %	Beta 90%	Beta 95%	Pass/Fail 90%	Pass/Fail 95%
				1	2	3	4	5								
1	Galo Plaza Lasso	Asphalt	40	13605	14785	14378	14103	14103	14195	432	193	1,4	411,93	536,36	PASS	PASS
2	Jorge Drom	Asphalt	40	7825	7853	8088	8023	8103	7978	131	59	0,7	124,89	162,62	PASS	PASS
3	República	Asphalt	40	4530	4733	5005	4683	4713	4733	172	77	1,6	163,87	213,38	PASS	PASS
4	Av. El Inca	Concrete	40	6840	6560	6523	6733	6763	6684	136	61	0,9	129,95	169,21	PASS	PASS
5	Jose Larrea	Asphalt	40	2340	2358	2385	2333	2260	2335	47	21	0,9	44,37	57,77	PASS	PASS
6	Av. Simón Bolivar	Asphalt	40	2245	2285	2295	2145	2135	2221	76	34	1,5	72,80	94,79	PASS	PASS
7	Av. Galo Plaza Lasso	Asphalt	40	4900	4705	4725	4790	4925	4809	100	45	0,9	95,31	124,10	PASS	PASS

	(Parque recuerdos)															
8	Av Amazonas	Asphalt	40	2620	2795	2865	2948	2885	2823	126	56	2,0	119,75	155,93	PASS	PASS
9	Agustin Guerrero	Asphalt	40	6990	7573	7808	7433	7680	7497	315	141	1,9	300,30	391,02	PASS	PASS
10	Av. Colon	Asphalt	40	9605	9738	9650	9695	9203	9578	216	96	1,0	205,63	267,74	PASS	PASS
11	Juan Gonzales	Asphalt	40	17788	19058	19428	18753	17873	18580	725	324	1,7	691,61	900,52	PASS	PASS
12	Mango Inga	Asphalt	40	1690	1633	1595	1608	1518	1609	63	28	1,7	59,70	77,73	PASS	PASS

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Como consecuente, se calcula la ecuación de calibración, la misma que aplicamos para transformar los BI de la vía analizada desde Av. Pichincha (Ayora) hasta Galo Plaza Laso (Ibarra)) que son adimensionales, a un valor de IRI (m/km).



Gráfica 1 Relación entre rugosidad IRI MERLIN vs BI ROMDAS

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Donde:

R^2 : precisión general del modelo

Para la ecuación la precisión del modelo es de 0.950074, lo cual se considera exitoso.

Con la gráfica se encuentra una ecuación que nos va a servir para encontrar los valores del IRI en la vía:

$$IRI = 0.000449 * BI + 1.480991$$

Ecuación 10

Para el Cálculo del IRI

4.4 Medición Rugosidad vía Ayora-Ibarra

La vía elegida es Ayora- Ibarra, se va a pasar por el carro, en la Imagen# 38 se observa el trayecto realizado, con una distancia total de 36800m.



Imagen 592 Tramo seleccionado para medición IRI

Fuente: Google earth (2023)

4.4.1 Recolección de datos

- Se instala los equipos antes de empezar en la vía, chequea presión de llantas, y que los equipos estén conectados.



Imagen 60 Preparación vehículos para medición vía Ayora-Imbabura

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Se coloca en el punto de partida de la vía en estudio y se inicia con la medición de la rugosidad



Imagen 61 Inicio vía medición (Ayora)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)



Imagen 62 Medición Rugosidad en el caso de estudio

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

- Recorre la medición a lo largo de la vía, se tiene que registrar cualquier obstáculo en la vía, por ejemplo, rejillas, reductor de velocidad, baches grandes. Al momento de procesar los datos tomar en cuenta las interrupciones.
- Cuando se llega al final de la vía, se para la medición.



Imagen 63 Fin vía medición (Imbabura)

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

4.4.2 Proceso de datos

El Manual ROMDAS (2017), no especifica que se deban realizar a más de una velocidad, sin embargo, es lo más recomendable. En la recolección de datos la velocidad fue de 40 Km/h, eso debido a que solo se analizará una velocidad, una presión en las llantas de 32 psi, y el tanque de gasolina a nivel medio, para no afectar en los valores. Los datos obtenidos en la prueba se encuentran en el **anexo 3**, en la columna 1 y 2, donde cada 100 m se obtiene la rugosidad sin medidas de la vía.

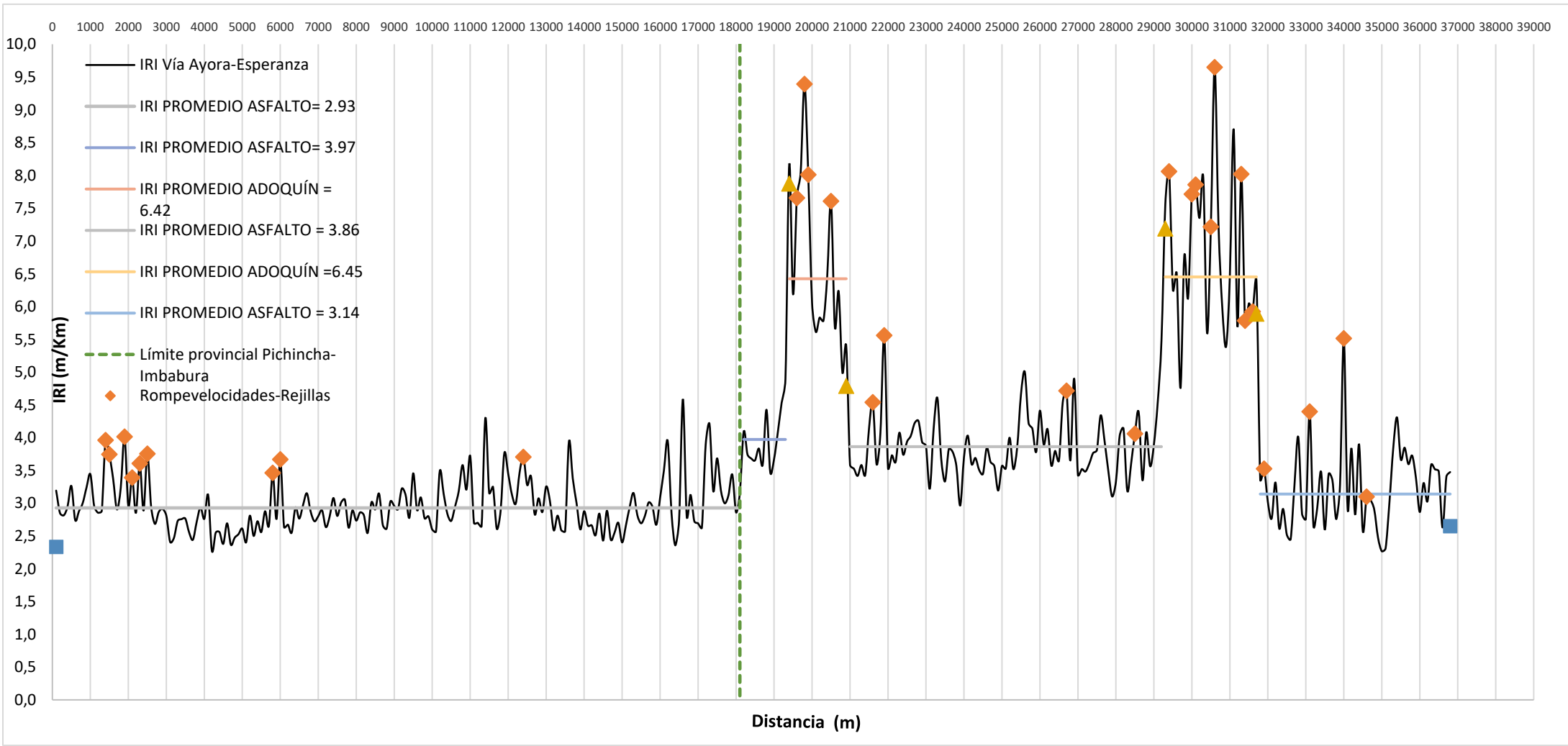
Se debe tener una bitácora de voz, la misma que será de ayuda para procesar los datos cuando exista un percance. Cuando se pase por un reductor de velocidad, se debe aclarar en la bitácora la cota donde sucede y cuando se estén procesado los datos ese valor se debe eliminar, y tener un promedio de la cota anterior y la siguiente.

Tabla 9 Ejemplo de corrección de IRI

Distancia	BI(100m)	BI(1000m)	IRI	IRI MOD	Observación
5900	284	2840	2,76	2,76	
6000	487	4870	3,67	2,7	reductor de velocidad
6100	257	2570	2,63	2,63	

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Aquí se puede ver un ejemplo de un reductor de velocidad, en este caso se hace un promedio entre el superior y el inferior.



Gráfica 2 Tramo seleccionado para medición IRI

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

Se obtiene los IRI en cada cambio de tramo.

Tabla 10 Valores del IRI y PSI de la vía Ayora por tramos.

Intervalos de la vía	IRI	PSI
0-18+100	2.93	2.975
18+200-19+300	3.97	2.502
19+400-20+900	6.42	1.592
21+000-29+200	3.86	2.548
29+300-31+700	6.45	1.583
31+800-36+800	3.14	2.873

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

4.4 Análisis de resultados

- Al comparar los valores de IRI obtenidos con la calibración mediante MERLIN, los rangos referenciales del estado de la vía conforme se evidencian en la **¡Error!** No se encuentra el origen de la referencia., las clasificaciones de pavimento que otorga la norma AASHTO (1996) las cuales son:
 - Pavimento nuevo se encuentra en un rango entre 2 a 3.5 (m/km)
 - Pavimento desgastado 3.5 a 6 (m/km)
 - Pavimento dañado 6 a 11 (m/km)

Analizando los resultados obtenidos, las clasificaciones son las siguientes:

Tabla 11 Clasificación AASHTO vías de calibración

	Vías	IRI (m/km)	Clasificación AASHTO		
			Nuevo	Desgastado	Dañado
1	Galo Plaza Lasso	7,73			X
2	Jorge Drom	4,10		X	
3	República	2,76	X		
4	Av. El Inca	4,29		X	
5	Jose Larrea	2,55	X		
6	Av. Simón Bolívar	2,56	X		
7	Av. Galo Plaza Lasso (Parque recuerdos)	4,43		X	
8	Av Amazonas	2,83	X		
9	Agustin Guerrero	4,82		X	
10	Av. Colon	6,65			X
11	Juan Gonzales	9,92			X
12	Mango Inga	2,40	X		

Fuente: Acosta S, Jaramillo W, (2023)

- Se puede apreciar en la **tabla 10** la manera en la cual varia el índice del IRI, un punto clave es en el tramo 19+400, ya que coincide con el cambio de provincia, entre Pichincha e Imbabura, teniendo una media de IRI para la provincia de Pichincha de 2.93 (m/km) el cual es un valor considerado como un pavimento nuevo. Por otro lado, el IRI de la provincia de Imbabura, se divide en dos partes, los tramos asfaltados y los tramos adoquinados, en el pavimento flexible se

obtiene un valor promedio de 3.65 (m/km) considerado como un pavimento desgastado. Mientras que, en el tramo de adoquín se tiene un IRI promedio de 6.44 (m/km) desgastado. Es importante tener en cuenta al momento de procesar los datos, cuando existe un altercado (baches, rejillas, reductores de velocidad) se modifica ese valor al realizar una media con los valores de arriba y abajo.

- Conforme los datos presentados en la gráfica #2 se puede evidenciar que la media del IRI por tramos, es : adoquín, es el más alto, una media de 6.44 (m/km) vs el asfalto que tiene un promedio de 3.48 (m/km). Esto a toda vez que las piezas de adoquín de forma hexagonal se encuentran juntas cada 24 cm lo cual se constata en el **anexo 5**.
- En la tabla 10 se observa los valores de servicialidad (PSI) calculados para los tramos de la vía. Así los tramos de pavimento flexible presentan valores entre 2-3. Acorde a la tabla 1, este pavimento es considerado como pavimento regular, mientras que los tramos de adoquín entran a valores entre 1-2 que ya son considerados como tramos malos.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La Av. Pichincha (Ayora) hasta Galo Plaza Laso (Ibarra), ha sido evaluada de acuerdo a los parámetros establecidos por el manual ROMDAS (2017), el cual establece el procedimiento a seguir desde la calibración del equipo mediante MERLIN, la calibración del odómetro, y como interpretar los datos en bruto (*bumps*), por lo que se obtuvieron resultados del estado de la vía en los diferentes tramos analizados.
2. Calibrar con el equipo MERLIN es lo más recomendable debido a que su precisión es buena, pero el tiempo para obtener los datos no es eficiente. Por lo tanto, el tramo de vía de 37 Km aproximadamente tomaría mucho tiempo en realizar el estudio, por lo que se opta por un equipo más eficaz pero menos preciso que es el sistema ROMDAS, el cual busca obtener valores de rugosidad en unidades internacionales (m/km). Para lo cual se necesita relacionar los *bumps* con una medida correcta de IRI.
3. La diferencia del IRI entre las provincias de Pichincha e Imbabura, evidencia que los el manejo constructivo de cada provincia es diferente, esto se debe al nivel de exigencia para una vía de clase secundaria, como se puede observar en la gráfica 2. De esto Congope (2019) determina que existen valores para analizar si las vías necesitan mantenimiento o reconstrucción. Los valores proporcionados nos dicen que para rehabilitar una vía de carácter secundaria tiene que tener un IRI mayor a 4.75 (m/km), por ende, no se requiere aún una rehabilitación o mantenimiento de la vía, ya que el mayor valor que se tiene en el caso de estudio para pavimento flexible es de 3.86 (m/km).
4. En la ecuación 6 de calibración, se considera como bueno el coeficiente de relación (R^2) entre los *bumps integrator* (variable independiente) vs Rugosidad

IRI (Variable dependiente), con un valor del 95% de confianza, dando como resultado la ecuación 7, que se utiliza para obtener los valores del IRI medición de la rugosidad el *bump integrator*. Es de vital importancia tener vías de calibración que proporcionen una buena relación lineal entre los datos recolectados entre el IRI del MERLIN y los *bumps integrator*.

5. La vía analizada tiene varias parroquias rurales, en las cuales se concentra la mayor cantidad de población al margen de la vía, esto trae como consecuente que existan varios reductor de velocidad, con el fin de precautelar la seguridad de los habitantes. En cuanto al IRI, se ve afectado al momento de pasar con el sistema ROMDAS, sin embargo, el llevar una bitácora constante del estudio, permitirá al momento de procesar los datos se tome en cuenta esta variación de valores para que no afecte a los resultados finales.

Recomendaciones

1. Esta disertación, ha tenido como objetivo analizar el IRI, para poder tomar cartas en el asunto, se recomienda para futuros trabajos sobre el tema en la calibración del MERLIN, siempre mantener una medida constante desde el borde hasta por donde se pasará analizando. También es importante el tener en cuenta que la llanta del MERLIN debe estar inflada y ajustada correctamente.
2. Tener una bitácora clara y concisa al momento de realizar el análisis de la vía, esto debido a que es de vital importancia para el procesamiento de los datos. Se recomienda tener una grabadora de voz con la cual se indique las cotas en las cuales existió un percance y se debe realizar las correcciones del caso.
3. Antes de realizar la medición del MERLIN se debe leer el manual de uso, Cundill, M.A. (1996). También se recomienda realizar con al menos 4 personas, 1 persona que maneje el MERLIN, una segunda que coloque las “X” en la hoja de campo,

una tercera que mantenga una medida constante desde la distancia del borde hasta donde se deba analizar y una cuarta que controle los conos viales para seguridad tanto como de los operadores como del tráfico en general.

4. Se recomienda a las autoridades pertinentes tanto de Pichincha como de Imbabura, que se tomen cartas en el asunto, ya que, al ser provincias vecinas, se nota una gran diferencia en cuanto al estado de las vías. Un plan de reestructuración vial en el cual trabajen en conjunto ambas provincias ayudará a que el estado de las vías sea bueno, así beneficiando a los usuarios y mejorando el tiempo de viaje.
5. Es de vital importancia el tener claro el manejo del sistema ROMDAS, leer su manual, ROMDAS (2017), ayudará mejor a la comprensión y su uso, ya que también se puede hacer inventario vial usando el mismo. En cuanto al cálculo del IRI se recomienda se realiza al menos 5 veces el uso del software en la calibración, para obtener un resultado más conciso.

BIBLIOGRAFÍA:

- *AASHTO (1993). Guide for Design of Pavement Structures. United States. American Association of State Highway and Transportation Officials*
- *Allstate Insurance Company. (s.f.). Conducir con baches: cómo afectan a tu vehículo y a tu seguridad. Allstate. Recuperado de <https://espanol.allstate.com/recursos-de-seguro/seguro-de-auto/conducir-con-baches.aspx>*
- *Álvarez, S. & Rivero, R. (2012). Instrumento electrónico para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) con base en el perfilómetro estático MERLIN. [Electronic instrument for the estimation of the International Roughness Index (IRI) based on the MERLIN static profilometer]. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 24(2), 258-265.*
- *Anderson, David, Dennis (2008). Estadística para administración y economía. Cengage Learning Editores. México*
- *Bitafal. (2020). Deterioro de pavimentos. Bitafal. Recuperado de <https://bitafal.com.uy/deterioro-pavimentos/>*
- *Bucheli, Jaramillo. (2005). Calibración del medidor de rugosidades ROMDAS V.2.0 para una evaluación en campo del proyecto de integración regional Pacífico Atlántico, por medio del índice de rugosidad internacional.*
- *Carey, M. A., & Huckins, H. N. (1969). Slope variance as a measure of roughness and the identification of geomorphic surfaces. Geological Society of America Bulletin, 80(10), 1949-1956. doi: 10.1130/0016-7606(1969)80[1949:SVAAMO]2.0.CO;2*

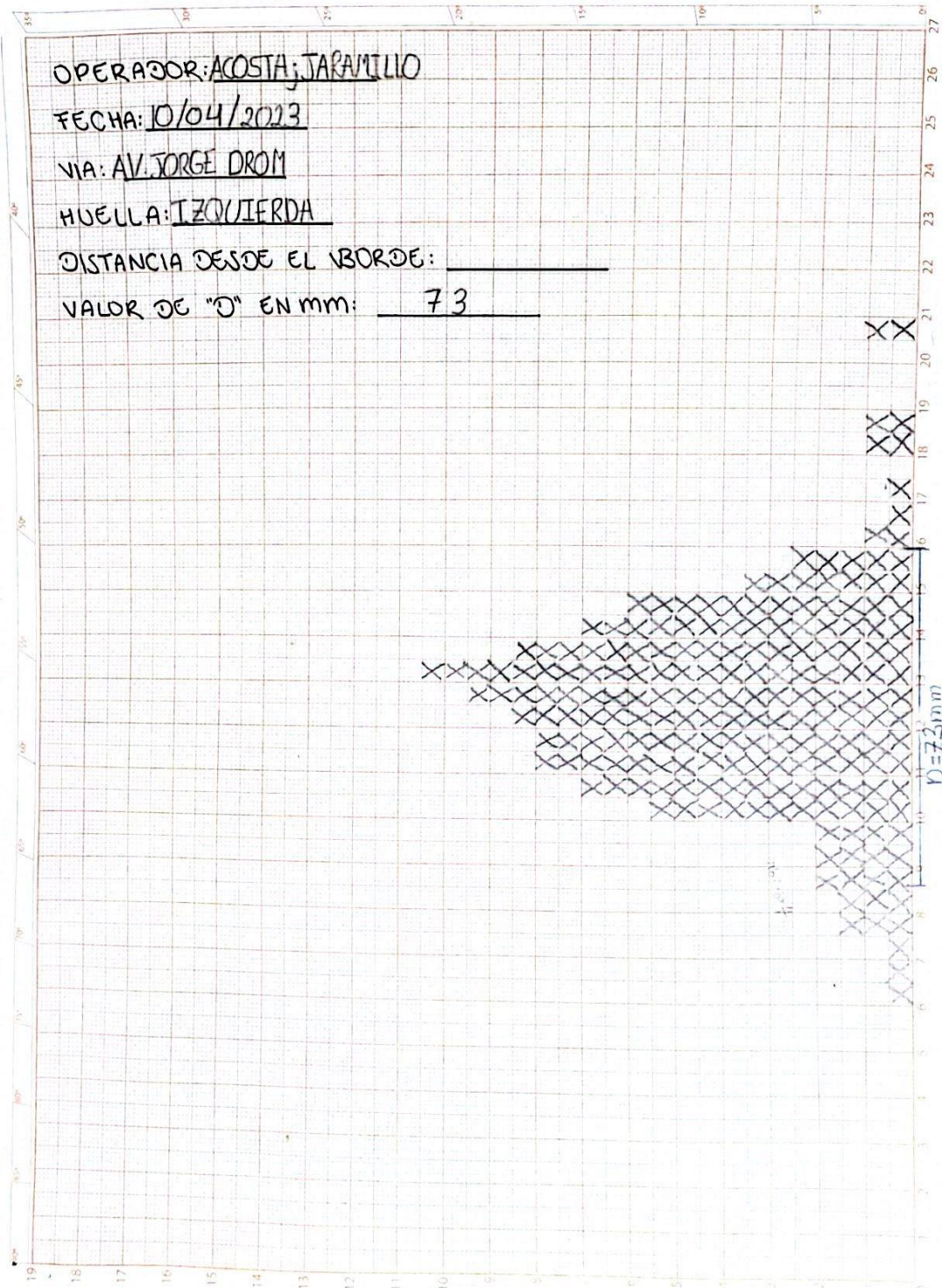
- *Clotworthy (2017). ROMDAS User Manual. Nueva Zelanda..*
- *Congope. (2019). Plan vial integral Imbabura. Recuperado de <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2020/09/Imbabura-plan-vial-integral.pdf>*
- *Cundill, M.A. (1996). The MERLIN Road Roughness Machine: User Guide. Crowthorne. Transport Research Laboratory, Overseas Development Administration.*
- *Geotexan. (2019). Cómo mejorar el comportamiento de los pavimentos asfálticos. Recuperado el 21 de marzo de 2023, de <https://geotexan.com/como-mejorar-el-comportamiento-de-los-pavimentos-asfalticos/>*
- *Google. (s.f.).[Av. República ciudad de Quito]. Obtenido el 15 de mayo 2023 de: <https://earth.google.com/web/@0.27757454,-78.05850863,3496.77220807a,78796.29045518d,35y,282.7523102h,0t,0r>*
- *Google. (s.f.).[Jorge Drom ciudad de Quito]. Obtenido el 15 de mayo 2023 de: <https://earth.google.com/web/@0.27757454,-78.05850863,3496.77220807a,78796.29045518d,35y,282.7523102h,0t,0r>*
- *Google. (s.f.).[Vía 10 de Agosto ciudad de Quito]. Obtenido el 15 de mayo 2023 de: <https://earth.google.com/web/@0.27757454,-78.05850863,3496.77220807a,78796.29045518d,35y,282.7523102h,0t,0r>*
- *Google. (s.f.).[Vía Ayora, entre las provincias de Pichincha e Imbabura, Ecuador]. Obtenido el 15 de mayo 2023 de: <https://earth.google.com/web/@0.27757454,-78.05850863,3496.77220807a,78796.29045518d,35y,282.7523102h,0t,0r>*

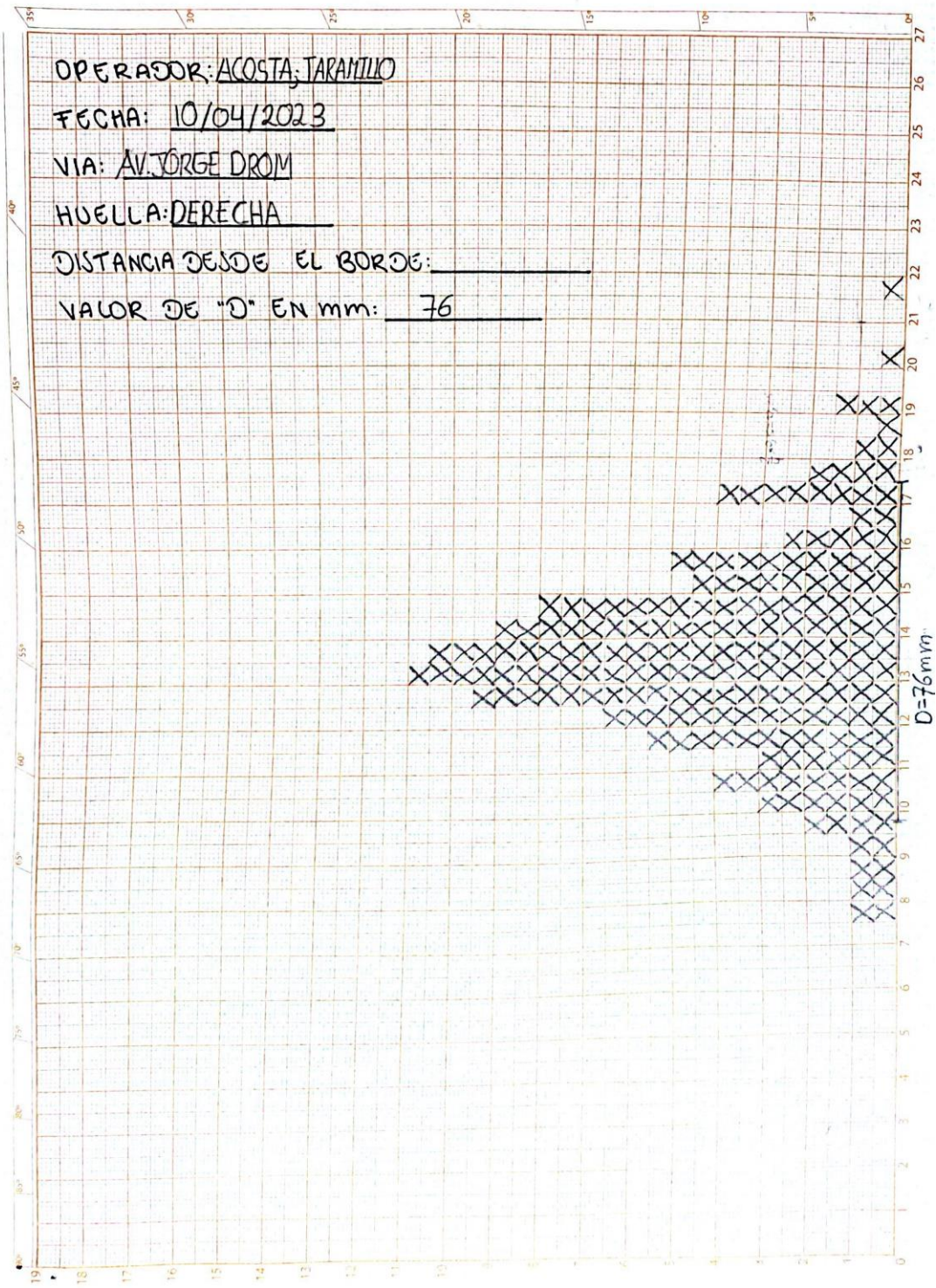
- *Infoagro.(s.d).Nivel optico leica geosystem serie NA700.Recuperado de https://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=3501&_nivel_%F3ptico_leica_geosystems_serie_na700*
- *Ingeniero Civil Info. (2011). Índice de Serviabilidad Pavimentos de Hormigón [Entrada de blog]. Recuperado el 10 de marzo de 2023, de <https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/09/indice-de-serviabilidad-pavimentos-de.html>*
- *Lind, Marchal, Wathen. (2012). Estadística aplicada a negocios y a la economía. McGraw-Hill. México*
- *Moyano (2020). Procedimiento para determinar el Índice de Rugosidad Internacional con una aplicación móvil en Piura. Universidad de Piura. Peru*
- *Pérez, A. (2021). Cómo prevenir el deterioro de los objetos. Blog de VISE. <https://blog.vise.com.mx/-1#:~:text=Estas%20fallas%20o%20deterioros%20son,agentes%20externos%20no%20es%20significativa.>*
- *Rodríguez, Torres,Villeda (2019). Desarrollo de metodología para la medición de iri (international roughness index), mediante el uso de un rugosímetro basado en el merlin (machine evaluating roughness using low cost instrumentation), para evaluación de pavimentos flexibles y rígidos en el salvador. Universidad del salvador*
- *ROMDAS. (2019). How to Design a ROMDAS System. Recuperado de <https://ROMDAS.com/downloads/documents/19-10-14%20How%20to%20Design%20a%20ROMDAS%20System.pdf>*
- *S.f (2017). Florencia 8 cm. Hormipisos.*

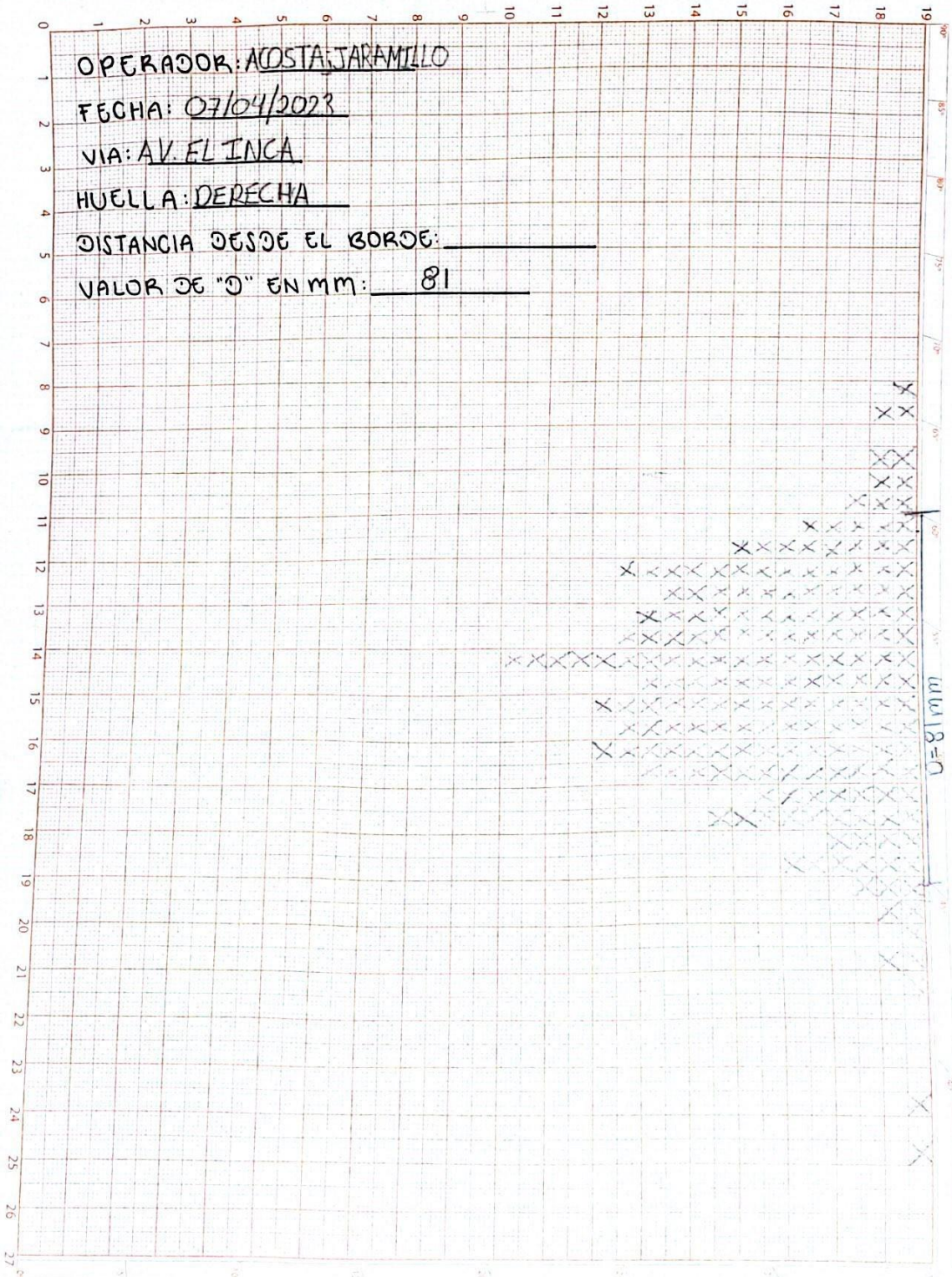
- *Soluciones Asfálticas. (2021). What is Pre-Workout and How Does It Work? [Entrada de blog]. Recuperado el 21 de marzo de 2023, de <https://www.solucionesasfalticas.com.mx/post/what-is-pre-workout-and-how-does-it-work>*
- *Tecmicro (2019). Rugosímetro, perfilómetro portátil. Recuperado de <https://tecmicro.es/rugosímetros/attachment-rugosímetro-perfilómetro-portátil/>*
- *Townsend, Veliz (s.f). Determinación de umbrales de rugosidad obtenido de base de datos de caminos con controles receptivos. Colombia. Dirección de vialidad de coquimbo*
- *Ventura, Alvarenga. (2005). Determinación del índice de regularidad internacional. Ministerio de obras públicas, transporte y de vivienda y desarrollo urbano, El salvador*

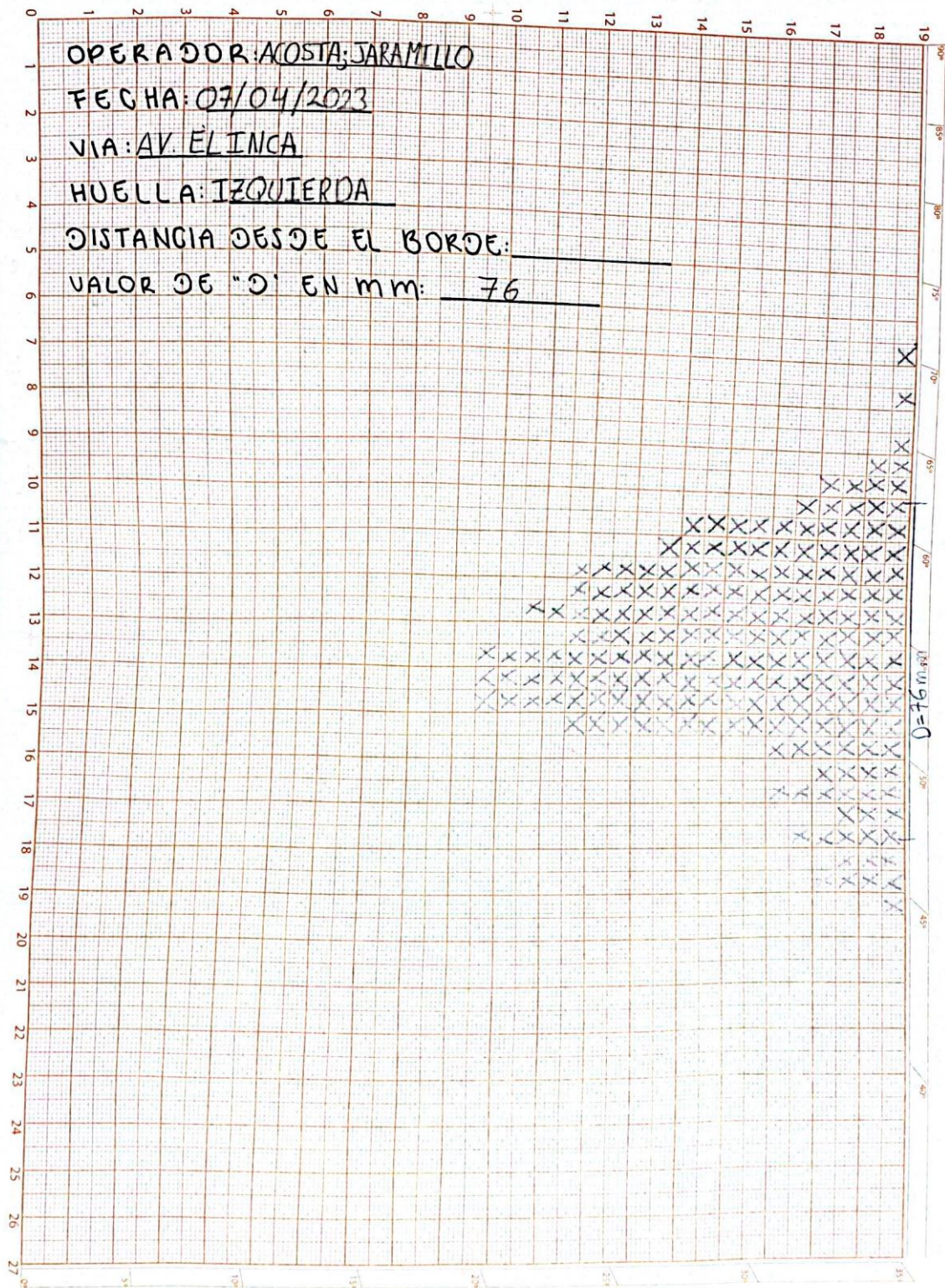
ANEXOS

Anexo 1 En este anexo se encuentran las hojas de campo usadas en la determinación del IRI mediante MERLIN.









OPERADOR: ACOSTA, JARAMILLO

FECHA: 07/04/2023

VIA: AV. EL INCA

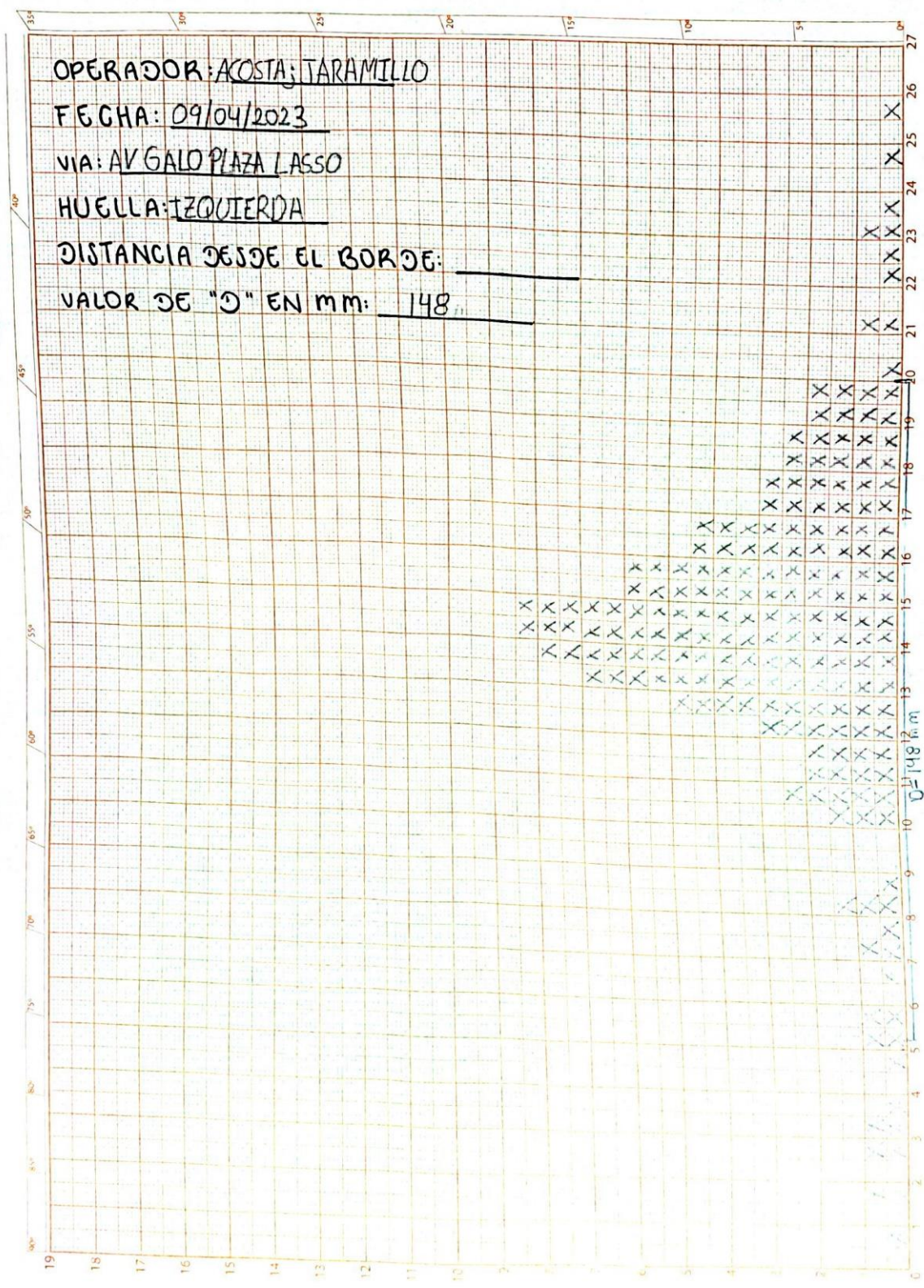
HUELLA: IZQUIERDA

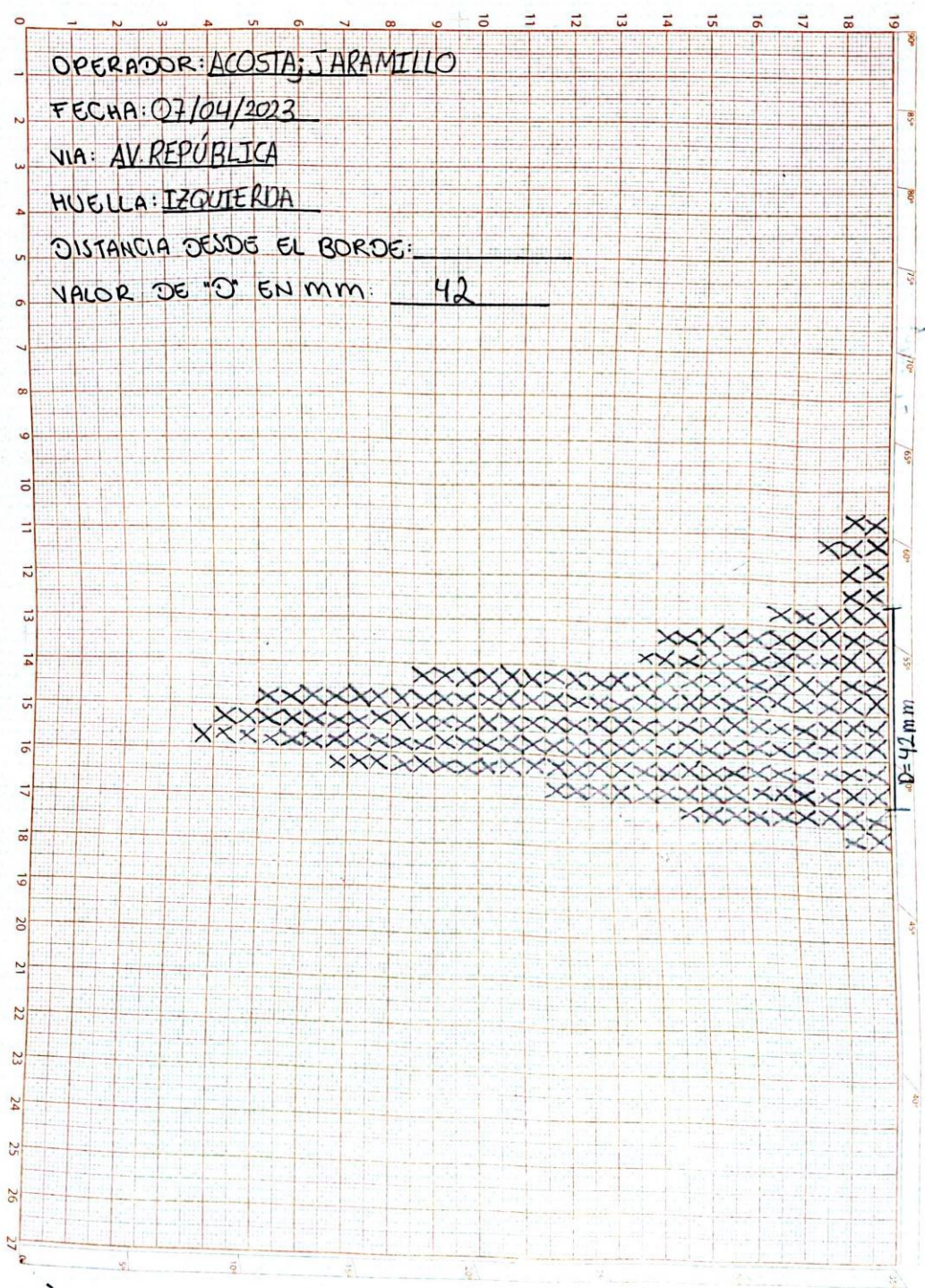
DISTANCIA DESDE EL BORDE: _____

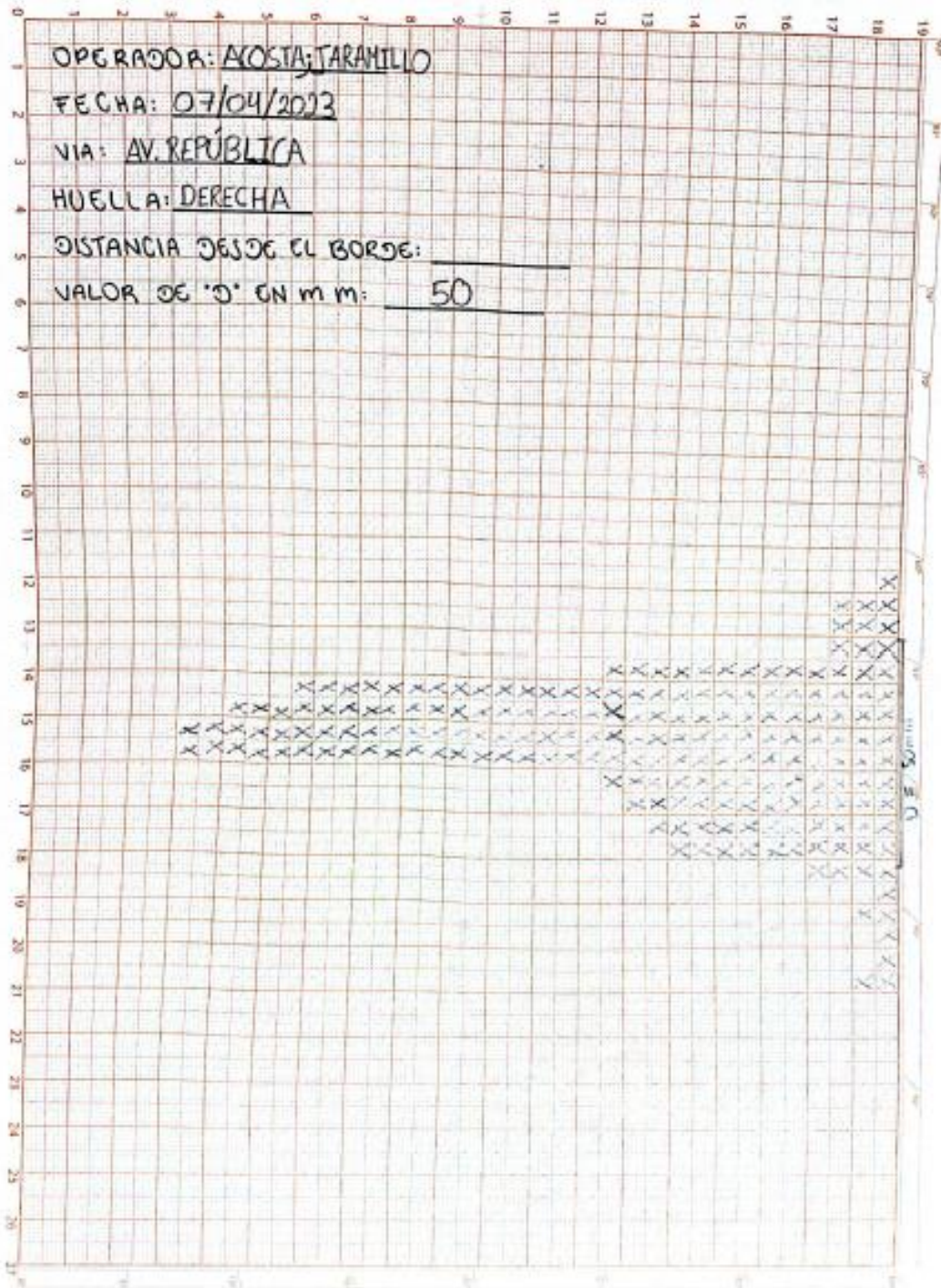
VALOR DE "D" EN MM: 76

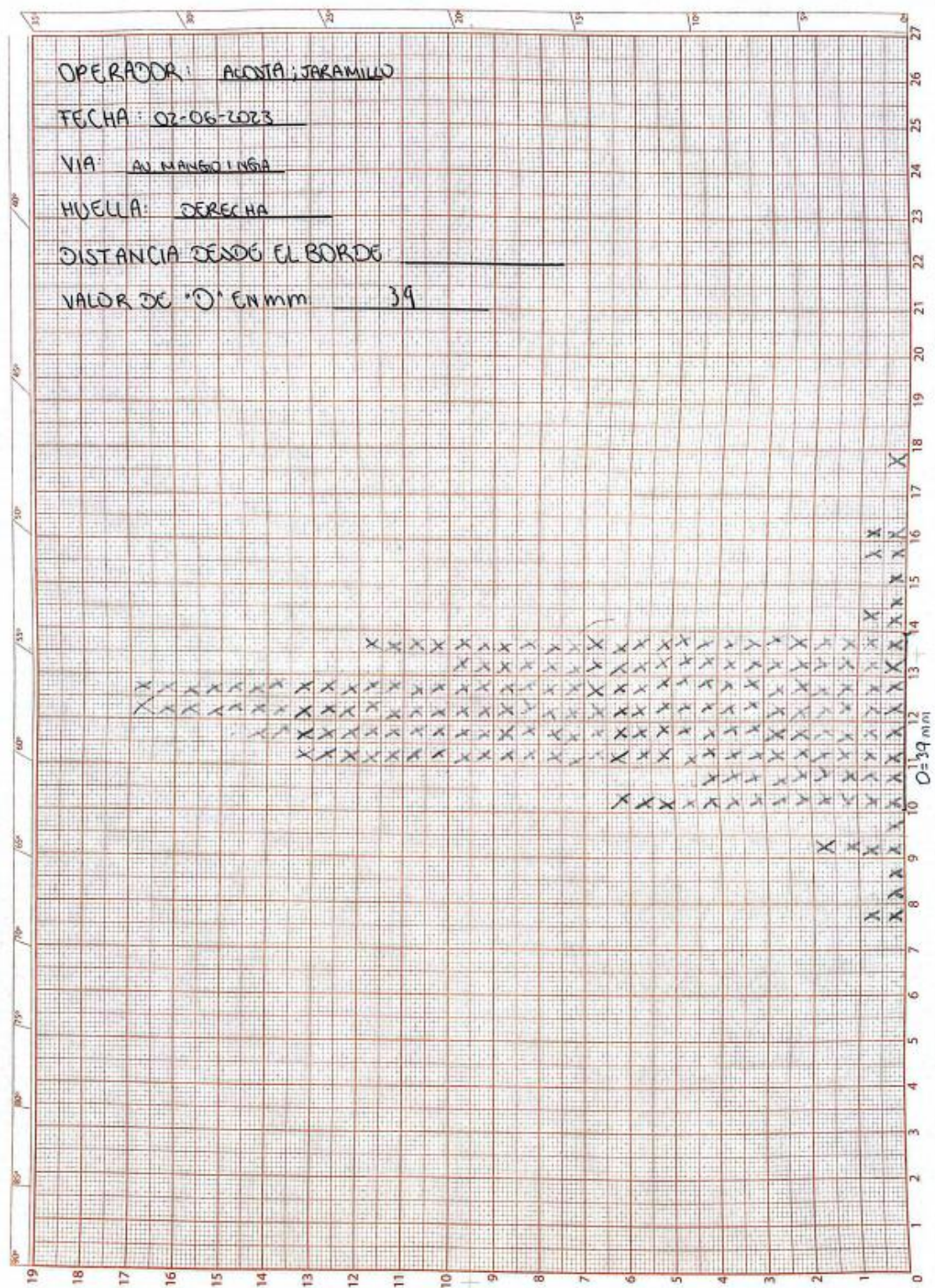
D = 76 mm



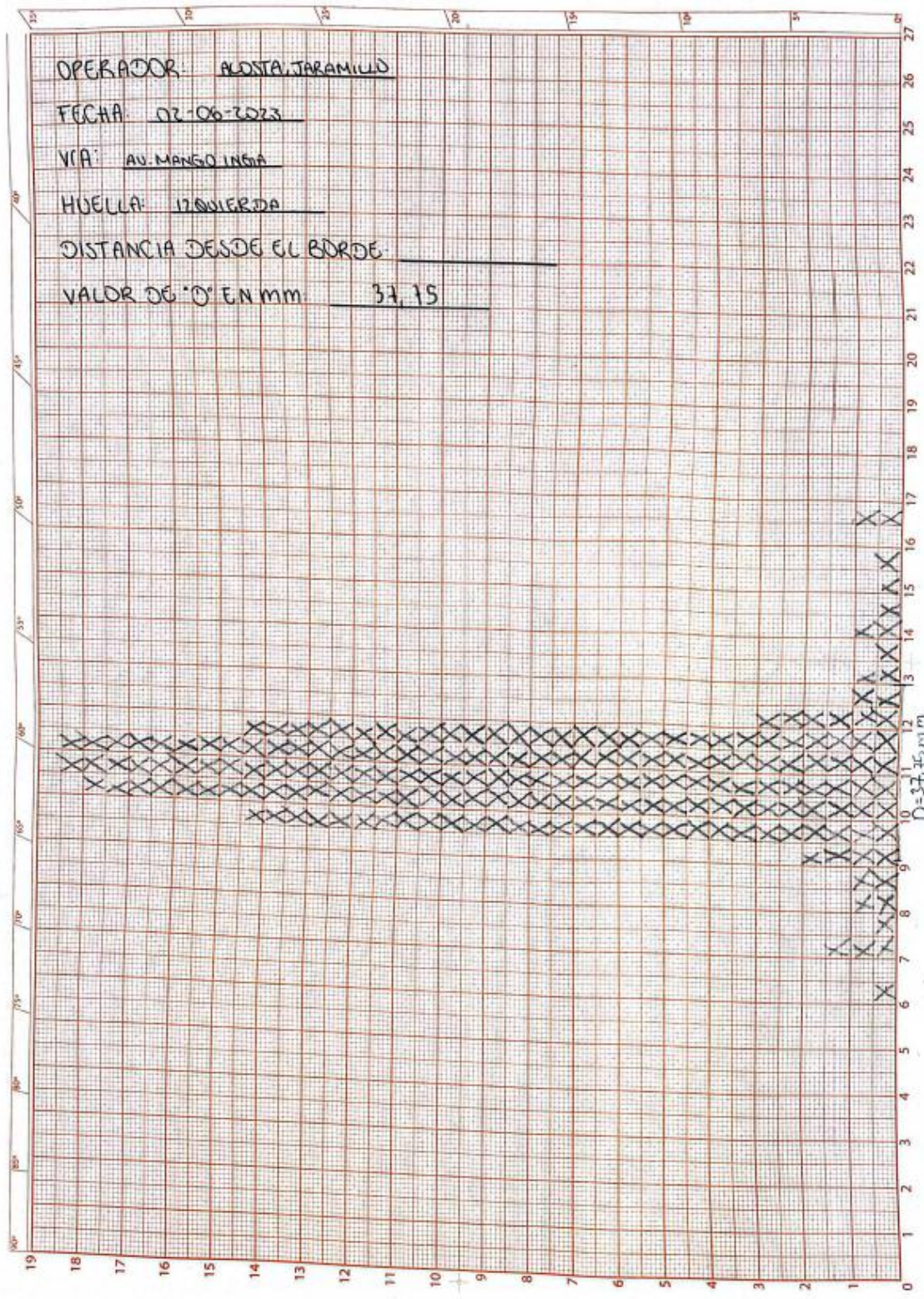


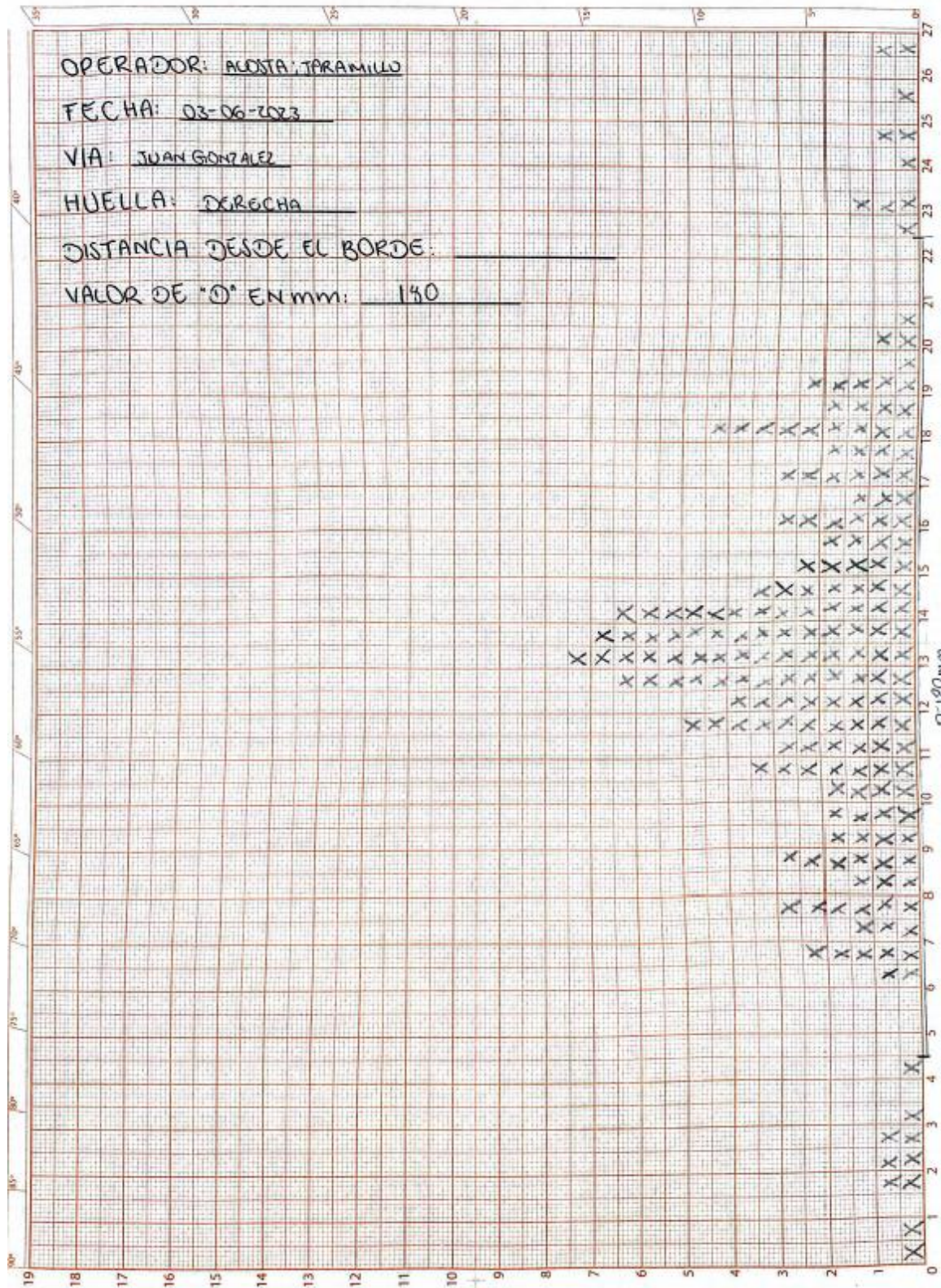


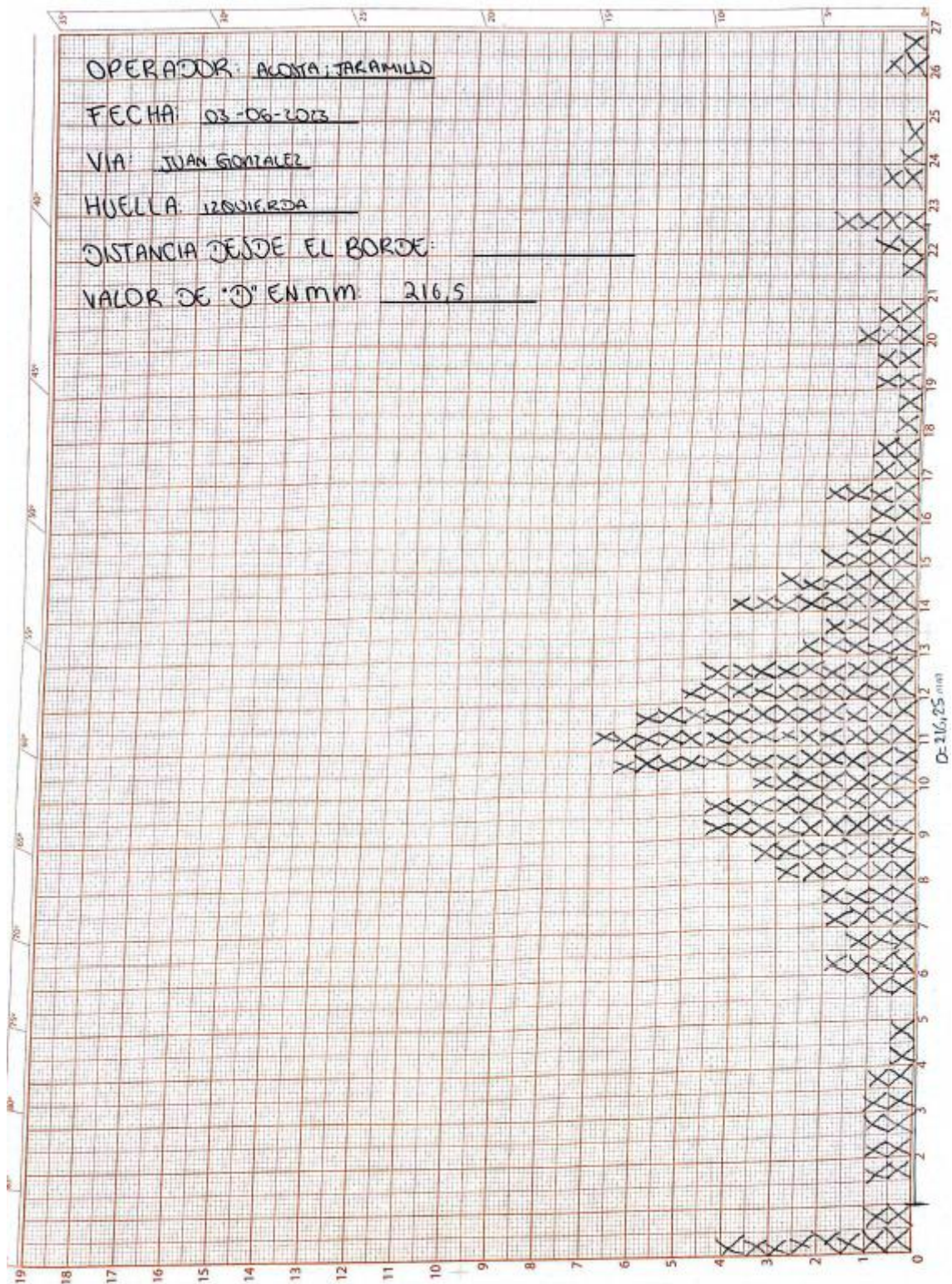


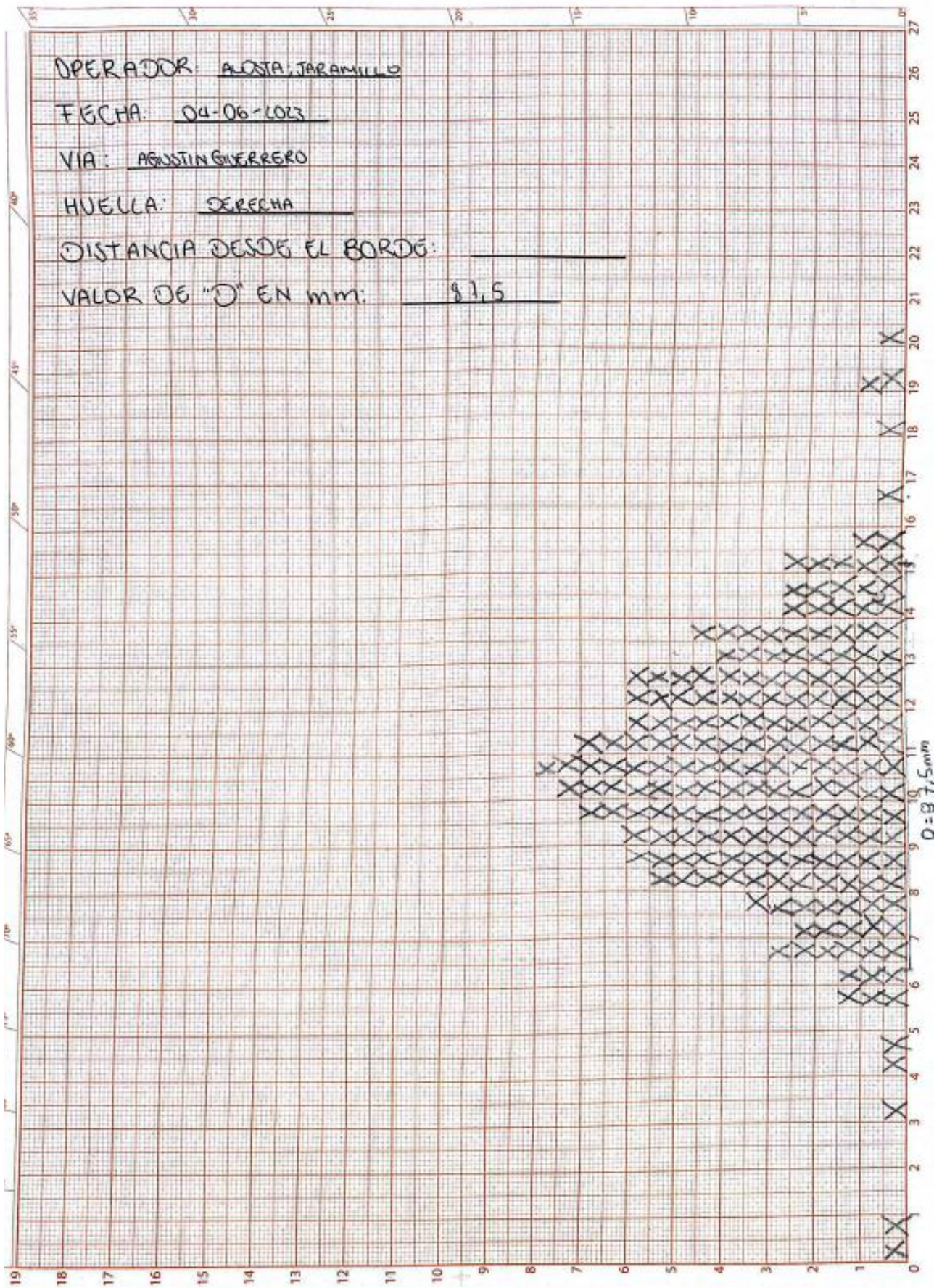


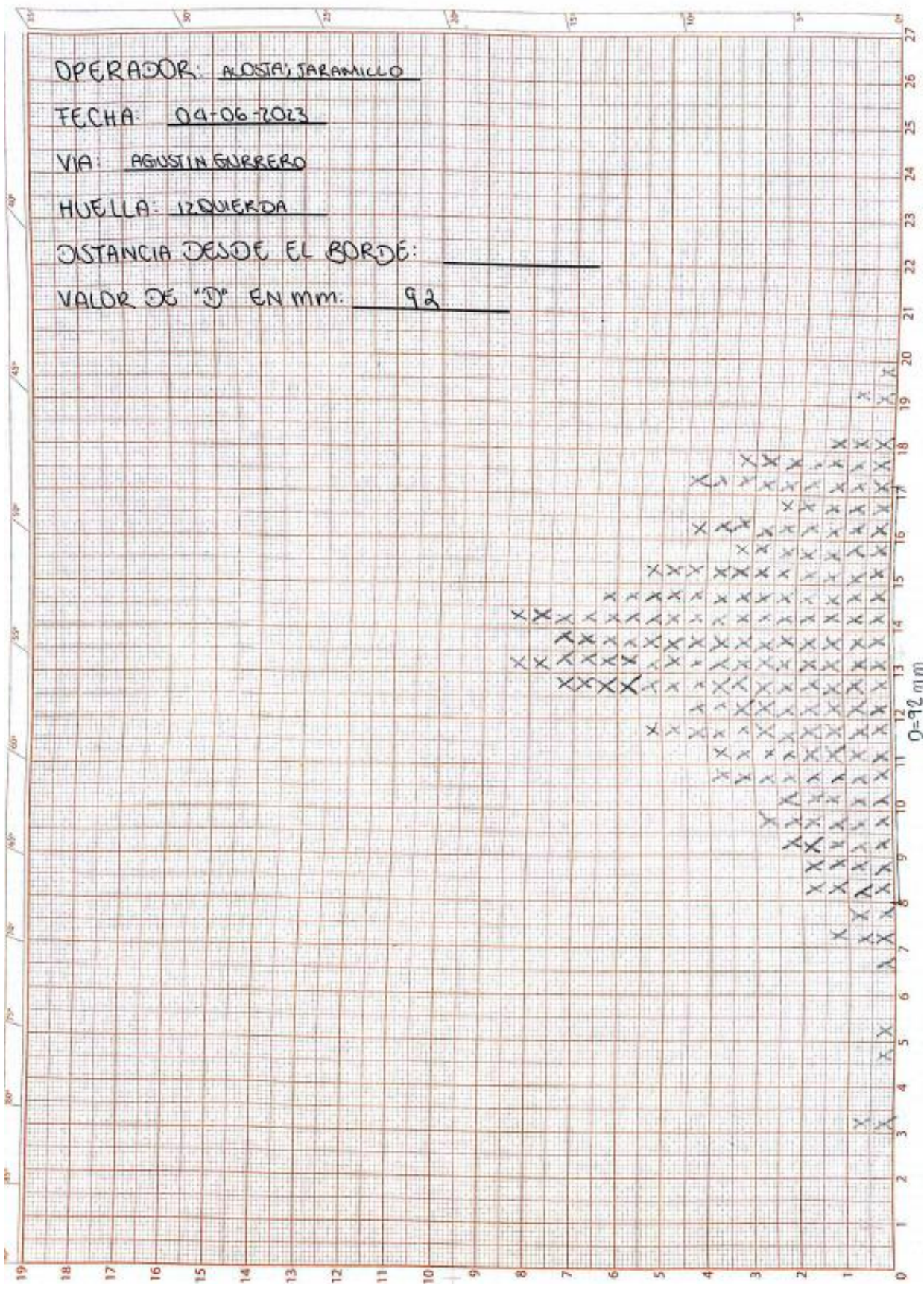
Scanned with CamScanner

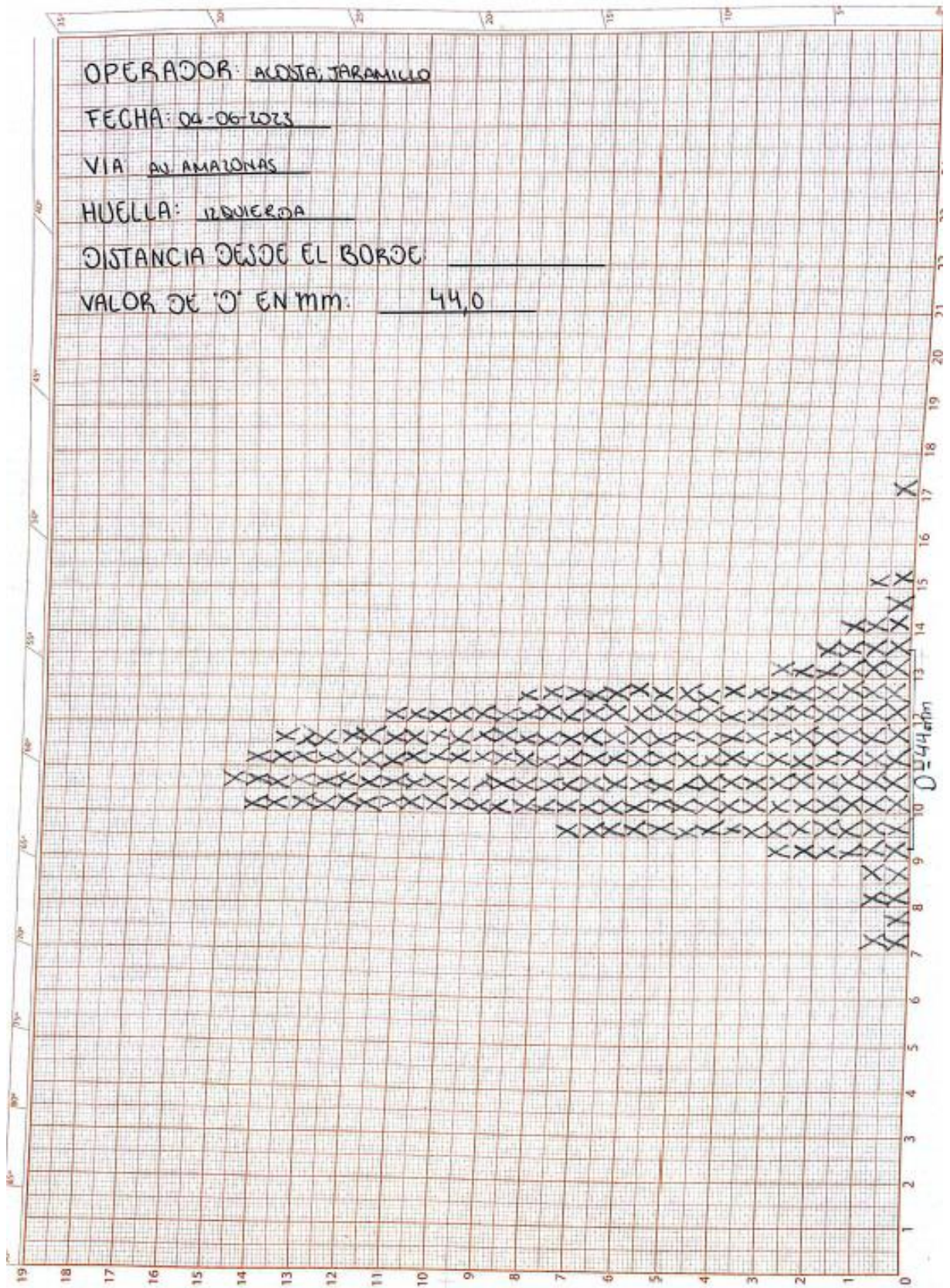


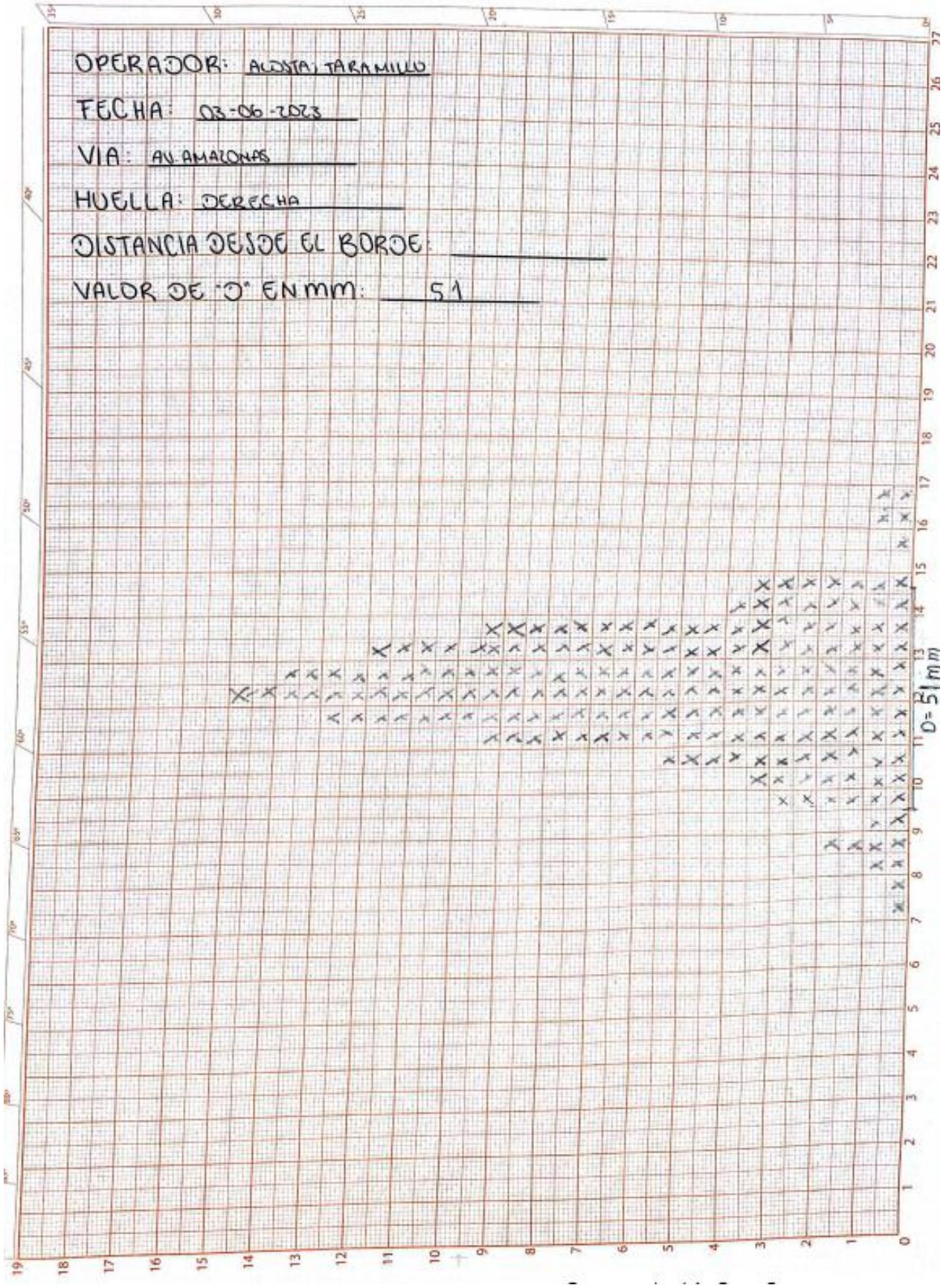












OPERADOR: ALDOSTA, JARAMILLO

FECHA: 03-06-2023

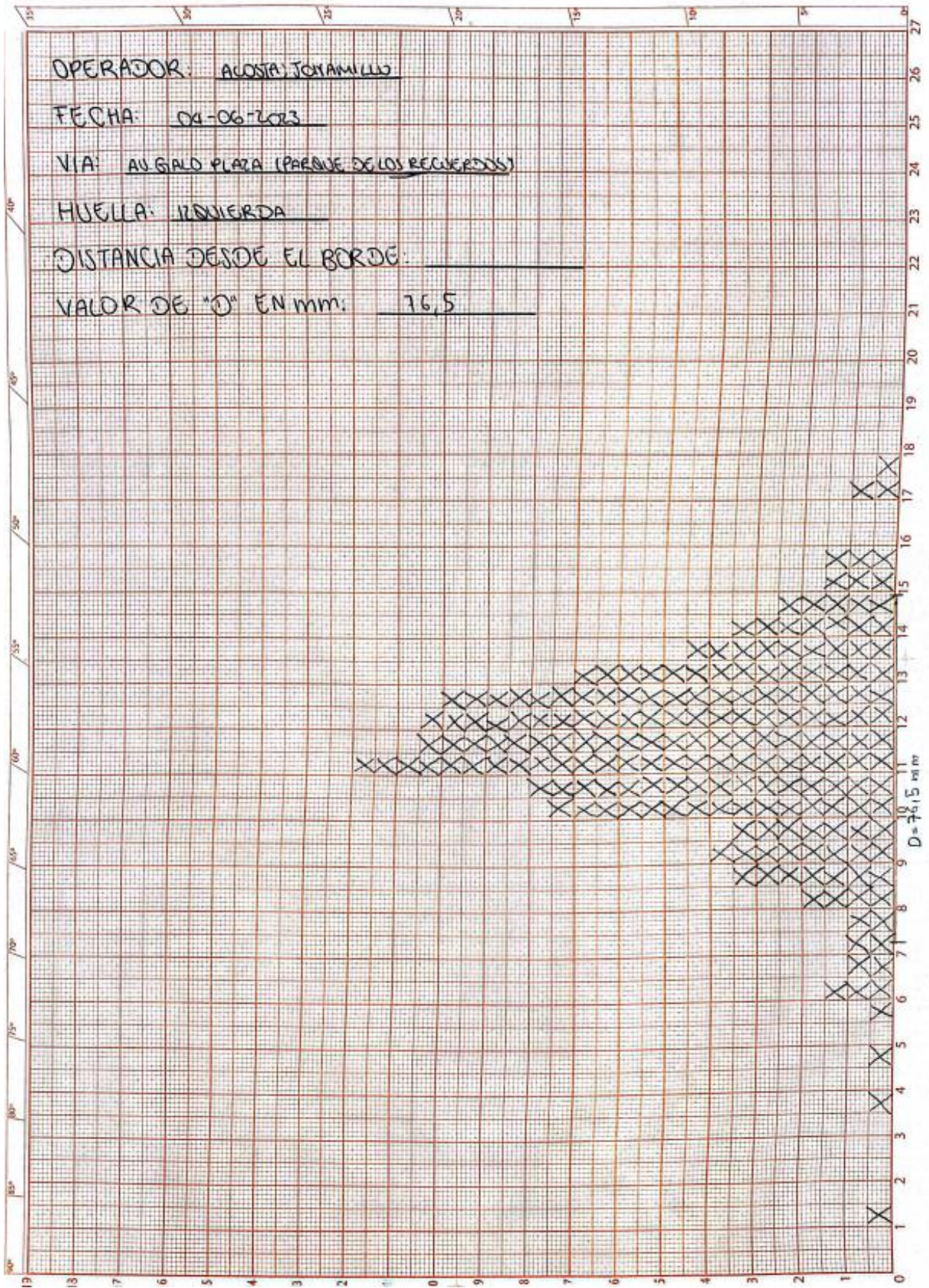
VIA: AV. AMAZONAS

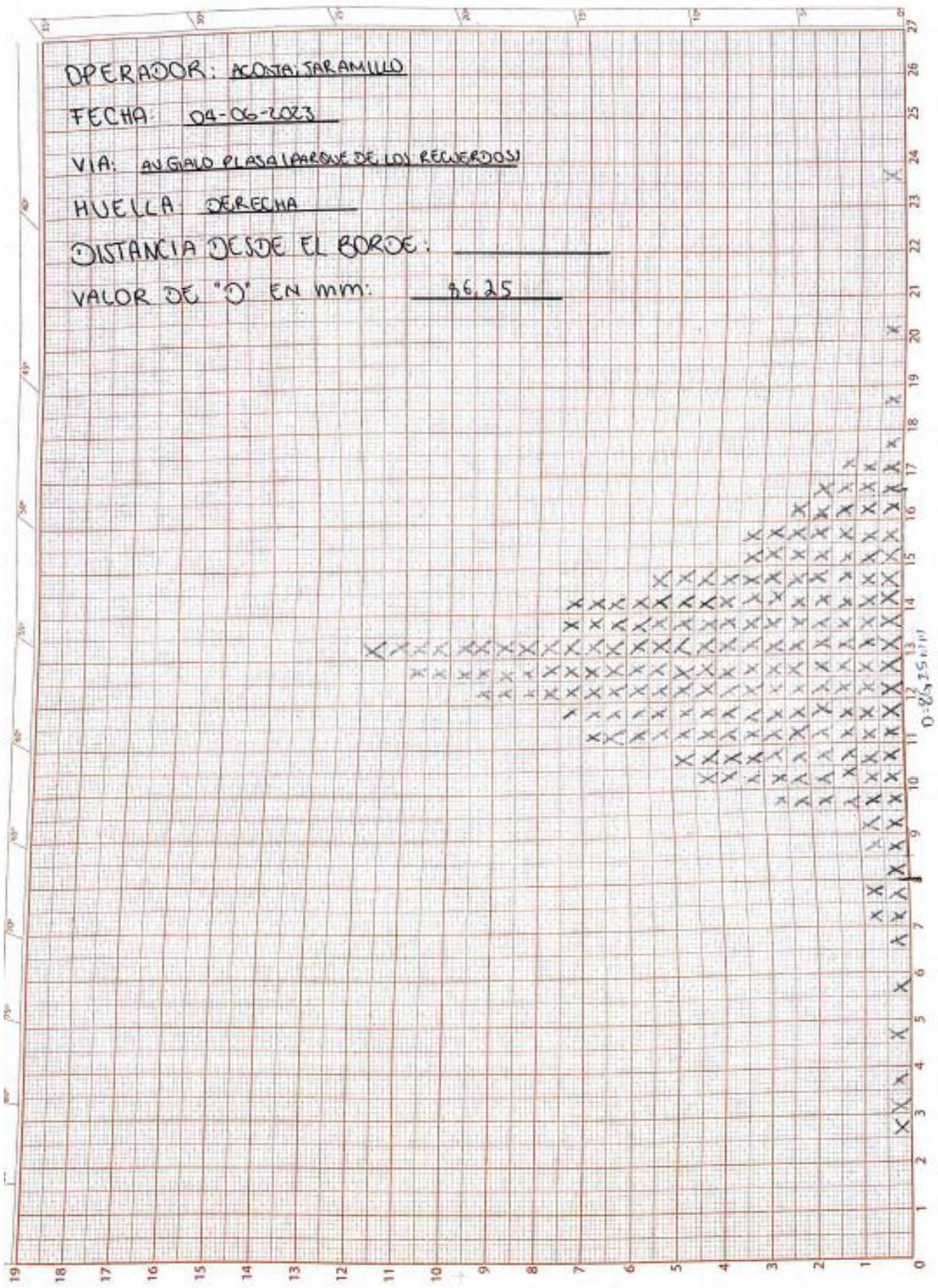
HUELLA: DERECHA

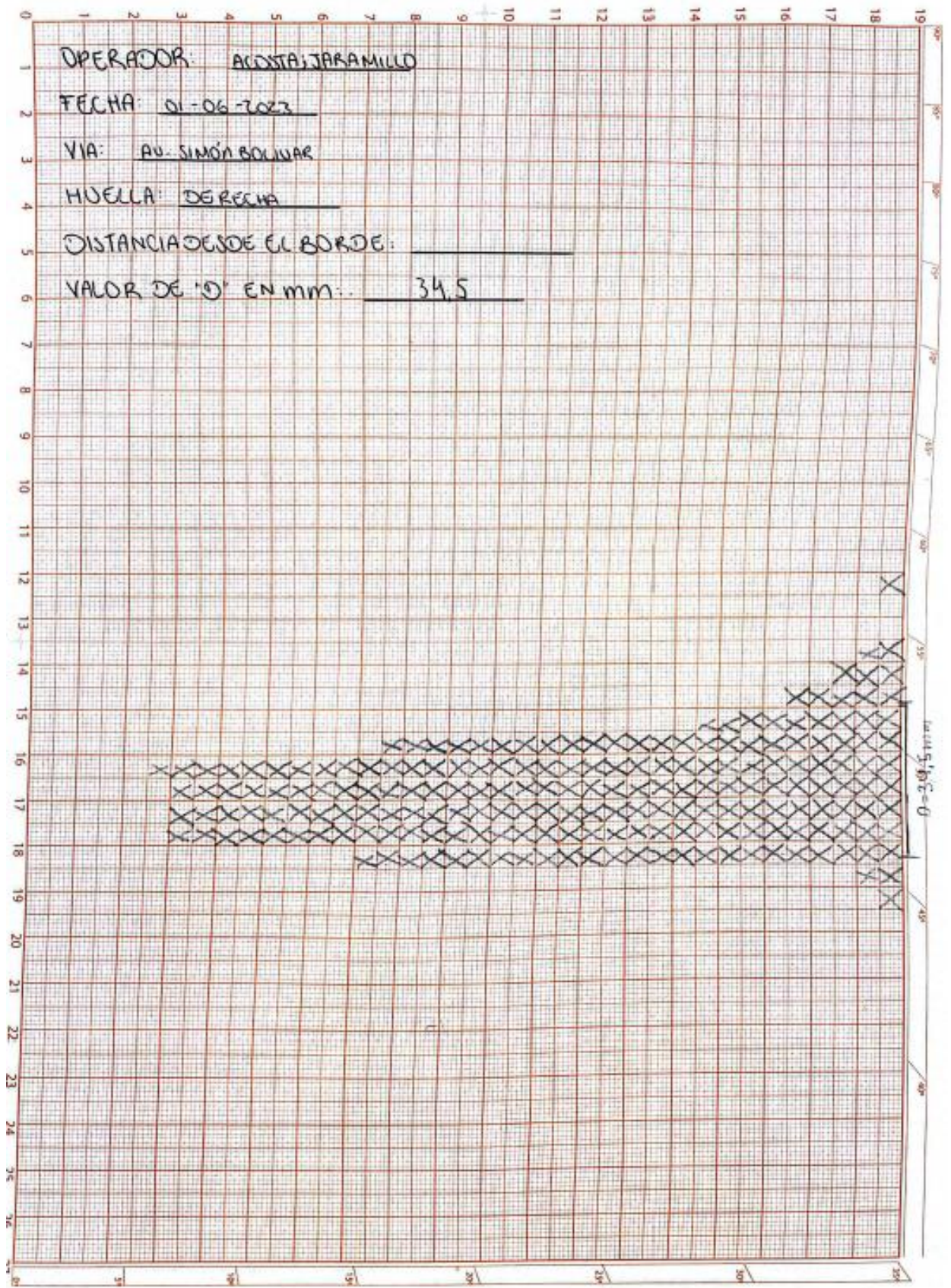
DISTANCIA DESDE EL BORDE: _____

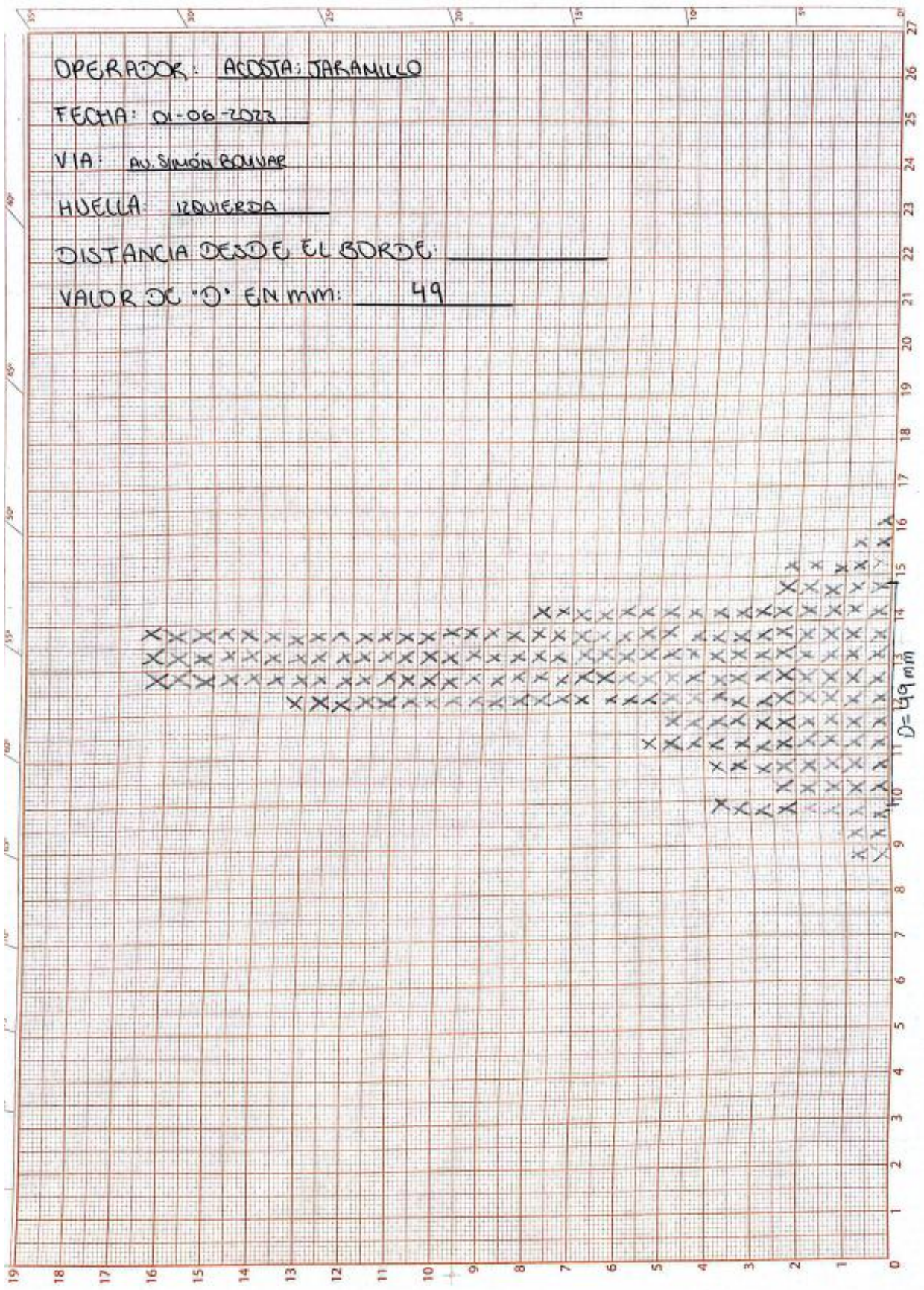
VALOR DE "D" EN MM: 51

D=51mm









OPERADOR: ACOSTA, JARAMILLO

FECHA: 01-06-2023

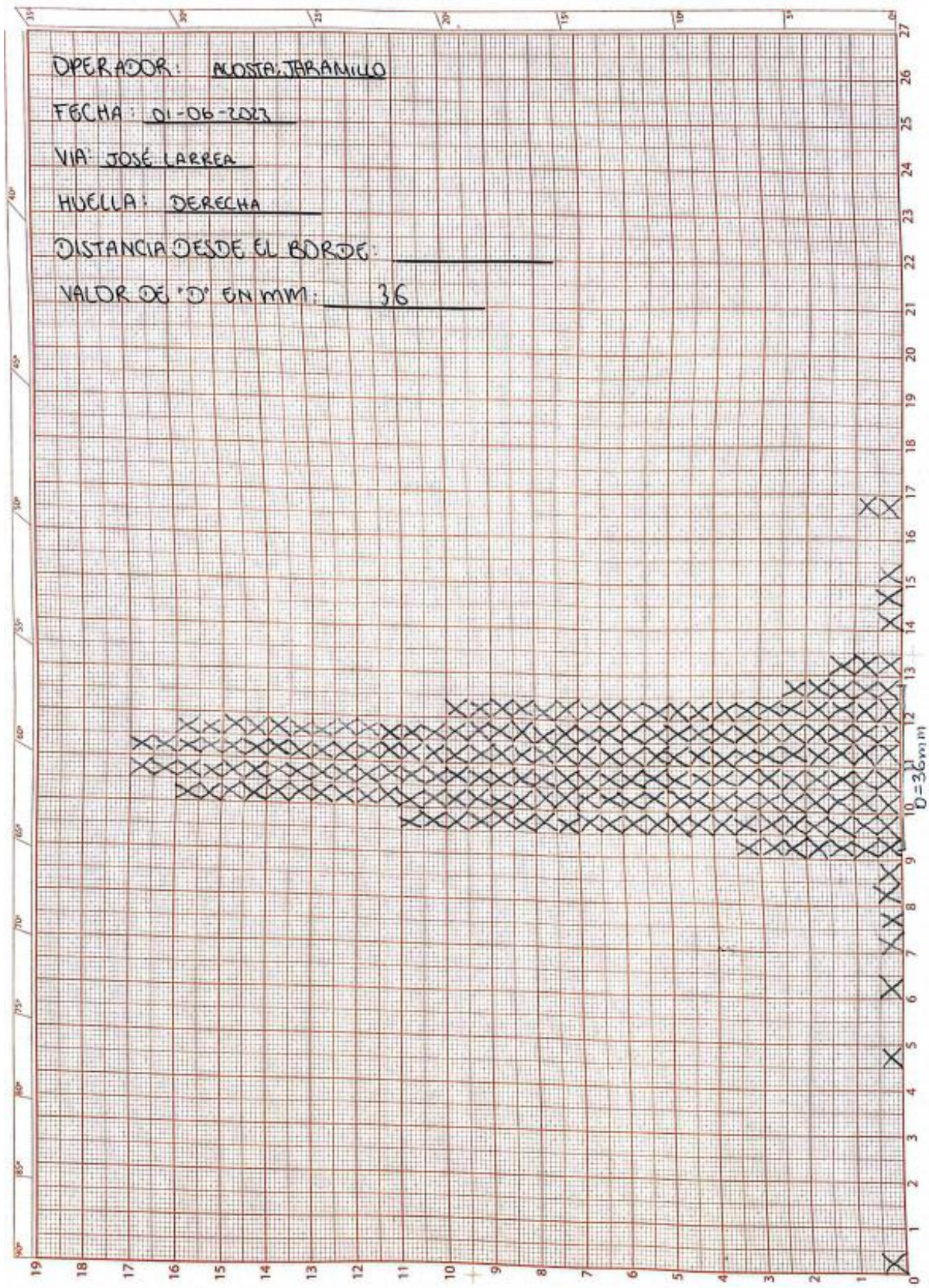
VIA: AV. SIMÓN BOLÍVAR

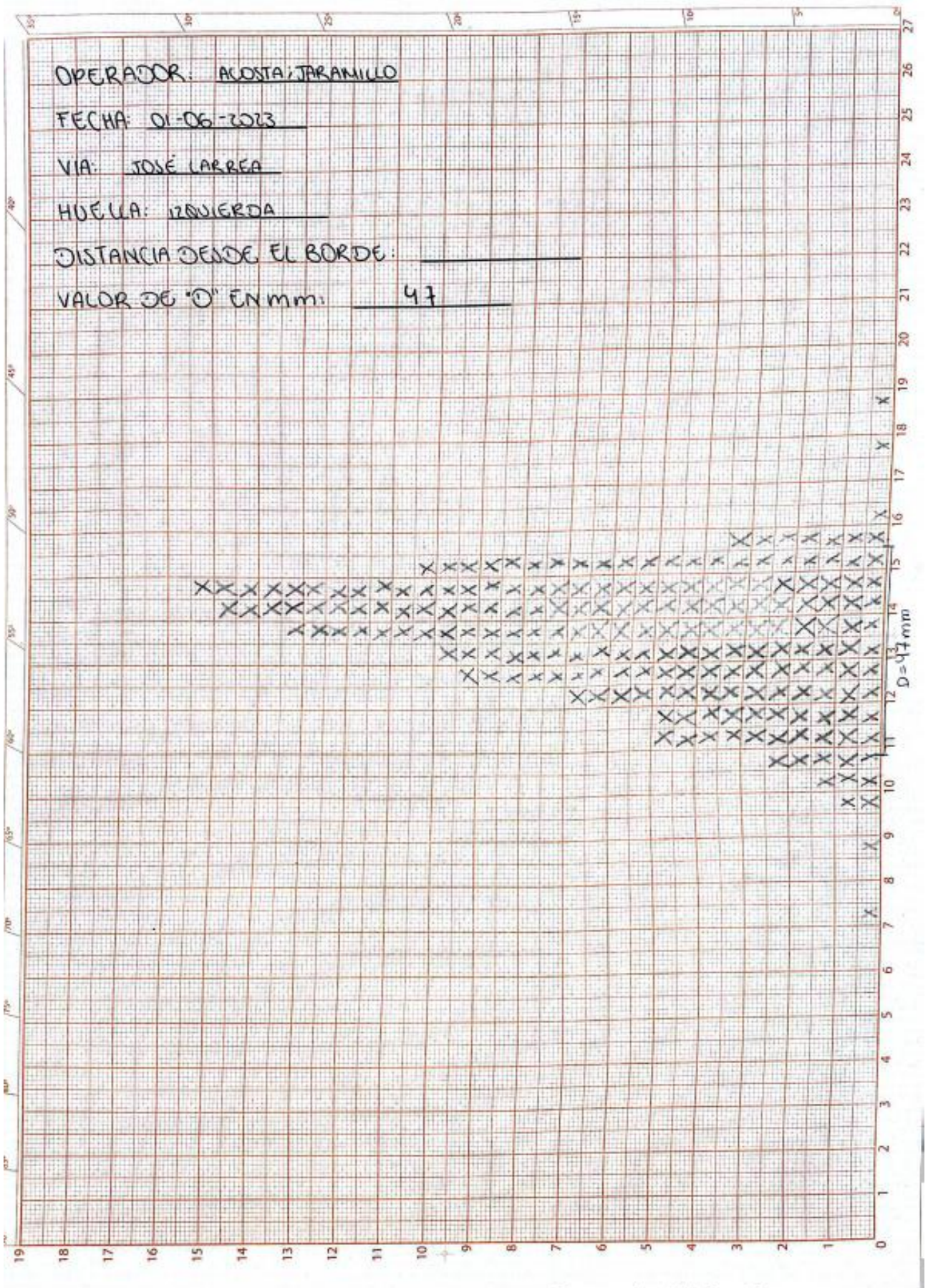
HUELLA: IZQUIERDA

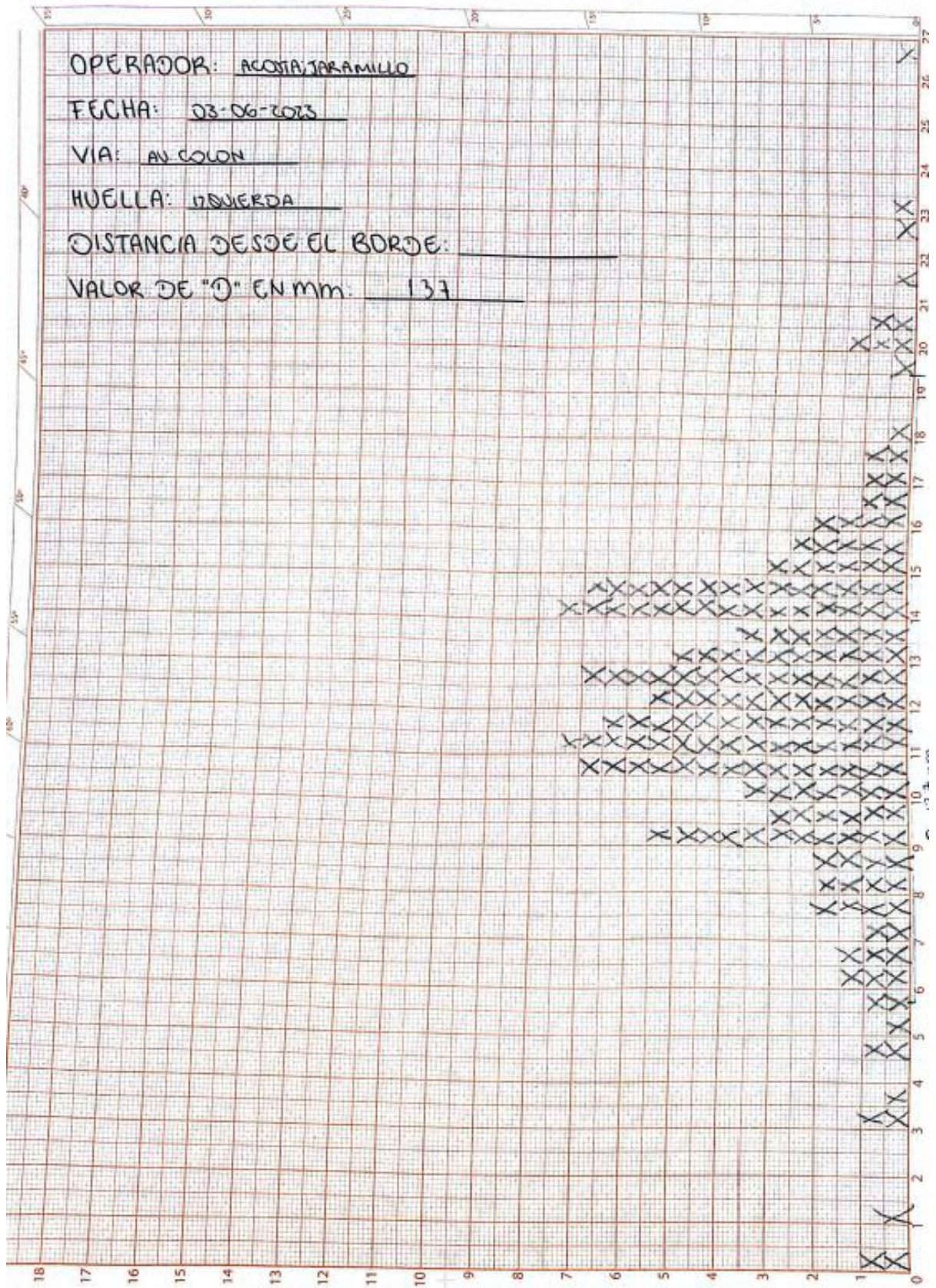
DISTANCIA DESDE EL BORDE:

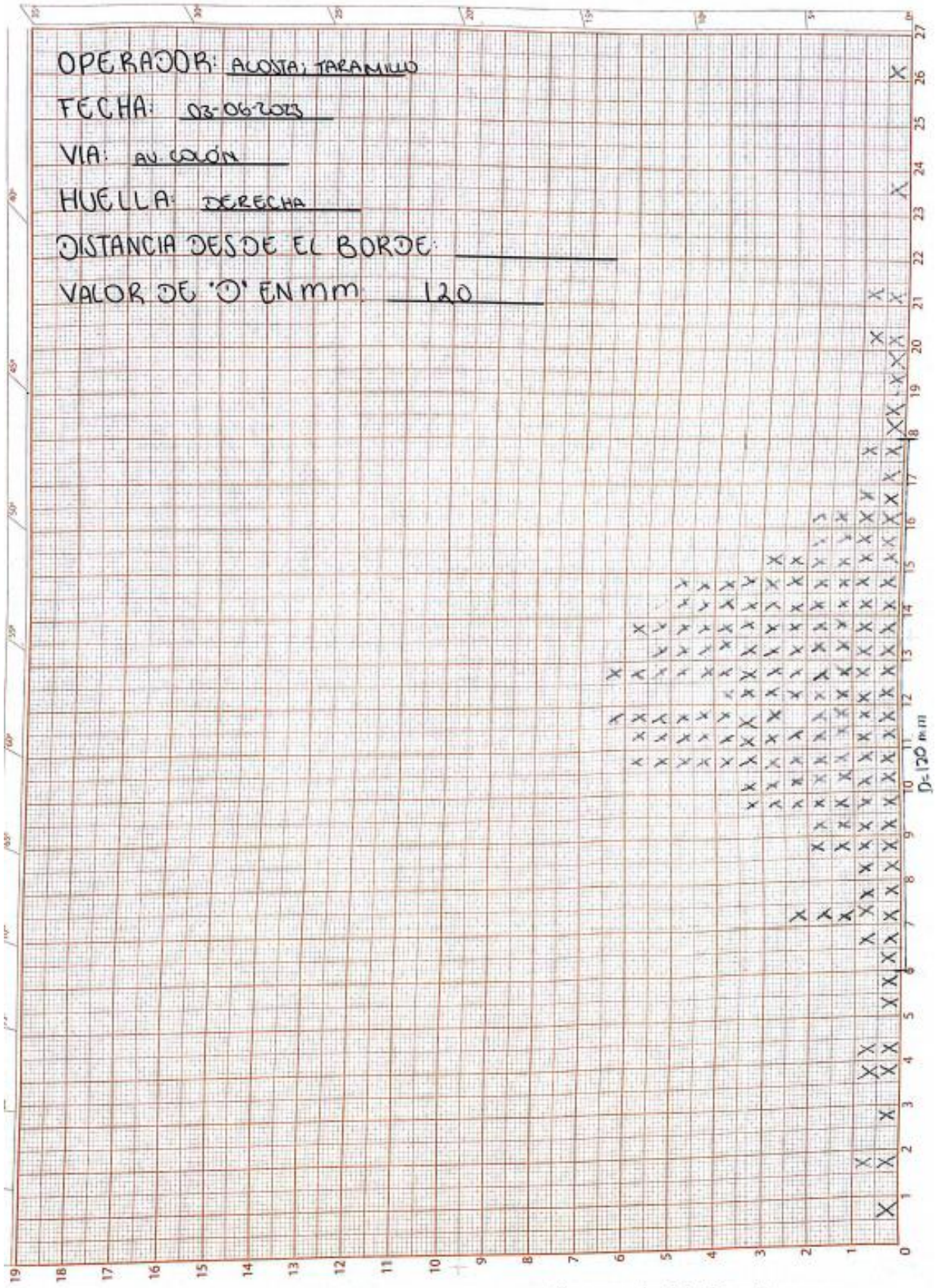
VALOR DE "D" EN mm: 49

D=49 mm









Anexo 2

En este anexo se puede encontrar los datos sin calibrar de la rugosidad para calibración.

SIMON BOLIVAR	
CHAINAGE	ROUGH_2
100	244
200	178
300	217
400	259

898

AGUSTIN GUERRERO	
CHAINAGE	ROUGH_2
100	546
200	1062
300	679
400	509

2796

JOSE LARREA	
ABS.	ROUGH_2
100	389
200	334
300	99
400	114

936

CHAINAGE	ROUGH_2
100	233
200	191
300	218
400	272

914

CHAINAGE	ROUGH_2
100	647
200	1156
300	694
400	532

3029

ABS.	ROUGH_2
100	368
200	341
300	109
400	125

943

CHAINAGE	ROUGH_2
100	222
200	219
300	207
400	270

918

CHAINAGE	ROUGH_2
100	766
200	1094
300	701
400	562

3123

ABS.	ROUGH_2
100	374
200	326
300	125
400	129

954

CHAINAGE	ROUGH_2
100	226
200	178

CHAINAGE	ROUGH_2
100	686
200	1017

ABS.	ROUGH_2
100	401
200	293

300	188
400	266

858

300	709
400	561

2973

300	123
400	116

933

CHAINAGE	ROUGH_2
100	210
200	189
300	186
400	269

854

CHAINAGE	ROUGH_2
100	638
200	1071
300	745
400	618

3072

ABS.	ROUGH_2
100	348
200	310
300	121
400	125
	904

**GALO PLAZA-
PARQUES**

ABS.	ROUGH_2
100	680
200	468
300	397
400	415

1960

AMAZONAS

ABS.	ROUGH_2
100	344
200	187
300	285
400	232

1048

MANGO INGA

CHAINAGE	ROUGH_2
100	175
200	171
300	132
400	198

676

ABS.	ROUGH_2
100	706
200	459
300	347
400	370

1882

ABS.	ROUGH_2
100	362
200	184
300	330
400	242

1118

CHAINAGE	ROUGH_2
100	184
200	166
300	121
400	182

653

ABS.	ROUGH_2
100	643
200	482
300	357
400	408

1890

ABS.	ROUGH_2
100	394
200	188
300	302
400	262

1146

CHAINAGE	ROUGH_2
100	176
200	161
300	124
400	177

638

ABS.	ROUGH_2
100	700
200	504
300	342
400	370

ABS.	ROUGH_2
100	377
200	243
300	308
400	251

CHAINAGE	ROUGH_2
100	165
200	165
300	126
400	187

1916

ABS.	ROUGH_2
100	673
200	474
300	378
400	445

1970

1179

ABS.	ROUGH_2
100	356
200	232
300	305
400	261

1154

643

CHAINAGE	ROUGH_2
100	170
200	152
300	111
400	174

607

JUAN GONZALEZ	
ABS.	ROUGH_2
100	2150
200	1919
300	1850
400	1196
7115	

COLON	
ABS.	ROUGH_2
100	856
200	1117
300	936
400	933
3842	

AV. EL INCA	
CHAINAGE	ROUGH_2
100	723
200	706
300	725
400	582
2736	

ABS.	ROUGH_2
100	2204
200	2081
300	1832
400	1506
7623	

ABS.	ROUGH_2
100	900
200	1253
300	798
400	944
3895	

CHAINAGE	ROUGH_2
100	690
200	670
300	694
400	570
2624	

ABS.	ROUGH_2
100	2230
200	1968
300	2088
400	1485
7771	

ABS.	ROUGH_2
100	941
200	1236
300	771
400	912
3860	

CHAINAGE	ROUGH_2
100	662
200	655
300	706
400	586
2609	

ABS.	ROUGH_2
100	2286
200	2074
300	1690
400	1451
7501	

ABS.	ROUGH_2
100	820
200	1227
300	821
400	1010
3878	

CHAINAGE	ROUGH_2
100	695
200	684
300	721
400	593
2693	

ABS.	ROUGH_2
100	2218
200	1967
300	1572
400	1392
	7149

ABS.	ROUGH_2
100	682
200	1227
300	764
400	1008
	3681

CHAINAGE	ROUGH_2
100	697
200	678
300	721
400	609
	2705

AV. 10 DE AGOSTO	
CHAINAGE	ROUGH_2

AV. REPUBLICA	
CHAINAGE	ROUGH_2

CALLE JORGE DROM	
CHAINAGE	ROUGH_2

100	1920
200	1289
300	1015
400	1218

5442

100	463
200	453
300	495
400	401

1812

100	615
200	1047
300	705
400	763

3130

CHAINAGE	ROUGH_2
100	2107
200	1357
300	1189
400	1261

5914

CHAINAGE	ROUGH_2
100	529
200	490
300	503
400	371

1893

CHAINAGE	ROUGH_2
100	664
200	1037
300	715
400	725

3141

CHAINAGE	ROUGH_2
100	2093
200	1240
300	1170
400	1248

5751

CHAINAGE	ROUGH_2
100	556
200	513
300	508
400	425

2002

CHAINAGE	ROUGH_2
100	684
200	1032
300	757
400	762

3235

CHAINAGE	ROUGH_2
100	1899
200	1354
300	1080
400	1308

5641

CHAINAGE	ROUGH_2
100	491
200	473
300	514
400	395

1873

CHAINAGE	ROUGH_2
100	680
200	1064
300	744
400	721

3209

CHAINAGE	ROUGH_2
100	2007

CHAINAGE	ROUGH_2
100	513

CHAINAGE	ROUGH_2
100	650

200	1304
300	1082
400	1248
	5641

200	517
300	462
400	393
	1885

200	1034
300	755
400	802
	3241

Anexo 3

Tabla con los datos de BI cada 100, 1000 m y el índice de IRI de la vía analizada Av.

Pichincha (Ayora) hasta Galo Plaza Laso (Ibarra)).

Distancia	BI(100m)	BI(1000m)	IRI	IRI		Observaciones
					MOD	
100	381	3810,00	3,19		3,19	Inicio del trayecto Asfalto
200	305	3050,00	2,85		2,85	
300	297	2970,00	2,81		2,81	
400	327	3270,00	2,95		2,95	
500	397	3970,00	3,26		3,26	
600	281	2810,00	2,74		2,74	
700	311	3110,00	2,88		2,88	
800	339	3390,00	3,00		3,00	
900	392	3920,00	3,24		3,24	
1000	437	4370,00	3,44		3,44	
1100	329	3290,00	2,96		2,96	
1200	306	3060,00	2,85		2,85	
1300	312	3120,00	2,88		2,88	
1400	552	5520,00	3,96		3,13	reductor de velocidad
1500	504	5040,00	3,74		3,13	reductor de velocidad
1600	421	4210,00	3,37		3,37	
1700	317	3170,00	2,90		2,90	
1800	390	3900,00	3,23		3,23	
1900	564	5640,00	4,01		3,09	reductor de velocidad

2000	328	3280,00	2,95	2,95	
2100	425	4250,00	3,39	2,90	reductor de velocidad
2200	305	3050,00	2,85	2,85	
2300	473	4730,00	3,60	2,87	reductor de velocidad
2400	313	3130,00	2,89	2,89	
2500	506	5060,00	3,75	2,92	reductor de velocidad
2600	326	3260,00	2,94	2,94	
2700	268	2680,00	2,68	2,68	
2800	308	3080,00	2,86	2,86	
2900	319	3190,00	2,91	2,91	
3000	296	2960,00	2,81	2,81	
3100	207	2070,00	2,41	2,41	
3200	220	2200,00	2,47	2,47	
3300	278	2780,00	2,73	2,73	
3400	284	2840,00	2,76	2,76	
3500	286	2860,00	2,77	2,77	
3600	239	2390,00	2,55	2,55	
3700	214	2140,00	2,44	2,44	
3800	275	2750,00	2,72	2,72	
3900	324	3240,00	2,94	2,94	
4000	285	2850,00	2,76	2,76	
4100	367	3670,00	3,13	3,13	
4200	176	1760,00	2,27	2,27	
4300	238	2380,00	2,55	2,55	
4400	240	2400,00	2,56	2,56	

4500	200	2000,00	2,38	2,38	
4600	270	2700,00	2,69	2,69	
4700	197	1970,00	2,37	2,37	
4800	221	2210,00	2,47	2,47	
4900	233	2330,00	2,53	2,53	
5000	252	2520,00	2,61	2,61	
5100	205	2050,00	2,40	2,40	
5200	296	2960,00	2,81	2,81	
5300	227	2270,00	2,50	2,50	
5400	277	2770,00	2,72	2,72	
5500	240	2400,00	2,56	2,56	
5600	311	3110,00	2,88	2,88	
5700	261	2610,00	2,65	2,65	
5800	441	4410,00	3,46	2,70	reductor de velocidad
5900	284	2840,00	2,76	2,76	
6000	487	4870,00	3,67	2,70	reductor de velocidad
6100	257	2570,00	2,63	2,63	
6200	266	2660,00	2,68	2,68	
6300	238	2380,00	2,55	2,55	
6400	324	3240,00	2,94	2,94	
6500	286	2860,00	2,77	2,77	
6600	332	3320,00	2,97	2,97	
6700	372	3720,00	3,15	3,15	
6800	310	3100,00	2,87	2,87	
6900	277	2770,00	2,72	2,72	

7000	294	2940,00	2,80	2,80	
7100	314	3140,00	2,89	2,89	
7200	257	2570,00	2,63	2,63	
7300	293	2930,00	2,80	2,80	
7400	356	3560,00	3,08	3,08	
7500	295	2950,00	2,81	2,81	
7600	340	3400,00	3,01	3,01	
7700	350	3500,00	3,05	3,05	
7800	255	2550,00	2,63	2,63	
7900	314	3140,00	2,89	2,89	
8000	279	2790,00	2,73	2,73	
8100	307	3070,00	2,86	2,86	
8200	298	2980,00	2,82	2,82	
8300	237	2370,00	2,55	2,55	
8400	341	3410,00	3,01	3,01	
8500	317	3170,00	2,90	2,90	
8600	371	3710,00	3,15	3,15	
8700	264	2640,00	2,67	2,67	
8800	252	2520,00	2,61	2,61	
8900	344	3440,00	3,03	3,03	
9000	329	3290,00	2,96	2,96	
9100	318	3180,00	2,91	2,91	
9200	388	3880,00	3,22	3,22	
9300	366	3660,00	3,12	3,12	
9400	289	2890,00	2,78	2,78	

9500	440	4400,00	3,46	3,46	
9600	315	3150,00	2,90	2,90	
9700	358	3580,00	3,09	3,09	
9800	287	2870,00	2,77	2,77	
9900	294	2940,00	2,80	2,80	
10000	249	2490,00	2,60	2,60	
10100	242	2420,00	2,57	2,57	Desvio Olmedo
10200	448	4480,00	3,49	3,49	
10300	371	3710,00	3,15	3,15	
10400	302	3020,00	2,84	2,84	
10500	278	2780,00	2,73	2,73	
10600	326	3260,00	2,94	2,94	
10700	380	3800,00	3,19	3,19	
10800	468	4680,00	3,58	3,58	
10900	384	3840,00	3,21	3,21	
11000	499	4990,00	3,72	3,72	
11100	271	2710,00	2,70	2,70	
11200	272	2720,00	2,70	2,70	
11300	260	2600,00	2,65	2,65	
11400	628	6280,00	4,30	4,30	
11500	373	3730,00	3,16	3,16	
11600	394	3940,00	3,25	3,25	
11700	251	2510,00	2,61	2,61	
11800	311	3110,00	2,88	2,88	
11900	509	5090,00	3,77	3,77	

12000	439	4390,00	3,45	3,45	
12100	367	3670,00	3,13	3,13	
12200	337	3370,00	2,99	2,99	Salida Olmedo
12300	442	4420,00	3,47	3,47	
12400	495	4950,00	3,70	3,70	Laguna de Agua
12500	400	4000,00	3,28	3,28	
12600	430	4300,00	3,41	3,41	
12700	300	3000,00	2,83	2,83	
12800	355	3550,00	3,07	3,07	
12900	308	3080,00	2,86	2,86	
13000	395	3950,00	3,25	3,25	
13100	345	3450,00	3,03	3,03	
13200	246	2460,00	2,59	2,59	
13300	296	2960,00	2,81	2,81	
13400	246	2460,00	2,59	2,59	
13500	243	2430,00	2,57	2,57	
13600	548	5480,00	3,94	3,94	
13700	423	4230,00	3,38	3,38	
13800	339	3390,00	3,00	3,00	
13900	249	2490,00	2,60	2,60	
14000	311	3110,00	2,88	2,88	
14100	262	2620,00	2,66	2,66	
14200	263	2630,00	2,66	2,66	
14300	229	2290,00	2,51	2,51	
14400	303	3030,00	2,84	2,84	

14500	211	2110,00	2,43	2,43	
14600	313	3130,00	2,89	2,89	4 esquinas
14700	215	2150,00	2,45	2,45	
14800	238	2380,00	2,55	2,55	
14900	272	2720,00	2,70	2,70	
15000	205	2050,00	2,40	2,40	
15100	263	2630,00	2,66	2,66	
15200	326	3260,00	2,94	2,94	
15300	373	3730,00	3,16	3,16	
15400	298	2980,00	2,82	2,82	
15500	270	2700,00	2,69	2,69	
15600	295	2950,00	2,81	2,81	
15700	341	3410,00	3,01	3,01	
15800	326	3260,00	2,94	2,94	
15900	265	2650,00	2,67	2,67	
16000	357	3570,00	3,08	3,08	
16100	449	4490,00	3,50	3,50	
16200	550	5500,00	3,95	3,95	Inicio de descenso
16300	305	3050,00	2,85	2,85	
16400	195	1950,00	2,36	2,36	
16500	281	2810,00	2,74	2,74	
16600	692	6920,00	4,59	4,59	
16700	294	2940,00	2,80	2,80	
16800	367	3670,00	3,13	3,13	
16900	277	2770,00	2,72	2,72	

17000	270	2700,00	2,69	2,69	
17100	255	2550,00	2,63	2,63	
17200	537	5370,00	3,89	3,89	
17300	608	6080,00	4,21	4,21	
17400	379	3790,00	3,18	3,18	
17500	491	4910,00	3,69	3,69	
17600	382	3820,00	3,20	3,20	
17700	338	3380,00	3,00	3,00	
17800	365	3650,00	3,12	3,12	
17900	436	4360,00	3,44	3,44	
18000	307	3070,00	2,86	2,86	
18100	374	3740,00	3,16	3,16	Límite Provincial Pichincha
18200	581	5810,00	4,09	4,09	
18300	504	5040,00	3,74	3,74	
18400	490	4900,00	3,68	3,68	
18500	484	4840,00	3,65	3,65	
18600	524	5240,00	3,83	3,83	
18700	468	4680,00	3,58	3,58	
18800	656	6560,00	4,43	4,43	
18900	443	4430,00	3,47	3,47	
19000	488	4880,00	3,67	3,67	
19100	580	5800,00	4,09	4,09	
19200	680	6800,00	4,53	4,53	
19300	760	7600,00	4,89	4,89	
19400	1489	14890,00	8,17	8,17	Fin asfaltado/Inicio adoquinado Zuleta

19500	1048	10480,00	6,19	6,19	
19600	1375	13750,00	7,65	7,11	reductor de velocidad
19700	1461	14610,00	8,04	8,04	
19800	1762	17620,00	9,39	8,03	Rejilla
19900	1454	14540,00	8,01	7,05	reductor de velocidad
20000	1019	10190,00	6,06	6,06	
20100	920	9200,00	5,61	5,61	
20200	969	9690,00	5,83	5,83	
20300	958	9580,00	5,78	5,78	
20400	1110	11100,00	6,46	6,46	Desvio San Pablo
20500	1364	13640,00	7,61	6,08	reductor de velocidad
20600	938	9380,00	5,69	6,92	
20700	1058	10580,00	6,23	5,34	
20800	782	7820,00	4,99	5,81	
20900	872	8720,00	5,40	4,29	Fin de adoquinado/reductor de velocidad/Inicio Asfalto
21000	469	4690,00	3,59	4,46	
21100	456	4560,00	3,53	3,50	
21200	431	4310,00	3,42	3,56	
21300	468	4680,00	3,58	3,42	
21400	434	4340,00	3,43	3,86	
21500	592	5920,00	4,14	3,98	
21600	681	6810,00	4,54	3,87	reductor de velocidad
21700	470	4700,00	3,59	4,31	
21800	577	5770,00	4,07	4,57	

21900	908	9080,00	5,56	3,80	reductor de velocidad
22000	458	4580,00	3,54	3,54	
22100	501	5010,00	3,73	3,73	
22200	478	4780,00	3,63	3,63	
22300	578	5780,00	4,08	4,08	
22400	503	5030,00	3,74	3,74	
22500	547	5470,00	3,94	3,94	
22600	567	5670,00	4,03	4,03	
22700	610	6100,00	4,22	4,22	
22800	618	6180,00	4,26	4,26	
22900	545	5450,00	3,93	3,93	
23000	532	5320,00	3,87	3,87	Desvio Angochagua
23100	387	3870,00	3,22	3,22	
23200	589	5890,00	4,13	4,13	
23300	696	6960,00	4,61	4,61	
23400	490	4900,00	3,68	3,68	
23500	412	4120,00	3,33	3,33	
23600	522	5220,00	3,82	3,82	
23700	513	5130,00	3,78	3,78	
23800	465	4650,00	3,57	3,57	
23900	330	3300,00	2,96	2,96	
24000	494	4940,00	3,70	3,70	
24100	568	5680,00	4,03	4,03	
24200	471	4710,00	3,60	3,60	
24300	492	4920,00	3,69	3,69	

24400	451	4510,00	3,51	3,51	
24500	438	4380,00	3,45	3,45	
24600	526	5260,00	3,84	3,84	
24700	478	4780,00	3,63	3,63	
24800	464	4640,00	3,56	3,56	
24900	381	3810,00	3,19	3,19	
25000	465	4650,00	3,57	3,57	
25100	456	4560,00	3,53	3,53	
25200	561	5610,00	4,00	4,00	
25300	454	4540,00	3,52	3,52	
25400	527	5270,00	3,85	3,85	
25500	707	7070,00	4,66	4,66	
25600	785	7850,00	5,01	5,01	
25700	611	6110,00	4,22	4,22	
25800	592	5920,00	4,14	4,14	
25900	512	5120,00	3,78	3,78	
26000	653	6530,00	4,41	4,41	
26100	537	5370,00	3,89	3,89	
26200	590	5900,00	4,13	4,13	
26300	466	4660,00	3,57	3,57	
26400	516	5160,00	3,80	3,80	
26500	483	4830,00	3,65	3,65	
26600	681	6810,00	4,54	4,54	
26700	720	7200,00	4,71	4,09	entrada
26800	483	4830,00	3,65	3,65	

26900	762	7620,00	4,90	4,90	
27000	434	4340,00	3,43	3,43	
27100	454	4540,00	3,52	3,52	
27200	446	4460,00	3,48	3,48	
27300	473	4730,00	3,60	3,60	
27400	509	5090,00	3,77	3,77	
27500	519	5190,00	3,81	3,81	
27600	637	6370,00	4,34	4,34	
27700	551	5510,00	3,95	3,95	
27800	448	4480,00	3,49	3,49	
27900	361	3610,00	3,10	3,10	
28000	411	4110,00	3,33	3,33	
28100	568	5680,00	4,03	4,03	
28200	591	5910,00	4,13	4,13	
28300	380	3800,00	3,19	3,19	
28400	472	4720,00	3,60	3,60	
28500	574	5740,00	4,06	3,99	reductor de velocidad
28600	647	6470,00	4,39	4,39	
28700	416	4160,00	3,35	3,35	
28800	580	5800,00	4,09	4,09	
28900	464	4640,00	3,56	3,56	
29000	537	5370,00	3,89	3,89	
29100	679	6790,00	4,53	4,53	
29200	892	8920,00	5,49	5,49	
29300	1352	13520,00	7,55	7,55	Inicio de adoquin

29400	1465	14650,00	8,06	6,90	reductor de velocidad
29500	1063	10630,00	6,25	6,25	
29600	1120	11200,00	6,51	6,51	
29700	729	7290,00	4,75	4,75	
29800	1178	11780,00	6,77	6,77	
29900	1035	10350,00	6,13	6,13	
30000	1388	13880,00	7,71	6,74	reductor de velocidad
30100	1420	14200,00	7,86	6,74	reductor de velocidad
30200	1307	13070,00	7,35	7,35	
30300	1444	14440,00	7,96	6,47	reductor de velocidad
30400	916	9160,00	5,59	5,59	
30500	1277	12770,00	7,21	7,21	punte
30600	1819	18190,00	9,65	7,24	reductor de velocidad
30700	1287	12870,00	7,26	7,82	
30800	1004	10040,00	5,99	6,32	
30900	870	8700,00	5,39	6,23	
31000	1112	11120,00	6,47	7,04	
31100	1608	16080,00	8,70	6,08	reductor de velocidad
31200	938	9380,00	5,69	5,69	
31300	1456	14560,00	8,02	5,74	reductor de velocidad
31400	958	9580,00	5,78	5,78	reductor de velocidad
31500	1017	10170,00	6,05	6,05	
31600	989	9890,00	5,92	5,92	reductor de velocidad
31700	1092	10920,00	6,38	6,38	Fin de adoquinado/Inicio Asfalto
31800	418	4180,00	3,36	3,36	

31900	455	4550,00	3,52	3,19	reductor de velocidad
32000	343	3430,00	3,02	3,02	
32100	286	2860,00	2,77	2,77	
32200	409	4090,00	3,32	3,32	
32300	252	2520,00	2,61	2,61	
32400	319	3190,00	2,91	2,91	
32500	231	2310,00	2,52	2,52	
32600	216	2160,00	2,45	2,45	
32700	397	3970,00	3,26	3,26	
32800	564	5640,00	4,01	4,01	
32900	302	3020,00	2,84	2,84	
33000	285	2850,00	2,76	2,76	
33100	649	6490,00	4,40	2,71	Rejilla
33200	262	2620,00	2,66	2,66	
33300	322	3220,00	2,93	2,93	
33400	446	4460,00	3,48	3,48	
33500	248	2480,00	2,59	2,59	
33600	437	4370,00	3,44	3,44	
33700	416	4160,00	3,35	3,35	
33800	284	2840,00	2,76	2,76	
33900	399	3990,00	3,27	3,27	
34000	898	8980,00	5,51	3,09	Rejilla
34100	319	3190,00	2,91	2,91	
34200	525	5250,00	3,84	3,84	
34300	299	2990,00	2,82	2,82	

34400	539	5390,00	3,90	3,90	
34500	243	2430,00	2,57	2,57	
34600	360	3600,00	3,10	3,10	Rejilla
34700	350	3500,00	3,05	3,05	
34800	317	3170,00	2,90	2,90	
34900	222	2220,00	2,48	2,48	
35000	175	1750,00	2,27	2,27	
35100	185	1850,00	2,31	2,31	
35200	339	3390,00	3,00	3,00	
35300	523	5230,00	3,83	3,83	
35400	630	6300,00	4,31	4,31	
35500	487	4870,00	3,67	3,67	
35600	527	5270,00	3,85	3,85	
35700	471	4710,00	3,60	3,60	
35800	500	5000,00	3,73	3,73	
35900	423	4230,00	3,38	3,38	
36000	308	3080,00	2,86	2,86	
36100	407	4070,00	3,31	3,31	
36200	344	3440,00	3,03	3,03	
36300	469	4690,00	3,59	3,59	
36400	453	4530,00	3,51	3,51	
36500	446	4460,00	3,48	3,48	
36600	255	2550,00	2,63	2,63	
36700	428	4280,00	3,40	3,40	
36800	444	4440,00	3,47	3,47	Fin del trayecto

Anexo 4

Evidencia del avance de la vía de caso de estudio, vía Ayora- Ibarra















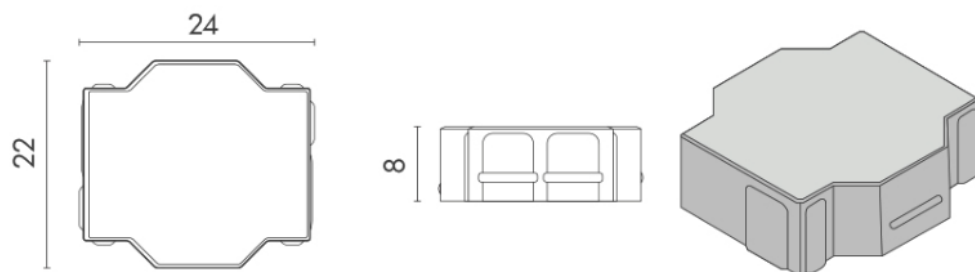




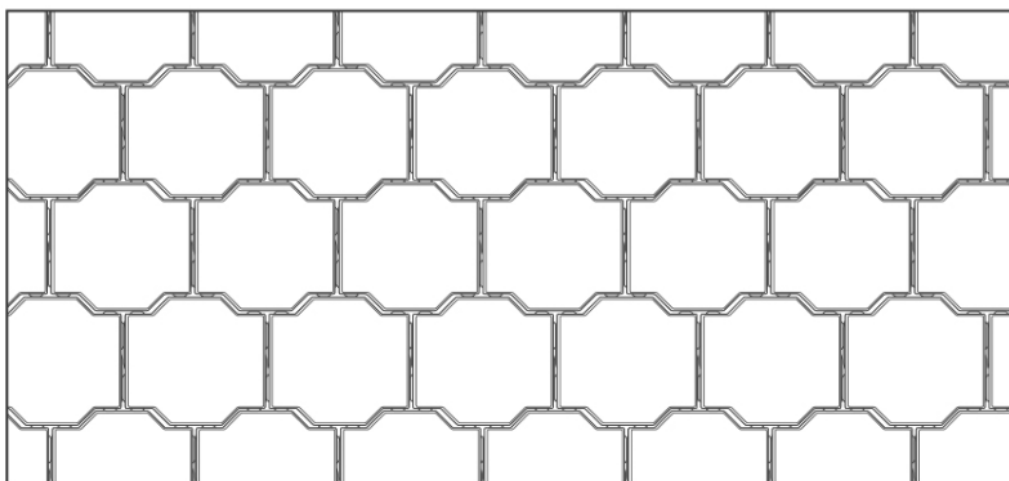




Anexo 5



COLOCACIÓN



Anexo 6

Tabla referencial sobre la calidad de las vías secundarias en el país.

Tabla 48. Niveles de calidad exigidos para los Corredores Secundarios (umbrales de intervención).

Superficie	Actuación	IRI	ROZAMIENTO	BACHES	RODERAS	FIS. ANCHA	AREA FISUR	ROTURAS	ESP	PERIÓDICO
		m/km	%	n°/km	mm	%	%	n°/km	mm	año
CA	Mantenimiento rutinario									1
	Recapeo 4 cm	> 4.75								
	Fresado 3 cm + reposición 3 cm		< 0,4 ó		> 15					
	Slurry Seal					> 5				
	Bacheo			> 5						
TB	Mantenimiento rutinario									1
	Doble Tratamiento Bituminoso Superficial				> 10					
	Micropavimento	> 4.75 ó	< 0,4			ó > 5				
	Bacheo			> 5						
GR	Mantenimiento rutinario									1
	Recargo 10 cm							< 50		
	Perfilado (regularización)	> 7,5								
	Bacheo									4