

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA
CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL
AERÓDROMO DE ATALAYA”.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTORES:

JHOSDADO ANDERSON LEONARDO ROMERO CULQUICONDOR

GIANCARLO TUESTA RAMOS

ASESOR:

Mg. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ

PUCALLPA – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS



ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 020-2022

GRADUANDO : Bach. JHOSDADO ANDERSON LEONARDO ROMERO CULQUICONDOR
 Bach. GIANCARLO TUESTA RAMOS

TEMA : "EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA"

ASESOR : MG. DEVYN OMAR DONAYRE HERNÁNDEZ

CRITERIOS	PUNTAJE			
	3	2	1	0
I- PRESENTACION				
* MOTIVACION	X			
* TONO DE VOZ	X			
* CALIDAD DE MATERIAL AUDIOVISUAL		X		
II- DESARROLLO DE CONTENIDO				
* SECUENCIA		X		
* DOMINIO DE VOZ	X			
* USO ADECUADO DEL MATERIAL		X		
* VALIDEZ DE LOS HALLAZGOS		X		
III- ABSOLUCION DE PREGUNTAS				
* RESPONDE A LAS PREGUNTAS FORMULADAS POR EL JURADO		X		
IV- APORTE CIENTIFICO Y TECNOLOGICO				
* AL DESARROLLO DE LA COMUNIDAD	X			
* A LA PROFESION	X			

EVALUACION

- EXCELENCIA 26 A 30 PUNTOS
- UNANIMIDAD 21 A 25 PUNTOS
- MAYORIA 16 A 20 PUNTOS
- DESAPROBADO 15 A MENOS

CALIFICACION FINAL:

PUNTAJE : 25 / 30

CONCLUSIONES:

APROBADO POR : UNANIMIDAD

DESAPROBADO POR :

JURADO EVALUADOR


 MG. ELEUTERIO PEREZ
 SAGASTEGUI
 PRESIDENTE


 DR. FERNANDO RAFAEL LEAN
 MIEMBRO


 DR. DAVID ABEL GONZÁLEZ
 MANRIQUE DE LARA
 MIEMBRO


 M.SC. CLOTILDE RÍOS HIDALGO
 DE CERNA
 SECRETARIA ACADÉMICA

PUCALLPA, 13 DE DICIEMBRE DEL 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS



TESIS TITULADO : "EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA"

ELABORADO POR : Bach. JHOSDADO ANDERSON LEONARDO ROMERO CULQUICONDOR
Bach. GIANCARLO TUESTA RAMOS

APROBADO POR :

Ing. Mg. ELEUTERIO PEREZ SAGASTEGUI
JURADO PRESIDENTE

DR. FERNANDO RAFAEL LEAN
JURADO MIEMBRO

DR. DAVID ABEL GONZÁLEZ MANRIQUE DE LARA
JURADO MIEMBRO

Ing. Mg. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ
ASESOR DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N° V/0491-2022

La Dirección de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe final de tesis, titulado:

“EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA”.

Autor(es) : ROMERO CULQUICONDOR, JHOSDADO ANDERSON
 TUESTA RAMOS, GIANCARLO

Facultad : INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

Escuela Profesional : ING. CIVIL

Asesor(a) : Mg. DONAYRE HERNANDEZ, DEVYN OMAR

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 10%**.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se firma y se sella la presente constancia.

FECHA 18/08/2022



Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
 Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

UByP - REPOSITORIO INSTITUCIONAL



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, JHOSDADO ANDERSON LEONARDO ROMERO CULQUITCONDOR

Autor(a) de la TESIS de pregrado titulada:

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL
ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA

Sustentada el año: 2022

Con la asesoría de: M.G. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ

En la Facultad: INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

Escuela profesional: INGENIERÍA CIVIL

Autorizo la publicación:

PARCIAL Significa que se publicará en el repositorio institucional sólo la carátula, la dedicatoria y el resumen de la tesis. Esta opción solo es válida marcar sí su tesis o documento presenta material patentable para ello deberá presentar el trámite de CATI y/o INDECOPI cuando se lo solicite la DGPI UNU.

TOTAL Significa que todo el contenido de la tesis y/o documento será publicada en el repositorio institucional.

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 13 / 12 / 2022

Email: jhosdadoal@gmail.com
Teléfono: 930550522

Firma: [Firma manuscrita]
DNI: 72225898

· www.repositorio.unu.edu.pe

✉ repositorio@unu.edu.pe

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

UByP - REPOSITORIO INSTITUCIONAL



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, GIANCARLO TUESTA RAMOS

Autor(a) de la TESIS de pregrado titulada:

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL
ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA

Sustentada el año: 2022

Con la asesoría de: MG. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ

En la Facultad: INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

Escuela profesional: INGENIERIA CIVIL

Autorizo la publicación:

PARCIAL Significa que se publicará en el repositorio institucional solo la caratula, la dedicatoria y el resumen de la tesis. Esta opción solo es válida marcar si su tesis o documento presenta material patentable, para ello deberá presentar el trámite de CATI y/o INDECOPi cuando se lo solicite la DGPI UNU.

TOTAL Significa que todo el contenido de la tesis y/o documento será publicada en el repositorio institucional.

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 13 / 12 / 2022

Email: tuestaramos@gmail.com
Teléfono: 966843735

Firma: 
DNI: 70770656

• www.repositorio.unu.edu.pe

✉ repositorio@unu.edu.pe

DEDICATORIA

Primeramente, la presente investigación se la dedico a Dios, quien a cada instante me dio la serenidad y sapiencia para plasmar mis ideas en la presente investigación. Adicionalmente, a mis padres, quienes siempre me motivan y ayudan a dar lo mejor de mí, además, a mi hermano y hermana, a quienes espero ser un ejemplo para su desarrollo profesional y personal. A cada una de las personas que conocí por mi instancia en la universidad, por presidir el capítulo de estudiantes ACI-UNU, a los que conocí en los diferentes congresos a los que asistí, todos ellos fueron parte de mi formación profesional y personal. Finalmente, a cada una de las personas que intentan cada día aprender algo nuevo relacionado con la ingeniería civil. Siempre tengan presente de que todo es posible mientras sigan respirando.

**JHOSDADO ROMERO
CULQUICONDOR**

A Dios por darme fortaleza y guiarme en el camino de este proyecto. A mi abuela Elda que es el motivo de mi crecimiento personal y profesional. A mi madre que en todo momento me apoyó incondicionalmente impulsándome a seguir adelante para finalmente concluir esta carrera que me apasiona tanto, a mi padre que gracias a su sabiduría y consejos hará de mi un profesional con calidad humana. A mis hermanos quienes me acompañaron y apoyaron en todo momento. Finalmente, a mis amigos que estuvieron en el momento correcto y nos apoyaron para que esta investigación se lleve a cabo.

GIANCARLO TUESTA RAMOS

AGRADECIMIENTO

Agradecemos:

- ✓ A la Universidad Nacional de Ucayali, por todos los gratos momentos que pasamos en sus acogedoras aulas.
- ✓ A nuestros docentes de pregrado, por todos sus conocimientos y experiencias que nos brindaron para tener las herramientas necesarias para la resolución de problemas ingenieriles.
- ✓ Al ingeniero Jordan Chimaico, por su experiencia y conocimiento en el cálculo de deflexiones del ensayo de deflectometría, lo cual fue de gran ayuda para nuestra tesis.
- ✓ Al señor José Wenceslao Flores Huamán, por su experiencia y capacitación desinteresada que nos brindó para el manejo de la Viga Benkelman.
- ✓ Al señor Juan Junior Villacorta Reyna, por su apoyo desinteresado en la gestión de alquiler de los equipos.

RESUMEN

Los aeródromos son parte fundamental del medio de transporte aéreo y es el reflejo del nivel de desarrollo y globalización de una ciudad, siendo el pavimento el que proporciona la seguridad de los pasajeros, siendo uno de ellos el aeródromo de Atalaya que desde la construcción del pavimento de su área de movimiento de aeronaves no se han realizado proyectos de ampliación o mejoramiento del mismo y al realizar la inspección visual se observan fallas superficiales, esto ha incentivado el surgimiento de la presente investigación con el fin de evaluar la condición estructural y superficial del pavimento asfáltico del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya y verificar si cumple con las normas establecidas por la FAA y OACI. La presente investigación es de tipo aplicada, cuantitativa y no experimental, tiene como muestra el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya que está conformado por la pista de aterrizaje (1500 m x 30 m), la calle de rodaje (80 m x 19 m) y la plataforma (90 m x 90 m). La evaluación superficial se ha realizado mediante la norma ASTM D 5340 (PCI – índice de condición de pavimentos en aeropuertos), y se ha considerado 101 unidades de muestreo para la pista de aterrizaje, obteniendo que un 26% se encuentra en estado Colapsado, 52% Muy Malo, 14% Malo, 7% Regular y 1% Bueno; para la calle de rodaje se ha considerado 4 unidades de muestreo, donde un 25% se encuentra en un estado Muy Malo, 50% Malo y 25% Regular; para la plataforma se ha considerado 16 unidades de muestreo, donde un 38% se encuentra en un estado Muy Malo, 25% Malo y 37% Regular. La evaluación estructural se ha determinado mediante la deflectometría con Viga Benkelman y el modelo de Hogg en la pista de aterrizaje tanto al lado derecho como al lado izquierdo de la misma, obteniendo un CBR (California Bearing Ratio) promedio de 13.60% y un espesor equivalente de la estructura del pavimento (HEQ) de 24.82 cm, además de determinar el PCN (Número Clasificador de Pavimento) mediante el método de evaluación técnica para el aeródromo de Atalaya de 23/F/A/Y/T. Finalmente, superficialmente se concluye que el pavimento tiene una PCI promedio de 21.56%, estado muy Malo, recomendando realizar trabajos de mantenimiento periódico y rutinario con la finalidad de evitar que el pavimento llegue a un estado Colapsado; estructuralmente se concluye que el CBR obtenido de 13.6% se encuentra en una categoría alta de resistencia de suelo, sin embargo, el valor numérico del PCN obtenido mediante evaluación técnica (23/F/A/Y/T) es menor al PCN establecido por CORPAC (27/F/A/X/T).

Palabras claves: Aeródromo, pavimento, evaluación superficial, evaluación estructural.

ABSTRACT

Aerodromes are an essential part of air transportation and reflect the level of development and globalization of a city, being the pavement that provides passenger safety and one of them is the aerodrome of Atalaya that since the construction of the aircraft pavement there have not been carried out any projects of expansion or improvement and when performing visual inspection surface failures are observed, this has encouraged the present investigation in order to evaluate the structural and surface condition of the asphalt pavement of the aircraft movement area of the Atalaya aerodrome and verify compliance with FAA and ICAO standards. The present research is of applied type, quantitative and not experimental, it has as sample the aircraft pavement area of Atalaya aerodrome that is formed by the airstrip (1500 m x 30 m), taxiway (80 m x 19 m) and aircraft apron (90 m x 90 m). The surface assessment has been performed using ASTM D 5340 (PCI – Pavement Condition Index) and it has been considered 101 sampling units for the airstrip, obtaining that 26% is in failed, 52% very poor, 14% poor, 7% fair and 1% good condition; for the taxiway has been considered 4 sampling units, where 25% is in very poor, 50% poor and 25% fair condition; for the aircraft apron has been considered 16 sampling units, where 38% is in very poor, 25% poor and 37% fair condition.

The structural evaluation has been determined by Benkelman Beam Deflection Test (BBD Test) and Hogg's model on the runway on both the right and left sides, obtaining an average CBR (California Bearing Ratio) of 13.60% and a pavement structure of thickness (HEQ) of 24.82 cm, in addition to determining the PCN (Pavement Classification Number) of 23/F/A/Y/T using the technical assessment method for the Atalaya aerodrome.

Finally, superficially it is concluded that the pavement has an average PCI of 21.56% very poor condition, recommending periodic and routine maintenance work in order to prevent the pavement from reaching a failed condition; structurally it is concluded that the obtained CBR of 13.6% is in high category of soil resistance, however, the numerical value of PCN obtained by technical evaluation (23/F/A/Y/T) is lower than the PCN established by CORPAC (27/F/A/X/T).

Keywords: Aerodrome, pavement, surface evaluation, structural evaluation.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
INTRODUCCIÓN	xxiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción y Fundamentación del Problema	1
1.2. Formulación del Problema	3
<i>1.2.1. Problema General</i>	<i>3</i>
<i>1.2.2. Problemas Específicos.....</i>	<i>3</i>
1.3. Objetivos.....	3
<i>1.3.1. Objetivo General.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2. Objetivos Específicos.....</i>	<i>3</i>
1.4. Justificación e Importancia	4
1.5. Limitaciones y Alcances.....	4
1.6. Hipótesis	5
<i>1.6.1. Hipótesis General</i>	<i>5</i>
<i>1.6.2. Hipótesis Específicas.....</i>	<i>5</i>
1.7. Sistemas de Variables Dimensiones e Indicadores	6
<i>1.7.1. Variable Independiente</i>	<i>6</i>
<i>1.7.2. Variable Dependiente</i>	<i>6</i>
<i>1.7.3. Indicadores</i>	<i>6</i>
<i>1.7.4. Dimensiones</i>	<i>6</i>
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.....	10
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	10
<i>2.1.1. Antecedentes en el Contexto Local.....</i>	<i>10</i>
<i>2.1.2. Antecedentes en el Contexto Nacional</i>	<i>11</i>
<i>2.1.3. Antecedentes en el Contexto Internacional.....</i>	<i>13</i>
2.2. Bases Teóricas – Científicas.....	14
<i>2.2.1. Aeródromo</i>	<i>14</i>
<i>2.2.2. Aeropuerto</i>	<i>14</i>
<i>2.2.3. Pavimento flexible.....</i>	<i>14</i>
<i>2.2.4. Aeronave</i>	<i>15</i>
<i>2.2.5. Área de movimiento de aeronaves</i>	<i>15</i>

2.2.5.1.	Calle de rodaje.	15
2.2.5.2.	Pista de aterrizaje.	16
2.2.5.3.	Plataforma.	16
2.2.6.	<i>Tráfico equivalente</i>	16
2.2.7.	<i>Índice de Condición del Pavimento (PCI)</i>	17
2.2.8.	<i>Evaluación superficial de pavimentos asfálticos</i>	17
2.2.8.1.	Falla 1: Piel de cocodrilo.....	17
2.2.8.2.	Falla 2: Exudación.....	18
2.2.8.3.	Falla 3: Agrietamiento en bloque.	19
2.2.8.4.	Falla 4: Ondulación / Corrugación.	19
2.2.8.5.	Falla 5: Depresión.	20
2.2.8.6.	Falla 6: Erosión por chorro de turbina.	21
2.2.8.7.	Falla 7: Grietas de reflexión de juntas.	21
2.2.8.8.	Falla 8: Grietas longitudinales y transversales.....	21
2.2.8.9.	Falla 9: Deterioro por Derrame de combustible.....	22
2.2.8.10.	Falla 10: Parcheo (reparaciones).	22
2.2.8.11.	Falla 11: Pulimento de agregados.....	22
2.2.8.12.	Falla 12: Peladura y efecto de la intemperie.....	23
2.2.8.13.	Falla 13: Ahuellamiento.	24
2.2.8.14.	Falla 14: PCC Expuesto (Desplazamiento).	24
2.2.8.15.	Falla 15: Grieta parabólica (Slippage).	24
2.2.8.16.	Falla 16: Hinchamiento.	25
2.2.9.	<i>Evaluación estructural de pavimentos asfálticos</i>	25
2.2.10.	<i>Viga Benkelman</i>	27
2.2.11.	<i>Deflexión del pavimento</i>	29
2.2.12.	<i>Número de clasificador de aeronaves (ACN)</i>	29
2.2.13.	<i>Número de clasificador del pavimento (PCN)</i>	30
2.2.14.	<i>Ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R.) de suelos</i>	34
2.2.15.	<i>Tránsito de aeronaves</i>	35
2.2.16.	<i>Software COMFAA 3.0</i>	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		37
3.1.	Metodología y técnicas utilizadas	37
3.1.1.	<i>Tipo y Nivel de Investigación</i>	37
3.1.2.	<i>Nivel de Investigación</i>	37
3.2.	Diseño de investigación	38
3.2.1.	<i>Población</i>	39

3.2.2.	<i>Muestra</i>	40
3.3.	Instrumentos de recolección de datos	41
3.3.1.	<i>Ficha de registro de campo para las fallas existentes para el PCI</i>	41
3.3.2.	<i>Ficha de registro de campo para el ensayo con Viga Benkelman de dos brazos</i>	42
3.3.3.	<i>Ficha de registro de operaciones áreas diarias (CORPAC)</i>	43
3.3.4.	<i>Equipo requerido para realizar las mediciones de fallas – PCI</i>	44
3.3.5.	<i>Equipo requerido para obtener las deflexiones en el pavimento</i>	45
3.4.	Distribución y recolección de datos de las Unidades de Muestreo - PCI	46
3.4.1.	<i>Distribución de las unidades de muestreo – Pista de Aterrizaje</i>	46
3.4.2.	<i>Distribución de las unidades de muestreo – Calle de Rodaje</i>	47
3.4.3.	<i>Distribución de las unidades de muestreo – Plataforma</i>	48
3.4.4.	<i>Resumen de unidades de muestreo, áreas y secciones</i>	49
3.4.5.	<i>Recolección de datos de campo</i>	49
3.4.5.1.	<i>Recolección de datos de campo – Pista de Aterrizaje</i>	50
3.5.	Distribución y recolección de los puntos analizados con la Viga Benkelman – Pista de Aterrizaje	64
3.5.1.	<i>Distribución de los puntos analizados</i>	64
3.5.2.	<i>Recolección de datos de campo</i>	65
3.6.	Distribución y recolección de los puntos analizados con la Viga Benkelman – Calle de Rodaje	68
3.6.1.	<i>Distribución de los puntos analizados</i>	68
3.6.2.	<i>Recolección de datos de campo</i>	69
3.7.	Distribución y recolección de los puntos analizados con la Viga Benkelman – Plataforma	69
3.7.1.	<i>Distribución de los puntos analizados</i>	69
3.7.2.	<i>Recolección de datos de campo</i>	71
3.8.	Distribución y descripción de las calicatas – Pista de Aterrizaje	72
3.8.1.	<i>Distribución de las calicatas</i>	72
3.8.2.	<i>Descripción de las calicatas</i>	74
3.9.	Distribución y descripción de las calicatas – Plataforma	74
3.9.1.	<i>Distribución de las calicatas</i>	74
3.9.2.	<i>Descripción de las calicatas</i>	75
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		76
4.1.	Evaluación superficial del pavimento mediante la norma ASTM D5340 PCI en aeropuertos	76

4.1.1.	<i>Evaluación superficial – Pista de Aterrizaje</i>	76
4.1.1.1.	Pista de Aterrizaje – Lado Izquierdo.	82
4.1.1.2.	Pista de Aterrizaje – Lado Derecho.	85
4.1.2.	<i>Evaluación superficial – Calle de Rodaje</i>	87
4.1.3.	<i>Evaluación superficial – Plataforma</i>	89
4.2.	Evaluación estructural del pavimento mediante Viga Benkelman y la determinación del ACN/PCN	92
4.2.1.	<i>Deflexiones del pavimento mediante el ensayo con Viga Benkelman</i> ...	93
4.2.1.1.	Deflexiones - Lado derecho de la pista de aterrizaje.	93
4.2.1.2.	Modelo de Hogg - Lado derecho de la pista de aterrizaje.	94
4.2.1.3.	Deflexiones - Lado izquierdo de la pista de aterrizaje.	97
4.2.1.4.	Modelo de Hogg - Lado izquierdo de la pista de aterrizaje.	98
4.2.1.5.	Deflexiones – Calle de Rodaje.	101
4.2.1.6.	Modelo de Hogg – Calle de Rodaje.....	102
4.2.1.7.	Deflexiones – Plataforma	103
4.2.1.8.	Modelo de Hogg – plataforma.....	105
4.2.1.9.	Resumen del C.B.R. y del espesor equivalente (HEQ).	107
4.2.2.	<i>Determinación del ACN-PCN</i>	108
4.2.2.1.	Utilización del método de la aeronave.....	108
4.2.2.2.	Determinación del volumen de tráfico.	108
4.2.2.3.	Determinación del ACN de cada aeronave.	112
4.2.2.4.	Parámetros que indican las condiciones actuales de seguridad del pavimento. 115	
4.2.2.5.	El dato numérico del Número Clasificador del Pavimento (PCN).....	115
4.2.2.6.	El tipo de pavimento.	115
4.2.2.7.	La capacidad de soporte del suelo de apoyo.....	115
4.2.2.8.	Presión en los neumáticos	116
4.2.2.9.	Método de evaluación.	117
4.3.	Estudios desarrollados de mecánica de suelos.	118
4.3.1.	<i>Características estratigráficas</i>	118
4.3.1.1.	Calicata N°01.	118
4.3.1.2.	Calicata N°02.	119
4.3.1.3.	Calicata N°03.	120
4.3.1.4.	Calicata N°04.	121
4.3.1.5.	Calicata N°05.	122
4.3.2.	<i>Contenido de humedad natural</i>	123
4.3.3.	<i>Análisis Granulométrico por tamizado y límites de Atterberg</i>	123

4.3.4.	<i>Ensayo de Proctor modificado</i>	126
4.3.5.	<i>Ensayo de California Bearing Ratio de suelo (C.B.R)</i>	127
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS		129
5.1.	Análisis Estadístico e Interpretación de Resultados Obtenidos.	129
5.1.1.	<i>Contraste de la hipótesis específica N° 1</i>	<i>129</i>
5.1.2.	<i>Contraste de la hipótesis específica N° 2</i>	<i>132</i>
5.1.3.	<i>Contraste de la hipótesis específica N° 3</i>	<i>137</i>
5.1.3.1.	Determinación del PCN mediante el método de evaluación técnica. ...	141
5.1.3.2.	Parámetros del Número Clasificador del Pavimento (PCN).	149
5.2.	Estructura actual del pavimento.	150
5.3.	Trabajos ingenieriles que se podrían realizar.	151
5.3.1.	<i>Procedimiento Constructivo para la reconstrucción</i>	<i>151</i>
CONCLUSIONES		152
RECOMENDACIONES		155
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		157
MATRIZ DE CONSISTENCIA		161
ANEXOS		162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de Variables	8
Tabla 2 Rangos de la resistencia del terreno de fundación – Pavimento Flexible.....	31
Tabla 3 Rangos de la resistencia del terreno de fundación – Pavimento Rígido	32
Tabla 4 Codificación del nivel de presión en los neumáticos.....	32
Tabla 5 Aeródromos en el ámbito regional - región Ucayali.....	39
Tabla 6 Área de movimiento de aeronaves del Aeródromo de Atalaya	40
Tabla 7 Resumen de áreas de unidades.....	49
Tabla 8 Resumen siglas por cada sección.....	49
Tabla 9 Códigos de fallas.....	50
Tabla 10 Códigos de severidad	50
Tabla 11 Datos recolectados UM 001 al 010 en la Pista de Aterrizaje (PA)	51
Tabla 12 Datos recolectados UM 011 al 024 en la Pista de Aterrizaje (PA)	52
Tabla 13 Datos recolectados UM 025 al 031 en la Pista de Aterrizaje (PA)	53
Tabla 14 Datos recolectados UM 032 al 041 en la Pista de Aterrizaje (PA)	54
Tabla 15 Datos recolectados UM 042 al 048 en la Pista de Aterrizaje (PA)	55
Tabla 16 Datos recolectados UM 049 al 057 en la Pista de Aterrizaje (PA)	56
Tabla 17 Datos recolectados UM 058 al 067 en la Pista de Aterrizaje (PA).....	57
Tabla 18 Datos recolectados UM 068 al 076 en la Pista de Aterrizaje (PA)	58
Tabla 19 Datos recolectados UM 077 al 083 en la Pista de Aterrizaje (PA)	59
Tabla 20 Datos recolectados UM 084 al 091 en la Pista de Aterrizaje (PA)	60
Tabla 21 Datos recolectados UM 092 al 097 en la Pista de Aterrizaje (PA)	61
Tabla 22 Datos recolectados UM 099 al 101 en la Pista de Aterrizaje (PA)	62
Tabla 23 Datos recolectados UM 102 al 105 en la Calle de Rodaje (CR).....	62
Tabla 24 Datos recolectados UM 106 al 112 en la Plataforma (PL)	63
Tabla 25 Ubicación de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en Pista de Aterrizaje	65
Tabla 26 Ubicación de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en Calle de Rodaje	68
Tabla 27 Ubicación de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en Plataforma.....	70
Tabla 28 Profundidad de cada calicata - Pista de aterrizaje.....	74
Tabla 29 Profundidad de calicata - Plataforma.....	75
Tabla 30 Resultados PCI – Pista de aterrizaje UM 01-20.....	77
Tabla 31 Resultados PCI – Pista de aterrizaje UM 21-40.....	78
Tabla 32 Resultados PCI – Pista de aterrizaje UM 21-40.....	79
Tabla 33 Resultados PCI – Pista de aterrizaje UM 61-80.....	80
Tabla 34 Resultados PCI – Pista de aterrizaje UM 81-101.....	81
Tabla 35 Resultados PCI – Calle de Rodaje UM 102-105	88
Tabla 36 Resultados PCI – Calle de Rodaje UM 106-121	90
Tabla 37 Resumen deflectometría pista de aterrizaje – lado derecho.....	93
Tabla 38 Valores numéricos modelo de Hogg de la pista de aterrizaje – lado derecho	95
Tabla 39 Resumen deflectometría pista de aterrizaje – lado izquierdo	97
Tabla 40 Valores numéricos modelo de Hogg de la pista de aterrizaje – lado izquierdo.....	99
Tabla 41 Resumen deflectometría Calle de Rodaje	101
Tabla 42 Valores numéricos modelo de Hogg de la Calle de Rodaje.....	103
Tabla 43 Resumen deflectometría plataforma	104
Tabla 44 Valores numéricos modelo de Hogg de la plataforma.....	106
Tabla 45 Resumen del C.B.R.....	107

Tabla 46 Resumen del espesor equivalente (HEQ)	107
Tabla 47 Resumen del tráfico de aeronaves 2017 – 2021 (Aeródromo de Atalaya)	109
Tabla 48 Propiedades de las aeronaves que afectan al cálculo del ACN/PCN.....	112
Tabla 49 Interpolación para la aeronave Alenia C-27 J Spartan.....	114
Tabla 50 Valor numérico del ACN por cada tipo de aeronave	114
Tabla 51 Rangos de la resistencia del terreno de fundación – Pavimento Flexible.....	116
Tabla 52 Presión de los neumáticos de cada aeronave	116
Tabla 53 Codificación del nivel de presión en los neumáticos.....	117
Tabla 54 Contenido de humedad natural	123
Tabla 55 Calicata 01 - Granulometría y Límites de Atterberg	124
Tabla 56 Calicata 02 - Granulometría y Límites de Atterberg	124
Tabla 57 Calicata 03 - Granulometría y Límites de Atterberg	125
Tabla 58 Calicata 04 - Granulometría y Límites de Atterberg	125
Tabla 59 Calicata 05 - Granulometría y Límites de Atterberg	126
Tabla 60 Resultados del ensayo de Proctor Modificado.....	127
Tabla 61 Resultados del ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R.)	128
Tabla 62 Prueba de hipótesis normal con cola a la derecha (PCI).....	131
Tabla 63 C.B.R. de cada uno de los puntos ensayados con la Viga Benkelman – pista de aterrizaje.....	133
Tabla 64 Prueba de hipótesis normal con cola a la izquierda (C.B.R.)	135
Tabla 65 Resultado de prueba de hipótesis distribución normal con cola a la izquierda (C.B.R.).....	137
Tabla 66 Prueba de hipótesis t de Student de dos colas (PCN)	139
Tabla 67 Resumen – ratio estándar P/TC.....	141
Tabla 68 Valores obtenidos del software COMFAA 3.0. (Modo Life).....	144
Tabla 69 CDF y salidas anuales equivalentes	145
Tabla 70 CDF modificado y salidas anuales equivalentes.....	146
Tabla 71 Interpolación para la aeronave crítica Lockheed L-100 Hercules	148
Tabla 72 PCN obtenido y el establecido por CORPAC.....	154
Tabla 73 Datos de Campo – UM 01	162
Tabla 74 Datos de Campo Ordenados – UM 01	163
Tabla 75 Densidad del Daño – UM 01	164
Tabla 76 Valor Deducido de Daño – UM 01	167
Tabla 77 Número Máximo Admisible de Valores Deducidos – UM 01	169
Tabla 78 Iteraciones para el cálculo del Valor Deducido Total y “q” - UM 01	170
Tabla 79 Valores Deducidos Corregidos - UM 01	173
Tabla 80 Datos de Campo Km. 0+040 – Lado Derecho (Pista de Aterrizaje).....	175
Tabla 81 Factores de Corrección por Estacionalidad.....	176
Tabla 82 Deflexiones Corregidas – Lado Derecho de la Pista de Aterrizaje.....	178
Tabla 83 Deflexiones Corregidas – Lado Izquierdo de la Pista de Aterrizaje.....	179
Tabla 84 Deflexiones Corregidas – Calle de Rodaje	179
Tabla 85 Deflexiones Corregidas – Plataforma	180
Tabla 86 Coeficientes de correlación para el cálculo de R5 en el modelo de Hogg.....	181
Tabla 87 Coeficientes de Correlación para el Cálculo de L0 en el Modelo de Hogg.....	182
Tabla 88 Fórmulas para determinar el módulo de resiliencia (Mr) en función del C.B.R ...	186
Tabla 89 Parámetros del Modelo de Hogg – Lado Derecho de la Pista De Aterrizaje.....	187

Tabla 90	Parámetros del Modelo de Hogg – Lado Izquierdo de la Pista de Aterrizaje.....	187
Tabla 91	Parámetros del Modelo de Hogg – Calle de Rodaje.....	188
Tabla 92	Parámetros del Modelo de Hogg – Plataforma.....	188
Tabla 93	Interpolación para la aeronave Alenia C-27 J Spartan.....	189
Tabla 94	Interpolación para la Aeronave Antonov AN-32.....	190
Tabla 95	Interpolación para la Aeronave Beech 200 Super King Air.....	191
Tabla 96	Interpolación para la aeronave Cessna 208 Caravan.....	192
Tabla 97	Interpolación para la Aeronave Fokker 60.....	193
Tabla 98	Interpolación para la Aeronave Harbin Y-12.....	194
Tabla 99	Interpolación para la Aeronave Havilland Canada DHC-6 Twin Otter.....	195
Tabla 100	Interpolación para la Aeronave Jetstream 32.....	196
Tabla 101	Interpolación para la Aeronave Lockheed L-100 Hercules.....	197

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura típica del pavimento flexible.....	15
Figura 2 Falla 1: Piel de cocodrilo.....	18
Figura 3 Falla 2: Exudación.....	18
Figura 4 Falla 3: Agrietamiento en bloque	19
Figura 5 Falla 4-Ondulación/Corrugación.....	20
Figura 6 Falla 5-Depresión	20
Figura 7 Falla 6: Erosión por chorro de turbina.....	21
Figura 8 Falla 8: Grietas longitudinales y transversales	22
Figura 9 Falla 10: Parcheo (reparaciones)	22
Figura 10 Falla 11: Pulimento de agregados	23
Figura 11 Falla 12-Peladura y efecto de la intemperie	23
Figura 12 Falla 13: Ahuellamiento	24
Figura 13 Viga Benkelman.....	27
Figura 14 Tipos de curvas de deflexiones	28
Figura 15 Ficha de registro de campo para las fallas existentes para el PCI.....	41
Figura 16 Ficha de registro de campo para el ensayo con Viga Benkelman de dos brazos ...	42
Figura 17 Ficha de registro de operaciones áreas diarias	43
Figura 18 Unidades de muestreo desde el inicio (progresiva 0+000) de la pista de aterrizaje	46
Figura 19 Unidades de muestreo hasta el final (progresiva 1+504.40) en la pista de aterrizaje	47
Figura 20 Unidades de muestreo en la calle de rodaje	47
Figura 21 Unidades de muestreo en la plataforma	48
Figura 22 Distribución de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en pista de aterrizaje	64
Figura 23 Ficha de registro de campo con los datos recopilados de la pista de aterrizaje al lado derecho.....	66
Figura 24 Ficha de registro de campo con los datos recopilados de la pista de aterrizaje al lado izquierdo.....	67
Figura 25 Distribución de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en calle de rodaje .	68
Figura 26 Ficha de registro de campo con los datos recopilados de la calle de rodaje	69
Figura 27 Distribución de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en plataforma	70
Figura 28 Ficha de registro de campo con los datos recopilados de la plataforma	71
Figura 29 Ubicación de la calicata 01 en pista de aterrizaje.....	72
Figura 30 Ubicación de la calicata 02 y calicata 05 en pista de aterrizaje	73
Figura 31 Ubicación de la calicata 03 en pista de aterrizaje.....	73
Figura 32 Ubicación de la calicata 04 en plataforma.....	75
Figura 33 Estado superficial porcentual – Pista de aterrizaje.....	82
Figura 34 Estado superficial – Pista de aterrizaje - Lado izquierdo	83
Figura 35 PCI – Pista de aterrizaje – Lado izquierdo	84
Figura 36 Estado superficial – Pista de aterrizaje - Lado derecho.....	85
Figura 37 PCI – Pista de aterrizaje – Lado derecho	86
Figura 38 Estado superficial porcentual – Calle de rodaje	89
Figura 39 Estado superficial porcentual – Plataforma.....	91
Figura 40 Curva promedio de la pista de aterrizaje – Lado derecho	94

Figura 41	Deflexiones del lado derecho de la pista de aterrizaje	96
Figura 42	Curva promedio de la pista de aterrizaje – Lado izquierdo.....	98
Figura 43	Deflexiones del lado izquierdo de la pista de aterrizaje	100
Figura 44	Curva promedio de la calle de rodaje.....	102
Figura 45	Curva promedio de la plataforma.....	105
Figura 47	Perfil estratigráfico de la calicata N° 01.....	118
Figura 48	Perfil estratigráfico de la calicata N° 02.....	119
Figura 49	Perfil estratigráfico de la calicata N° 03.....	120
Figura 50	Perfil estratigráfico de la calicata N° 04.....	121
Figura 51	Perfil estratigráfico de la calicata N° 05.....	122
Figura 52	Prueba de hipótesis distribución normal con cola a la derecha (PCI)	130
Figura 53	Resultado de prueba de hipótesis distribución normal con cola a la derecha (PCI)	132
Figura 54	Prueba de hipótesis distribución normal con cola a la izquierda (C.B.R.).....	135
Figura 55	Resultado de prueba de hipótesis distribución normal con cola a la izquierda (C.B.R.).....	136
Figura 56	Prueba de hipótesis t de Student de dos colas	139
Figura 57	Resultado de prueba de hipótesis t de Student de dos colas (PCN)	140
Figura 58	Interfaz software COMFAA 3.0. (Modo Life).....	142
Figura 59	Valores obtenidos del software COMFAA 3.0. (Modo Life)	143
Figura 60	Obtención del peso máximo permisible (MGW)	147
Figura 61	ACN mediante el peso máximo permisible (MGW).....	148
Figura 62	Estructura actual del pavimento	150
Figura 63	Nomograma de la falla 1-Piel de cocodrilo.....	164
Figura 64	Nomograma de la falla 5-Depresión	165
Figura 65	Nomograma de la falla 8-Grietas longitudinales y transversales.....	166
Figura 66	Nomograma de la falla 13-Ahuellamiento	167
Figura 67	Valor deducido de daño – UM 01	168
Figura 68	Valor deducido corregido (1) – UM 01	170
Figura 69	Valor deducido corregido (2) – UM 01.....	171
Figura 70	Valor deducido corregido (3) – UM 01.....	172
Figura 71	Valor deducido corregido (4) – UM 01.....	173
Figura 72	Resultado del ACN de la aeronave Alenia C-27 J Spartan	189
Figura 73	Resultado del ACN de la aeronave Antonov AN-32	190
Figura 74	Resultado del ACN de la aeronave Beech 200 Super King Air.....	191
Figura 75	Resultado del ACN de la aeronave Cessna 208 Caravan.....	192
Figura 76	Interpolación para la aeronave Cessna 208 Caravan.....	193
Figura 77	Resultado del ACN de la aeronave Harbin Y-12	194
Figura 78	Resultado del ACN de la aeronave Havilland Canada DHC-6 Twin Otter	195
Figura 79	Resultado del ACN de la aeronave Jetstream 32	196
Figura 80	Resultado del ACN de la aeronave Lockheed L-100 Hercules.....	197
Figura 81	Valores obtenidos del Software COMFAA 3.0 (Modo Life) de cada una de las aeronaves.....	198
Figura 82	Tabla de cuantiles de la distribución t de Student de dos colas	199
Figura 83	Tabla de cuantiles de la distribución normal con cola a la izquierda.....	200
Figura 84	Memoria de cálculo – UM 01.....	201

Figura 85 Memoria de cálculo – UM 02.....	202
Figura 86 Memoria de cálculo – UM 03.....	203
Figura 87 Memoria de cálculo – UM 04.....	204
Figura 88 Memoria de cálculo – UM 05.....	205
Figura 89 Memoria de cálculo – UM 06.....	206
Figura 90 Memoria de cálculo – UM 07.....	207
Figura 91 Memoria de cálculo – UM 08.....	208
Figura 92 Memoria de cálculo – UM 09.....	209
Figura 93 Memoria de cálculo – UM 10.....	210
Figura 94 Memoria de cálculo – UM 11.....	211
Figura 95 Memoria de cálculo – UM 12.....	212
Figura 96 Memoria de cálculo – UM 13.....	213
Figura 97 Memoria de cálculo – UM 14.....	214
Figura 98 Memoria de cálculo – UM 15.....	215
Figura 99 Memoria de cálculo – UM 16.....	216
Figura 100 Memoria de cálculo – UM 17.....	217
Figura 101 Memoria de cálculo – UM 18.....	218
Figura 102 Memoria de cálculo – UM 19.....	219
Figura 103 Memoria de cálculo – UM 20.....	220
Figura 104 Memoria de cálculo – UM 21.....	221
Figura 105 Memoria de cálculo – UM 22.....	222
Figura 106 Memoria de cálculo – UM 23.....	223
Figura 107 Memoria de cálculo – UM 24.....	224
Figura 108 Memoria de cálculo – UM 25.....	225
Figura 109 Memoria de cálculo – UM 26.....	226
Figura 110 Memoria de cálculo – UM 27.....	227
Figura 111 Memoria de cálculo – UM 28.....	228
Figura 112 Memoria de cálculo – UM 29.....	229
Figura 113 Memoria de cálculo – UM 30.....	230
Figura 114 Memoria de cálculo – UM 31.....	231
Figura 115 Memoria de cálculo – UM 32.....	232
Figura 116 Memoria de cálculo – UM 33.....	233
Figura 117 Memoria de cálculo – UM 34.....	234
Figura 118 Memoria de cálculo – UM 35.....	235
Figura 119 Memoria de cálculo – UM 36.....	236
Figura 120 Memoria de cálculo – UM 37.....	237
Figura 121 Memoria de cálculo – UM 38.....	238
Figura 122 Memoria de cálculo – UM 39.....	239
Figura 123 Memoria de cálculo – UM 40.....	240
Figura 124 Memoria de cálculo – UM 41.....	241
Figura 125 Memoria de cálculo – UM 42.....	242
Figura 126 Memoria de cálculo – UM 43.....	243
Figura 127 Memoria de cálculo – UM 44.....	244
Figura 128 Memoria de cálculo – UM 45.....	245
Figura 129 Memoria de cálculo – UM 46.....	246
Figura 130 Memoria de cálculo – UM 47.....	247

Figura 131 Memoria de cálculo – UM 48.....	248
Figura 132 Memoria de cálculo – UM 49.....	249
Figura 133 Memoria de cálculo – UM 50.....	250
Figura 134 Memoria de cálculo – UM 51.....	251
Figura 135 Memoria de cálculo – UM 52.....	252
Figura 136 Memoria de cálculo – UM 53.....	253
Figura 137 Memoria de cálculo – UM 54.....	254
Figura 138 Memoria de cálculo – UM 55.....	255
Figura 139 Memoria de cálculo – UM 56.....	256
Figura 140 Memoria de cálculo – UM 57.....	257
Figura 141 Memoria de cálculo – UM 58.....	258
Figura 142 Memoria de cálculo – UM 59.....	259
Figura 143 Memoria de cálculo – UM 60.....	260
Figura 144 Memoria de cálculo – UM 61.....	261
Figura 145 Memoria de cálculo – UM 62.....	262
Figura 146 Memoria de cálculo – UM 63.....	263
Figura 147 Memoria de cálculo – UM 64.....	264
Figura 148 Memoria de cálculo – UM 65.....	265
Figura 149 Memoria de cálculo – UM 66.....	266
Figura 150 Memoria de cálculo – UM 67.....	267
Figura 151 Memoria de cálculo – UM 68.....	268
Figura 152 Memoria de cálculo – UM 69.....	269
Figura 153 Memoria de cálculo – UM 70.....	270
Figura 154 Memoria de cálculo – UM 71.....	271
Figura 155 Memoria de cálculo – UM 72.....	272
Figura 156 Memoria de cálculo – UM 73.....	273
Figura 157 Memoria de cálculo – UM 74.....	274
Figura 158 Memoria de cálculo – UM 75.....	275
Figura 159 Memoria de cálculo – UM 76.....	276
Figura 160 Memoria de cálculo – UM 77.....	277
Figura 161 Memoria de cálculo – UM 78.....	278
Figura 162 Memoria de cálculo – UM 79.....	279
Figura 163 Memoria de cálculo – UM 80.....	280
Figura 164 Memoria de cálculo – UM 81.....	281
Figura 165 Memoria de cálculo – UM 82.....	282
Figura 166 Memoria de cálculo – UM 83.....	283
Figura 167 Memoria de cálculo – UM 84.....	284
Figura 168 Memoria de cálculo – UM 85.....	285
Figura 169 Memoria de cálculo – UM 86.....	286
Figura 170 Memoria de cálculo – UM 87.....	287
Figura 171 Memoria de cálculo – UM 88.....	288
Figura 172 Memoria de cálculo – UM 89.....	289
Figura 173 Memoria de cálculo – UM 90.....	290
Figura 174 Memoria de cálculo – UM 91.....	291
Figura 175 Memoria de cálculo – UM 92.....	292
Figura 176 Memoria de cálculo – UM 93.....	293

Figura 177 Memoria de cálculo – UM 94.....	294
Figura 178 Memoria de cálculo – UM 95.....	295
Figura 179 Memoria de cálculo – UM 96.....	296
Figura 180 Memoria de cálculo – UM 97.....	297
Figura 181 Memoria de cálculo – UM 98.....	298
Figura 182 Memoria de cálculo – UM 99.....	299
Figura 183 Memoria de cálculo – UM 100.....	300
Figura 184 Memoria de cálculo – UM 101.....	301
Figura 185 Memoria de cálculo – UM 102.....	302
Figura 186 Memoria de cálculo – UM 103.....	303
Figura 187 Memoria de cálculo – UM 104.....	304
Figura 188 Memoria de cálculo – UM 105.....	305
Figura 189 Memoria de cálculo – UM 106.....	306
Figura 190 Memoria de cálculo – UM 107.....	307
Figura 191 Memoria de cálculo – UM 108.....	308
Figura 192 Memoria de cálculo – UM 109.....	309
Figura 193 Memoria de cálculo – UM 110.....	310
Figura 194 Memoria de cálculo – UM 111.....	311
Figura 195 Memoria de cálculo – UM 112.....	312
Figura 196 Memoria de cálculo – UM 113.....	313
Figura 197 Memoria de cálculo – UM 114.....	314
Figura 198 Memoria de cálculo – UM 115.....	315
Figura 199 Memoria de cálculo – UM 116.....	316
Figura 200 Memoria de cálculo – UM 117.....	317
Figura 201 Memoria de cálculo – UM 118.....	318
Figura 202 Memoria de cálculo – UM 119.....	319
Figura 203 Memoria de cálculo – UM 120.....	320
Figura 204 Memoria de cálculo – UM 121.....	321

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se titula: “EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA”.

En el Perú según el MTC la red aeroportuaria está constituido por 97 aeródromos, de los cuales 11 son internacionales y 79 son domésticos. Además, estos son administrados por varios operadores como Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial S.A. (CORPAC) con 29 aeródromos, Aeropuertos Andinos del Perú (AAP) con 05 aeródromos, Aeropuertos del Perú (ADP) con 12 aeródromos, Lima Airport Partners (LAP) con 01 aeródromo y otros con 43 aeródromos. De estos, se realiza la presente investigación en el Aeródromo de Atalaya, el cual tiene vuelos directos desde Pucallpa, Sepahua, Lima y otros.

La pavimentación aeroportuaria es importante para la seguridad de los ocupantes, es por ello que se debe realizar periódicamente mantenimiento rutinario que es de carácter preventivo y mantenimiento periódico para corregir defectos puntuales de mayor severidad.

La evaluación superficial y estructural tiene como finalidad determinar las condiciones actuales de la carpeta asfáltica y de la estructura para posterior proponer alternativas de solución.

El presente trabajo de investigación consta de 5 capítulos, los cuales están organizados de la siguiente manera:

En el **capítulo I** – Planteamiento del Problema, se sustenta la descripción de los orígenes del problema, formulación del problema, objetivos de la investigación, justificación e importancia, hipótesis y las variables, tanto independiente como dependiente.

En el **capítulo II** – Marco Teórico, se detalla la descripción de los antecedentes de la investigación, mediante la descripción de estudios previos a nivel internacional, nacional y local; además se definen las bases teóricas, como también la definición de los términos básicos.

En el **capítulo III** – Metodología de la Investigación, se detalla la descripción del método de investigación, tales como, el tipo, nivel y diseño para la presente investigación; también, la población y muestra determinadas para realizar el análisis de resultados, procedimiento de recolección de datos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, procesamiento de los datos y el tratamiento de los mismos.

En el **capítulo IV** – Resultados, se detalla los valores numéricos obtenidos para la presente investigación.

En el **capítulo V** – Discusión de Resultados, consta de la validación y comprobación de los resultados mediante pruebas estadísticas.

Conclusiones y recomendaciones, de manera concisa y con objetividad se señala lo encontrado por los investigadores; además se exponen las recomendaciones que sirven para mejorar la situación actual.

Finalmente, se muestran en orden alfabético las referencias bibliográficas; y todos los anexos que acompañan a la presente investigación.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y Fundamentación del Problema

Los aeródromos son estaciones para todas las aeronaves, ya sea de transporte de pasajeros o carga, que por sus características generalmente cuentan con pistas de aterrizaje, calle de rodaje, plataformas de estacionamiento de aeronaves, instalaciones de combustible para aeronaves.

El mantenimiento periódico y/o de rutina de los pavimentos del área de movimiento de aeronaves es fundamental para asegurar el correcto funcionamiento del aeródromo y además no generar pérdidas económicas por inversiones realizadas anteriormente. El pavimento que se encuentra en buenas condiciones proporciona mayor seguridad para los pasajeros y menores costos a largo plazo, ya que la inversión del mantenimiento equivale a un costo de conservación y será compensado a lo largo del tiempo, pues, el no realizar el mantenimiento genera costos que no es contemplado en las inversiones anuales. Es por ello que realizando un mantenimiento se ahorra en las inversiones anuales realizadas.

La importancia de una pista de aterrizaje bien construida influye en la seguridad de las personas que la usa, en la conservación de las aeronaves y en la economía de operación y mantenimiento del aeródromo. El período de vida de la pista de aterrizaje, calle de rodaje y plataforma bien construida puede llegar hasta los 30 años en buenas condiciones y extenderse hasta por 15 años más con un óptimo mantenimiento. (Pernús, 2016, p. 18)

El 22 de febrero de 1992 bajo el Decreto Ley N° 25676 se realizó la transferencia de recursos hasta por la suma de cuarenta millones y 00/100 soles (S/ 40'000,000.00) al Ministerio de Transporte, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, para el financiamiento de proyecto de carreteras, pistas de aterrizaje y puentes; dentro de los cuales estaba incluido el aeropuerto

de Atalaya. Para iniciar operaciones en el año 1994, teniendo una vida útil proyectada de 20 años.

Las características son: La pista de aterrizaje tiene 1500 metros de largo y 30 metros de ancho; los espesores de la estructura del pavimento son: carpeta asfáltica $e= 1.5$ pulg y base granular $e= 30$ cm.

De lo antes expuesto se determina que ya cumplió con su vida útil (en total 29 años desde su construcción), sin embargo, desde el inicio de su vida útil no se realizaron proyectos de ampliación o mejoramiento del mismo, solo proyectos de mantenimiento por CORPAC (Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial S.A.), el último mantenimiento se realizó en el año 2010.

Debido a la corta longitud de la pista de aterrizaje hace que las aeronaves comerciales de gran tamaño no puedan aterrizar y solo se limita a aeronaves pequeñas y aeronaves de la FAP (Fuerza Aérea del Perú) que realizan vuelos humanitarios.

Se realizó una inspección visual al pavimento y se observó fallas como: piel de cocodrilo, agrietamiento en bloque, grietas longitudinales y transversales, parcheo, huecos y desprendimiento de agregados, siendo la pista de aterrizaje la zona más afectada en la primera quinta parte (sentido del aterrizaje de los aviones).

Esto tiene como consecuencia que los pilotos de las aeronaves tengan que evitar aterrizar en la zona con fallas como huecos debido a que podría producir daños a la aeronave e incluso accidentes. Esta labor se complica aún más cuando se tiene vuelos de emergencia nocturno porque el aeródromo no cuenta con iluminación nocturna y es la población que con sus vehículos particulares iluminan la pista de aterrizaje.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la evaluación de la condición estructural y superficial del pavimento del área de movimiento de aeronaves del Aeródromo de Atalaya, localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Atalaya en la región de Ucayali, en relación a las normas establecidas por la Administración Federal de Aviación (FAA) y Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)?

1.2.2. Problemas Específicos

1. ¿Cuáles son los tipos de fallas que influyen en la condición superficial del pavimento?
2. ¿Cuánto será el C.B.R. (California Bearing Ratio) obtenido por la deflectometría y en que categoría de resistencia de suelo se encontrará?
3. ¿Cuál será el PCN (Número Clasificador de Pavimento) mediante la metodología del Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la condición estructural y superficial del pavimento asfáltico del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya, localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Atalaya en la región de Ucayali y verificar si cumple con las normas establecidas por la Administración Federal de Aviación (FAA) y Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Identificar los tipos de fallas que influyen en la condición superficial del pavimento del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya,

localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Atalaya en la región de Ucayali.

2. Determinar la deflectometría del pavimento asfáltico mediante el ensayo con la Viga Benkelman; y el C.B.R. (California Bearing Ratio) por medio de la deflectometría y el modelo de Hogg.
3. Determinar el PCN (Número Clasificador de Pavimento) siguiendo la metodología del Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C.

1.4. Justificación e Importancia

La escasa información y bibliografía acerca del tema nos genera motivación para realizar esta tesis y poder ayudar a que más ingenieros civiles ahonden en el tema de aeródromos. Los aeródromos no deben tener un pavimento estructuralmente deficiente ya que puede generar riesgo en las operaciones aéreas, lo cual podría causar el despiste de las aeronaves generando pérdidas de vidas humanas también pérdidas materiales que en conclusión causaría el cierre total o parcial del aeródromo.

La presente investigación es importante porque sirve como base para investigaciones futuras de otros aeródromos de la región Ucayali. Los ensayos que se realizarán del pavimento de la pista de aterrizaje del aeródromo de Atalaya son de gran importancia porque con los datos obtenidos se podrá determinar si la pista de aterrizaje del aeródromo de atalaya se encuentra en óptimas condiciones para las operaciones de las aeronaves que se viene desarrollando hasta la actualidad, así como el aterrizaje de aeronaves de mayor envergadura y además verificar si cumple con los parámetros exigidos por la norma de la FAA.

1.5. Limitaciones y Alcances

Para la presente investigación se tiene las siguientes limitaciones:

- Falta de disponibilidad tecnológica para el desarrollo de ensayos con equipos más sofisticados.

- La investigación se limita a la evaluación estructural de la pista de aterrizaje del aeródromo de Atalaya porque es el que recibe principalmente el impacto de las aeronaves.
- El estudio se limita al área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

Los parámetros de la condición estructural y superficial del pavimento asfáltico del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya, localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Atalaya en la región de Ucayali, están dentro de los parámetros que exige las normas establecidas por la Administración Federal de Aviación (FAA) y Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

1.6.2. Hipótesis Específicas

1. Las fallas encontradas demuestran una condición superficial de pavimento colapsado ($PCI \leq 10$) en el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya, localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Atalaya en la región de Ucayali.
2. El C.B.R. (California Bearing Ratio) de la subrasante obtenido mediante la deflectometría y el modelo de Hogg se encuentra en una categoría de resistencia de suelo alta ($C.B.R. \geq 13 \%$).
3. El PCN (Número Clasificador de Pavimento) obtenido mediante el Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C es igual al PCN: 27/F/A/X/T que fue establecido por CORPAC (Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación comercial) para el aeródromo de Atalaya, localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Atalaya en la región de Ucayali.

1.7. Sistemas de Variables Dimensiones e Indicadores

1.7.1. Variable Independiente

- Variable Independiente de Hipótesis específica 1:
Los tipos de fallas encontradas.
- Variable Independiente de Hipótesis específica 2:
Deflectometría.
- Variable Independiente de Hipótesis específica 3:
Tráfico de Aeronaves.

1.7.2. Variable Dependiente

- Variable Dependiente de Hipótesis específica 1:
Índice de condición de pavimento en aeropuertos PCI.
- Variable Dependiente de Hipótesis específica 2:
El C.B.R. (California Bearing Ratio).
- Variable Dependiente de Hipótesis específica 3:
PCN (Número Clasificador de Pavimento).

1.7.3. Indicadores

- PCI (Índice de Condición del Pavimento).
- Severidad, largo, ancho y profundidad por cada tipo de falla.
- Deflexiones.
- Aeronaves.
- C.B.R (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte)
- PCN (Número Clasificador de Pavimento).

1.7.4. Dimensiones

- Inspección visual.
- Medición de cada uno de los tipos de fallas.

- Cantidad de aeronaves.
- Peso operativo de las aeronaves.
- Presión de los neumáticos.
- Cantidad de deformación del pavimento.

Tabla 1*Operacionalización de variables*

HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN O UNIDAD DE MEDIDA
<p>Hipótesis General:</p> <p>Los parámetros de la condición estructural y superficial del pavimento asfáltico del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya, localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Atalaya en la región de Ucayali, están dentro de los parámetros que exige las normas establecidas por la Administración Federal de Aviación (FAA) y Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).</p>	<p>Al ser una hipótesis descriptiva, no se tiene variable independiente ni dependiente, solo variables de medición, las cuales son: índice de condición de pavimentos en aeropuertos (PCI) y el número clasificador de pavimento (PCN) establecidos por la FAA y OACI.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspección visual. ✓ Medición de cada uno de los tipos de fallas. ✓ Cantidad de aeronaves. ✓ Peso operativo de las aeronaves. ✓ Presión de los neumáticos. ✓ Cantidad de deformación del pavimento. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ PCI. ✓ Severidad, largo, ancho y profundidad por cada tipo de falla. ✓ Deflexiones. ✓ Aeronaves. ✓ C.B.R. ✓ PCN 	<p>PCI (Escala de medición)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Excelente ✓ Muy Bueno ✓ Bueno ✓ Regular ✓ Malo ✓ Muy malo ✓ Colapsado <p>PCN</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ % ✓ Salidas/año ✓ Psi ✓ Lbs
<p>Hipótesis Específica 1:</p> <p>Las fallas encontradas demuestran una condición superficial de pavimento colapsado ($PCI \leq 10$) en el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya, localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Atalaya en la región de Ucayali.</p>	<p>VI.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Los tipos de fallas encontradas. <p>VD.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Índice de condición de pavimento en aeropuertos (PCI). 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspección visual. ✓ Medición de cada uno de los tipos de fallas. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ PCI. ✓ Severidad, largo, ancho y profundidad por cada tipo de falla. 	<p>PCI (Escala de medición)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Excelente ✓ Muy Bueno ✓ Bueno ✓ Regular ✓ Malo ✓ Muy malo ✓ Colapsado

Hipótesis Específica 2:
El C.B.R. (California Bearing Ratio) de la subrasante obtenido mediante la deflectometría y el modelo de Hogg se encuentra en una categoría de resistencia de suelo alta (C.B.R. ≥ 13 %).

- VI.
- ✓ Deflectometría
- VD.
- ✓ El C.B.R. (California Bearing Ratio)

✓ Cantidad de deformación del pavimento.

- ✓ Deflexiones.
- ✓ C.B.R.

- ✓ mm
- ✓ %
- ✓ Alta (CBR ≥ 13)
- ✓ Media ($8 < \text{CBR} < 13$)
- ✓ Baja ($4 < \text{CBR} \leq 8$)
- ✓ Ultra-Baja (CBR ≤ 4)

Hipótesis Específica 3:
El PCN (Número Clasificador de Pavimento) obtenido mediante el Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C es igual al PCN: 27/F/A/X/T que fue establecido por CORPAC (Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación comercial) para el aeródromo de Atalaya, localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Atalaya en la región de Ucayali.

- VI.
- ✓ Tráfico de aeronaves.
- VD.
- ✓ PCN (Número Clasificador de Pavimento)

✓ Cantidad de aeronaves.
✓ Peso operativo de las aeronaves.
✓ Presión de los neumáticos

- ✓ Aeronaves.
- ✓ C.B.R.
- ✓ PCN

- ✓ Salidas/año
- ✓ %
- ✓ Lbs
- ✓ Psi

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

Los antecedentes recopilados en el ámbito local, nacional e internacional, sobre trabajos de investigación acerca de la evaluación superficial y estructural del pavimento, son los siguientes:

2.1.1. Antecedentes en el Contexto Local

En los centros de investigación del departamento de Ucayali no existe ningún trabajo de investigación que abarque un tema similar al de la presente investigación. Se realizó la búsqueda en los repositorios de las escuelas profesionales de ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU) y Universidad Alas Peruanas (UAP). Sin embargo, en el repositorio de la Universidad Ricardo Palma se encontró la siguiente investigación:

En la tesis de Silva (2011) titulada: Estudio de ingeniería para el mejoramiento del aeródromo de Breu – Ucayali, tiene como objetivo proponer y explicar los criterios fundamentales y necesarios para la solución al problema durante las operaciones de aterrizaje y despegue de aeronaves aplicando la ingeniería de aeródromos.

Desarrolló la fase de inversión de un proyecto de aeródromos, partiendo previamente por el desarrollo del Plan Maestro del Aeródromo, para lo cual se realizaron los estudios de campo respectivo (topografía, suelos, canteras e hidrología) los cuales fueron la base para realizar los diseños respectivos (geométrico, pavimentos y drenaje). (Silva, 2011, p. 6)

Concluye que el Aeródromo de Breu requiere de un mejoramiento integral, para lo cual se ha planteado reorientar en 6° el actual eje de la pista de aterrizaje y/o despegue, a fin de permitir la ampliación futura de la pista, lográndose una pista de 1300 m de largo

por 30 m de ancho y con un pavimento adecuado a nivel de mortero asfáltico, de tal forma que permita las operaciones de aeronaves de tipo regional. (Silva, 2011, p. 192)

2.1.2. Antecedentes en el Contexto Nacional

En la tesis de Martínez y Ventocilla (2009) titulada: Rehabilitación de pavimentos del Aeropuerto de Cusco usando modificadores de asfalto, los objetivos de la presente tesis, es plantear una alternativa de solución a fin de que el pavimento pueda cumplir su vida útil proyectada debido a las condiciones propias del emplazamiento del aeropuerto. Asimismo, que sirva de guía y consulta a toda persona que de una forma u otra tengan que ver con el diseño y costos de construcción de un aeropuerto.

Concluye que en la reconstrucción de los pavimentos y en la construcción de pavimentos nuevos, tanto de asfalto como de concreto, es necesario realizar un mejoramiento del terreno de fundación para la conformación de la subrasante. Este mejoramiento será de espesor variable, de acuerdo a la condición del terreno existente. (Martínez y Ventocilla, 2009, p. 224)

En la tesis de Sivrero (2019) titulada: Relación entre el diseño estructural de pavimentos aeroportuarios y el costo – efectividad de construcción, su objetivo general fue determinar la relación entre el diseño estructural de pavimentos aeroportuarios con el costo – efectividad de construcción; la hipótesis general verificada fue: Existe relación entre el diseño estructural de pavimentos aeroportuarios con el costo – efectividad de construcción.

El método de la investigación fue deductivo, el tipo fue aplicado, de nivel descriptivo correlacional y el diseño fue no experimental. La muestra fue de 323 metros lineales (6 puntos de investigación) en una población de 2015 metros lineales de la pista de aterrizaje del Aeródromo de Vicco. (Sivrero, 2019)

Se concluyó que existe relación entre el diseño estructural de pavimentos aeroportuarios con el costo – efectividad de construcción; por lo cual, se construyeron modelos

matemáticos de regresión lineal (ecuaciones) para determinar ratios de costo y plazo. (Siviruelo, 2019, p. 16)

En la tesis de Coaquira y Conza (2020) titulada: Diseño de pavimentos de la pista de aterrizaje del aeropuerto internacional de la Joya en el cual se realizó el diseño del pavimento de la pista de aterrizaje, como el estudio de vientos para su orientación, y el estudio del tráfico correspondiente al pavimento del Aeropuerto Internacional de la Joya.

Se empleó la metodología propuesta por la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos (FAA), utilizando también las recomendaciones de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y las regulaciones Aeronáuticas del Perú (RAP).

“Se desarrolló dos tipos de diseño, para pavimentos rígidos y para pavimentos flexibles y también se obtuvo las deformaciones admisibles y actuantes para el pavimento” (Coaquira y Conza, 2020, p. 5).

Concluye que el pavimento flexible es más económico que el pavimento rígido y además que las deformaciones actuantes en la estructura obtenida con el programa BISAR 3.0 del pavimento flexible (tensiones horizontales en la parte inferior de la carpeta y deformaciones verticales en la parte superior de la subrasante) son menores a las deformaciones admisibles. (Coaquira y Conza, 2020, p. 181)

2.1.3. Antecedentes en el Contexto Internacional

En la tesis de Cano (2017) titulada: Gestión de pavimentos de aeropuertos mediante indicadores de fisuración superficial, concluye que el método del PCI únicamente muestra el estado superficial del pavimento, que en algunos casos puede resultar en leves o grandes daños estructurales, pero sin las herramientas suficientes para evaluar el pavimento en este aspecto.

En la tesis de Martínez y Moyano (2014) titulada: Evaluación estructural del pavimento en las plataformas norte y sur del aeropuerto internacional el Dorado, realizó un estudio a través del método ACN / PCN establecido por la OACI (Organización Internacional de Aviación Civil) y la FAA (Federal Aviation Administration), los cuales permiten conocer el efecto individual de una aeronave sobre la estructura de pavimento.

A partir de los métodos ya mencionados, se realizó el análisis de tránsito para cada una de las plataformas, y a partir de la información de ensayos de deflectometría con el equipo HFWD, se determinó mediante el método de la AASHTO el Módulo de reacción (K). La investigación se desarrolló con la ayuda del programa COMFAA desarrollado por la FAA y el análisis de información de construcción y los parámetros descritos anteriormente, se determinó para cada una de las posiciones evaluadas el código ACN/PCN. Determinó la resistencia del pavimento, que, para este caso particular, las plataformas presentan un buen estado estructural y no requieren de intervenciones para soportar el tráfico de aeronaves existente. (Martínez y Moyano, 2014, p. 12)

2.2. Bases Teóricas – Científicas

2.2.1. Aeródromo

“Área definida de tierra o de agua con pistas e instalaciones que incluye todas sus edificaciones, instalaciones y equipos destinada a la llegada, salida y movimiento de aeronaves, pasajeros o carga en su superficie” (Regulaciones aeronáuticas del Perú – RAP 314, 2018, p. 6).

2.2.2. Aeropuerto

Es un aeródromo en el que existen de modo permanente instalaciones y servicios de carácter público, para asistir de modo regular al tráfico aéreo, permitir el aparcamiento y reparación del material, recibir o despachar pasaje y/o carga. También se puede considerar como un intercambiador de medios de transporte. (Belmar, 2013)

Todos los Aeropuertos son aeródromos, pero no todos los aeródromos son aeropuertos.

2.2.3. Pavimento Flexible

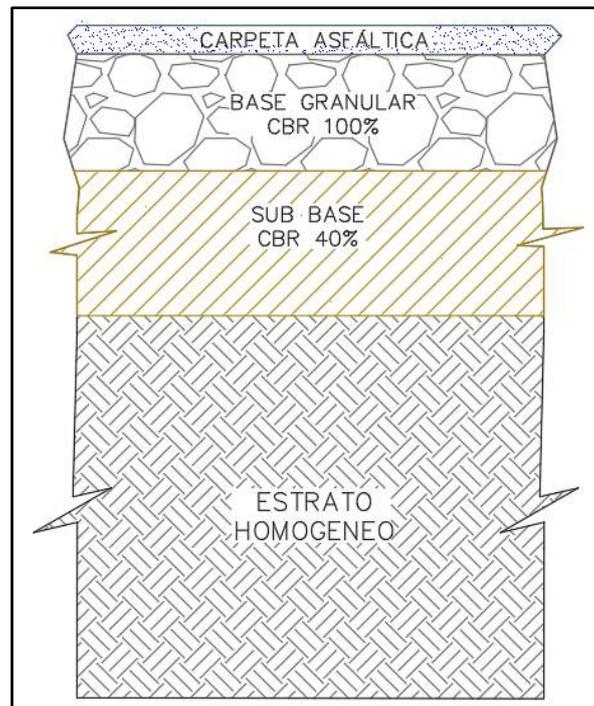
El pavimento es una estructura cuyos elementos son estratos interdependientes, en donde los esfuerzos se transmiten a través de la superficie de contacto entre ellas, desvaneciéndose conforme se profundizan. Los esfuerzos a su vez generan deformaciones cuya magnitud depende de la resistencia y propiedades de los materiales de los mismos estratos y de los subyacentes. Los elementos de la estructura del pavimento se apoyan sobre el suelo de fundación.

El pavimento flexible usualmente está compuesto de una capa de subbase, base y la carpeta de rodadura.

El pavimento al ser una estructura compuesto por capas, el análisis estructural está basado en la teoría de la elasticidad aplicada a modelos multicapa elásticos.

Figura 1

Estructura típica del pavimento flexible



Fuente: Elaboración Propia.

“El pavimento asfáltico resulta más económico en primera instancia, tiene un tiempo de vida entre 12 a 16 años, pero tiene como inconveniente que requiere mantenimiento periódico para cumplir con su tiempo de servicio” (Leguía y Pacheco, 2016, p. 23).

2.2.4. Aeronave

“Cualquier máquina que puede soportarse en la atmósfera debido a las reacciones del aire que no sean las reacciones del aire contra la superficie del planeta” (Sachiko, 2016).

2.2.5. Área de Movimiento de Aeronaves

Parte del aeródromo que es utilizado para el aterrizaje, despegue, rodaje y estacionamiento de aeronaves, integrada por el área de maniobras y las plataformas.

2.2.5.1. Calle de Rodaje. Vía definida en un aeródromo terrestre, establecida para el rodaje de aeronaves y destinada a proporcionar enlace entre una y otra parte del aeródromo, incluyendo:

“Calle de rodaje en la plataforma. La parte de un sistema de calles de rodaje situada en una plataforma y destinada a proporcionar una vía para el rodaje a través de la plataforma” (Regulaciones aeronáuticas del Perú – RAP 314, 2018, p. 7).

Calle de salida rápida. Calle de rodaje que se une a una pista en un ángulo agudo y está proyectada de modo que permita a los aviones que aterrizan virar a velocidades mayores que las que se logran en otras calles de rodaje de salida y logrando así que la pista esté ocupada el mínimo tiempo posible. (Regulaciones aeronáuticas del Perú – RAP 314, 2018, p. 7)

2.2.5.2. Pista de Aterrizaje. “Área rectangular definida en un aeródromo terrestre para el aterrizaje y el despegue de las aeronaves” (Regulaciones aeronáuticas del Perú – RAP 314, 2018, p. 10).

2.2.5.3. Plataforma. “Área definida, en un aeródromo terrestre, destinada a dar cabida a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento” (Regulaciones aeronáuticas del Perú – RAP 314, 2018, p. 11).

2.2.6. Tráfico Equivalente

El efecto combinado de múltiples aeronaves en la combinación de tráfico de un aeropuerto. Este tráfico combinado se conjuntará con el tráfico equivalente de la aeronave crítica. En términos simples el tráfico equivalente es conocer el tráfico de aeronaves y las cargas sobre el pavimento. Cuando se requiere determinar el efecto del tráfico de aeronaves que operan en la pista del aeródromo se usará datos de salidas, pasadas, interacción repeticiones de carga y ciclo de tráfico.

2.2.7. Índice de Condición del Pavimento (PCI)

El Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad. La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema y las cuales se presentan a continuación. (Vásquez, 2002, p. 2)

Se presentan la totalidad de los daños incluidos en la formulación original del PCI, pero eventualmente se harán las observaciones de rigor sobre las patologías que no deben ser consideradas debido a su génesis o esencia ajenas a las condiciones locales. El usuario de esta guía estará en capacidad de identificar estos casos con plena comprensión de forma casi inmediata. (Vásquez, 2002, p. 2)

2.2.8. Evaluación Superficial de Pavimentos Asfálticos

La evaluación superficial de pavimentos asfálticos consiste en recopilar las fallas superficiales en el pavimento asfáltico mediante la metodología del índice de la condición del Pavimento (PAVEMENT CODITION INDEX – PCI), tomando lo indicado en la norma ASTM D5340-20, en el cual se determina la localización de la falla, su severidad y la longitud o área de falla y se establecen los parámetros que indican el comportamiento funcional – estructural del pavimento en servicio; las fallas superficiales que se puede encontrar en pavimentos aeroportuarios son:

2.2.8.1. Falla 1: Piel de Cocodrilo. La piel de cocodrilo es un conjunto de fisuras en serie interconectadas que es causada por fatiga de la superficie de concreto asfáltico bajo carga repetida de tráfico. La fisuración se da por debajo de la superficie de la base estabilizada donde se producen altas tensiones y deformación por efecto de la carga transmitidas por las ruedas de la aeronave (ASTM D5340-20, 2020).

Figura 2*Falla 1: Piel de cocodrilo*

Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.2. Falla 2: Exudación. La exudación es una capa delgada de material bituminoso que se encuentra en la superficie de pavimento, en la que se puede producir reflejo, generalmente se torna bastante pegajosa. La exudación se desarrolla por una excesiva cantidad de cemento asfáltico en la mezcla o por bajo contenido de vacíos. En el frío la exudación no es reversible por lo tanto se acumula en la superficie (ASTM D5340-20, 2020).

Figura 3*Falla 2: Exudación*

Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.3. Falla 3: Agrietamiento en Bloque. En el agrietamiento en bloque se interconectan grietas que dividen el pavimento en piezas rectangulares aproximadamente. El tamaño de los bloques puede estar entre 1 por 1 ft a 10 por 10 ft (0.30 por 0.30 m a 3 por 3 m). El agrietamiento en bloque usualmente se da en una porción grande del área de pavimento, pero también en las áreas de tráfico normal. Este tipo de falla se diferencia de la falla de piel de cocodrilo en que los bloques de cocodrilo forman las piezas más pequeñas y con varios lados con ángulos agudos (ASTM D5340-20, 2020).

Figura 4

Falla 3: Agrietamiento en bloque



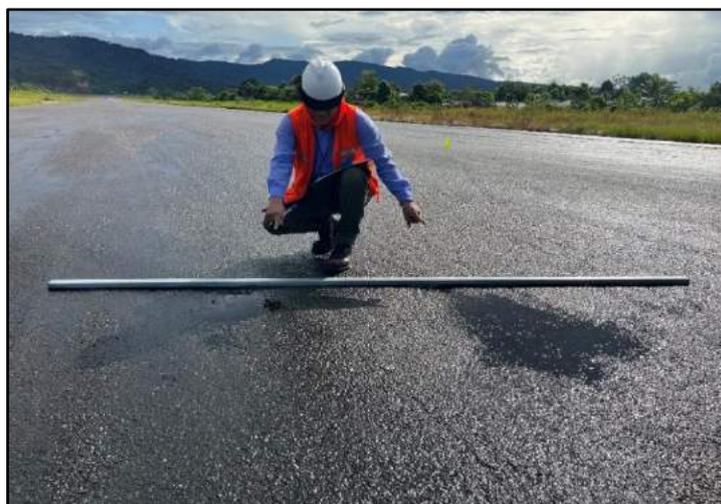
Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.4. Falla 4: Ondulación / Corrugación. La ondulación es generada en el pavimento en intervalos (usualmente de 5 pies o 1.5 m) a lo largo del pavimento, las ondulaciones son generadas en dirección perpendicular al tráfico, y se da por la acción combinada del tráfico con una superficie o base inestable (ASTM D5340-20, 2020).

Figura 5*Falla 4-Ondulación/Corrugación*

Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.5. Falla 5: Depresión. Las depresiones se ubican en tramos de superficies pavimentadas donde hay una zona más baja que en las zonas a su alrededor, en la mayoría de casos las depresiones no están a simple vista, éstas suelen aparecer después de una lluvia en donde el agua se almacena formando “bebedero para pájaros”; también puede ser ubicado las depresiones sin necesidad de lluvia por las manchas que el agua acumulada deja (ASTM D5340-20, 2020).

Figura 6*Falla 5-Depresión*

Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.6. Falla 6: Erosión por Chorro de Turbina. La erosión por chorro de turbina es cuando en el pavimento hay zonas oscuras porque el material ligante bituminoso ha sido carbonizado o quemado; Las áreas carbonizadas puede tener una profundidad de ½ in (13 mm) aproximadamente (ASTM D5340-20, 2020).

Figura 7

Falla 6: Erosión por chorro de turbina



Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.7. Falla 7: Grietas de Reflexión de Juntas. Las grietas de reflexión de juntas son ocasionadas por el movimiento de la losa rígida y asfáltica, debido a los cambios térmicos y de humedad, sin tomar en cuenta la carga a la que son sometidos los pavimentos; Si se conoce las dimensiones de las fisuras en el pavimento asfáltico ayudará a identificar el grado de severidad (ASTM D5340-20, 2020).

2.2.8.8. Falla 8: Grietas Longitudinales y Transversales. Las grietas longitudinales son paralelas al eje del pavimento de la pista de aterrizaje, es generado por el endurecimiento del pavimento debido a la contracción del pavimento asfáltico (ASTM D5340-20, 2020).

Las grietas transversales son las que aproximadamente son generadas en ángulos rectos al eje del pavimento de la pista de aterrizaje, estas fisuras no son producidas por la repetición de carga (ASTM D5340-20, 2020).

Figura 8*Falla 8: Grietas longitudinales y transversales*

Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.9. Falla 9: Deterioro por Derrame de combustible. Es cuando el derrame de combustible, aceite o un solvente como la gasolina, petróleo, entre otros en el pavimento, causa ablandamiento a la superficie de la misma (ASTM D5340-20, 2020).

2.2.8.10. Falla 10: Parcheo (reparaciones). El parcheo es considerado una falla, que si se encuentra en óptimo estado también se considera bacheo (ASTM D5340-20, 2020).

Figura 9*Falla 10: Parcheo (reparaciones)*

Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.11. Falla 11: Pulimento de Agregados. Los agregados pulidos son generados por el tráfico continuo que padece el pavimento y este se observa cuando se realiza una

inspección minuciosa del pavimento y revela que una parte del agregado que está encima del asfalto es muy pequeña o no hay presencia de partículas de agregado ásperas que proporcione una resistencia adecuada al deslizamiento (ASTM D5340-20, 2020).

Figura 10

Falla 11: Pulimento de agregados



Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.12. Falla 12: Peladura y Efecto de la Intemperie. En la superficie de desgaste del pavimento, usualmente se puede encontrar el efecto de la intemperie y la peladura, estos son ocasionados por la pérdida de la capacidad ligante del asfalto y el desprendimiento de agregados (ASTM D5340-20, 2020).

Figura 11

Falla 12-Peladura y efecto de la intemperie



Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.13. Falla 13: Ahuellamiento. El ahuellamiento se produce por el hundimiento de un tramo del pavimento justo en la zona por donde pasa el tren de aterrizaje de la aeronave, el pavimento se eleva a ambos lados donde ocurre el ahuellamiento; El ahuellamiento con severidad leve y media es notable luego de las lluvias, cuando en la zona de tránsito del tren de aterrizaje de la aeronave quedan llenas de agua. El ahuellamiento también puede ser generado por la deformación constante de alguna capa del pavimento o de la subrasante (ASTM D5340-20, 2020).

Figura 12

Falla 13: Ahuellamiento



Fuente: Elaboración propia.

2.2.8.14. Falla 14: PCC Expuesto (Desplazamiento). El desplazamiento (empuje) es ocasionado en los extremos donde se encuentran la losa de concreto y el pavimento asfáltico, se da porque se incrementa la longitud del pavimento de concreto de cemento Pórtland. Este incremento empuja al pavimento asfáltico generando que estos se hinchen o agrieten, el crecimiento de la losa de concreto es por la apertura gradual de las juntas ya que estas tienen materiales incompresibles que les impiden volver a cerrar (ASTM D5340-20, 2020).

2.2.8.15. Falla 15: Grieta Parabólica (Slippage). Las grietas parabólicas, deslizamiento o resbalamiento son ocasionadas por el frenado de las ruedas de las aeronaves en el momento del aterrizaje, tiene la forma de media luna con dos extremos apuntando en la

dirección del tráfico, ocurre cuando hay una mezcla de superficie con poca resistencia y una unión deficiente entre la superficie y la capa adyacente de la estructura del pavimento.

2.2.8.16. Falla 16: Hinchamiento. La característica principal de esta falla es la presencia de un hinchamiento de la masa en la superficie pavimentada. La presencia de congelamiento en la subrasante o el hinchamiento de los suelos es lo que ocasiona usualmente el hinchamiento (ASTM D5340-20, 2020).

2.2.9. Evaluación Estructural de Pavimentos Asfálticos

La evaluación estructural de los pavimentos consiste básicamente, en la determinación de la capacidad del sistema pavimento - subrasante existente de soportar diferentes tipos, pesos o volumen de tráfico de aeronaves; se puede realizar durante la etapa de construcción para establecer que su performance cumple con lo estipulado en el diseño, o en cualquier momento de su vida de servicio, para verificar niveles de servicio, cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento este cerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función.

Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos, los ensayos destructivos y los ensayos no destructivos. Entre los ensayos destructivos más conocidos están las calicatas que nos permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuestas, a través de las paredes de esta y realizar ensayos de densidad in situ. (Leguía y Pacheco, 2016, p. 36)

Tradicionalmente se ha recurrido a la perforación de calicatas, a la toma de muestras para su ensayo en el laboratorio, y al análisis de cada uno de sus componentes (materiales) por separado, para incorporarlos luego en el sistema (pavimento) y deducir acerca de las características estructurales del mismo.

Como una alternativa para la evaluación estructural se tienen las pruebas no destructivas (NDT) mediante ensayos con equipos deflectométricos, los equipos más utilizados

en el Perú son la Viga Benkelman, el cual es un ensayo de carga estática, el deflectómetro de impacto (FWD), que es el más utilizado a nivel mundial por su característica dinámica al aplicar la carga de ensayo, el deflectómetro de impacto pesado (HWD) y últimamente a nivel internacional se está utilizando el deflectómetro de impacto liviano (LWD) por su bajo costo, estas pruebas se basan en la interpretación de deflexiones medidas en la superficie de un pavimento. Las pruebas no destructivas se fundamentan en que la forma y dimensión de la curva de deflexiones nos da una importante información acerca de las características estructurales del pavimento y su subrasante. Para interpretar esta información en forma cuantitativa, se compara al sistema pavimento – subrasante real con un modelo matemático utilizando las deflexiones medidas para determinar los parámetros estructurales del sistema.

Además, para la evaluación estructural al ser los pavimentos asfálticos materiales viscoelásticos estos se ven afectados por las altas temperaturas, también las capas granulares y subrasante son perceptibles a la variación que genera la humedad en épocas de verano e invierno, por estas razones es importante conocer los datos de temperatura mensual y la precipitación mensual.

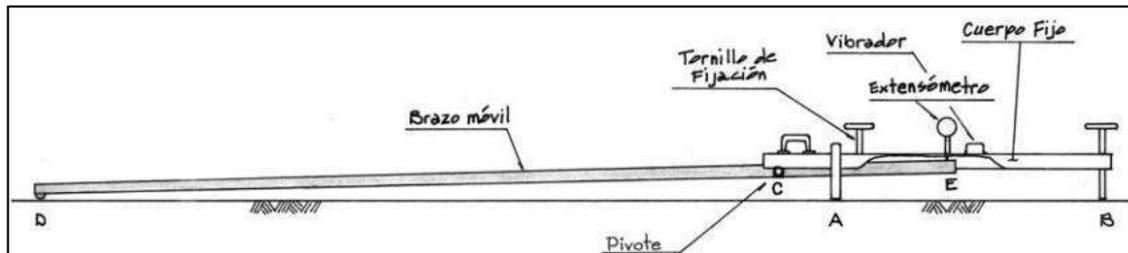
Se puede decir entonces que, en general, la evaluación estructural es un proceso de diseño inverso ya que utiliza la respuesta del sistema para determinar las características estructurales, lo cual es conceptualmente opuesto a un proceso de diseño.

2.2.10. Viga Benkelman

El deflectómetro Benkelman tiene un diseño simple y trabaja de manera mecánica mediante un comportamiento de palanca.

Figura 13

Viga Benkelman



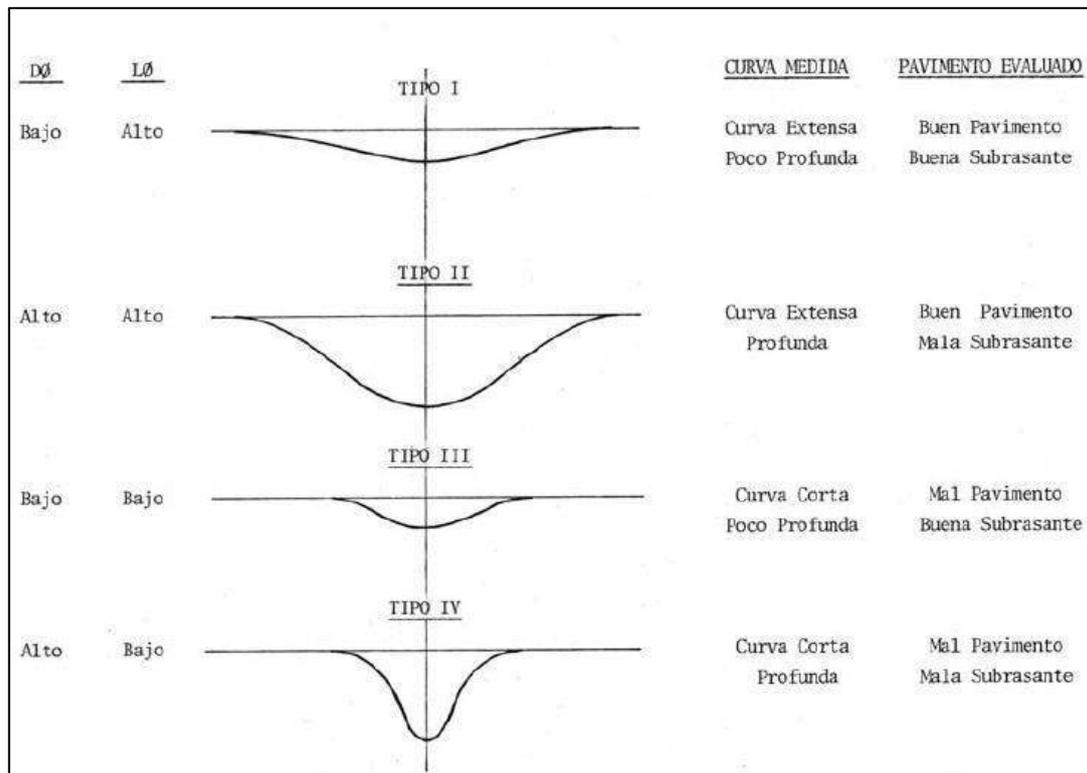
Fuente: “Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones” (Hoffman y Del Águila, 1985).

La viga Benkelman está compuesta de dos partes. La primera parte es el cuerpo fijo es aquella que se apoya en el terreno mediante tres apoyos, dos de ellos se encuentran en el punto “A” los cuales son estáticos y uno de ellos se encuentra en el punto “B” el cual es regulable.

La segunda parte es el cuerpo móvil, es móvil porque se encuentra unido a una rótula de giro en el punto “C”, también está compuesto por el brazo (DE), uno de los extremos del brazo se encuentra apoyado sobre el terreno y es el punto “D”, por su parte el otro extremo mantiene un toque muy sensible con el extensómetro de movimiento vertical en el punto “E”.

Este equipo funciona conjuntamente con un camión cargado, generalmente con 80 KN en un eje, con una presión de 0.48 a 0.55 Mpa (70 a 80 Psi) en las llantas duales. Se coloca la punta de la viga entre las dos ruedas del camión y se empieza a tomar medidas de las deflexiones cuando el vehículo entra en movimiento, todas las deflexiones se observan en un indicador dial.

Usualmente, la punta de la viga Benkelman se ubica a 1.20 m del par de llantas, se toma una lectura inicial y el camión a ubicarse una distancia lejana del punto inicial, se toma la lectura máxima.

Figura 14*Tipos de curvas de deflexiones*

Fuente: “Estudios de evaluación estructural de pavimentos basados en la interpretación de curvas de deflexiones” (Hoffman y Del Águila, 1985).

El Modelo de Hogg es la esencia matemática de la viga Benkelman, en el año 1944, A.H. Hogg dio a conocer la solución matemática del modelo que lleva su mismo nombre. Este modelo supone que el pavimento es una capa delgada con una cantidad de rigidez a la flexión y horizontalmente infinita, apoyada en una capa isotrópica y homogénea, de infinito o limitado espesor por una base horizontal, perfectamente rugosa y rígida.

2.2.11. *Deflexión del Pavimento*

La definición del término deflexión del pavimento lo podemos considerar como la medida de la deformación elástica que se ve expuesta un pavimento, al movimiento de un peso en función del tipo y del estado actual del pavimento. A la gran cantidad de deflexiones que se generan entre el punto de aplicación de la carga en un pavimento y sus alrededores se le conoce como el cuenco de deflexiones.

Las propiedades del cuenco de deflexiones lo componen tres parámetros fundamentales, que nos ayuda a tener una visión y condición de homogeneidad del pavimento, los cuales son:

2.2.11.1. Deflexión Máxima Normalizada. Es la deflexión medida por la punta de la viga Benkelman que se ubica en el medio de las ruedas del camión y se normaliza mediante siguiente ecuación:

$$D_o \text{ normalizada} = d_o * \frac{\text{carga aplicada}}{\text{carga normalizada}}$$

Esta normalización nos permite evaluar partes donde no se tenga en cuenta la variación de cargas entre ensayos, además también se puede normalizar para temperatura.

2.2.11.2. Área. Ayuda a una aproximación de la rigidez relativa de la sección del pavimento, naturalmente de las capas adhesionadas, esto ocurre a no es muy sensible a la rigidez de la subrasante.

2.2.11.3. Índice de Curvatura de la Superficie. Indica la rigidez que tienen las primeras capas de un pavimento.

2.2.12. *Número de Clasificador de Aeronaves (ACN)*

El anexo 14 de la OACI, se define el ACN (Aircraft Classification Number) como:

Cifra que indica el efecto relativo de una aeronave sobre un pavimento, para determinada categoría normalizada del terreno de fundación, el número de clasificación de aeronaves se calcula con respecto a la posición del centro de gravedad (CG), que

determina la carga crítica sobre el tren de aterrizaje crítico. Usualmente, para calcular el ACN, se emplea la posición más retrasada del centro de gravedad correspondiente a la masa bruta máxima en la plataforma. En casos excepcionales, la posición más avanzada del centro de gravedad puede determinar que resulte más crítica la carga sobre el tren de aterrizaje delantero. (OACI, 1983, p. 30)

Otra definición de ACN es: “número que expresa el efecto relativo de una aeronave de peso dado sobre un pavimento con una categoría del terreno de cimentación especificada” (García y Quevedo, 2008, p. 3).

2.2.13. Número de Clasificador del Pavimento (PCN)

El PCN (Pavement Classification Number) se define como: “Cifra que indica la resistencia de un pavimento, para utilizarlo sin restricciones para operaciones de aeronaves” (OACI, 1983, p. 30).

En otra definición del PCN es “el número que expresa la capacidad de carga de un pavimento para un número limitado de operaciones” (García y Quevedo, 2008, p. 3).

Para el cálculo del ACN-PCN, se emplea las siguientes variables:

- Categoría del terreno de fundación.
- Frecuencia operacional.
- Presión de los neumáticos.

2.2.13.1. El Dato Numérico del Número Clasificador del Pavimento (PCN). Es el dato relativo de la resistencia del pavimento asimilando a una carga de rueda simple, el Número Clasificador del Pavimento (PCN) señalará que una Aeronave con número de clasificación de aeronave (ACN) mayor al PCN obtenido no puede realizar ninguna maniobra sobre ese pavimento, ya que la presión de neumáticos o la masa total afectará al pavimento.

2.2.13.2. El Tipo de Pavimento. Para fines de reporte de la resistencia del pavimento, estos se clasifican en Flexibles (F) y Rígidos (R).

2.2.13.3. La Capacidad de Soporte del Suelo de Apoyo. Se clasifica utilizando valores promedios para cada rango de resistencia de la subrasante, siendo el parámetro de módulo de reacción K para pavimentos rígidos y el CBR para pavimentos flexibles, según los valores presentados a continuación (Ver Tabla 2 y 3).

Tabla 2

Rangos de la resistencia del terreno de fundación – Pavimento flexible

CATEGORÍA DE RESISTENCIA DEL SUELO DE FUNDACIÓN	CBR. VALOR DE SOPORTE DE SUBRASANTE (%)	REPRESENTATIVO	CÓDIGO DE DESIGNACIÓN
ALTA	15	$CBR \geq 13$	A
MEDIA	10	$8 < CBR < 13$	B
BAJA	6	$4 < CBR \leq 8$	C
ULTRA BAJA	3	$CBR \leq 4$	D

Fuente: Administración Federal de Aviación – Advisory Circular N° 150/5335-5C.

Tabla 3

Rangos de la resistencia del terreno de fundación – Pavimento rígido

CATEGORÍA DE RESISTENCIA DEL SUELO DE FUNDACIÓN	K – VALOR SOPORTE DE SUBRASANTE (MN/m³)	REPRESENTATIVO PCI (MN/m³)	CÓDIGO DE DESIGNACIÓN
ALTA	552.6 (150)	$k \geq 442$ (≥ 120)	A
MEDIA	294.7 (80)	$221 < k < 442$ ($60 < k < 120$)	B
BAJA	147.4 (40)	$92 < k \leq 221$ ($25 < k \leq 60$)	C
ULTRA BAJA	73.7 (20)	$k \leq 92$ ($k \leq 60$)	D

Fuente: Administración Federal de Aviación – Advisory Circular N° 150/5335-5C.

2.2.13.4. Presión en los Neumáticos. En pavimentos realizado con mezclas asfálticas, se ve restringido por la calidad del diseño de mezcla asfáltica y las condiciones climáticas. Para tomar en cuenta la presión de los neumáticos de las aeronaves, se tiene los siguientes límites de la presión admisible máxima (Ver Tabla 4).

Tabla 4

Codificación del nivel de presión en los neumáticos

CATEGORÍA	LÍMITES DE PRESIÓN DE NEUMÁTICO	CODIFICACIÓN
ILIMITADA	Sin límite de presión	W
ALTA	Presión limitada a 254 psi (1.75 MPa)	X
MEDIA	Presión limitada a 181 (1.25 MPa)	Y
BAJA	Presión limitada a 73 psi (0.50 MPa)	Z

Fuente: Administración Federal de Aviación – Advisory Circular N° 150/5335-5C.

2.2.13.5. Método de Evaluación. Evaluación experimental: se fundamenta en el tráfico de aeronaves que realizan sus maniobras en el pavimento del aeródromo, el procedimiento determinado indica calcular el ACN de las aeronaves que operan en el aeródromo y asignar al mayor valor como PCN, el método de evaluación se codifica con la letra U.

Evaluación Técnica: es la evaluación realizada mediante el estudio concentrado en las propiedades del pavimento con la aplicación de innovaciones del comportamiento de los mismos. Mediante esta técnica la evaluación se codifica con la letra T.

2.2.13.6. Metodología para la Determinación del PCN Mediante Evaluación Técnica. Para obtener el número clasificador del pavimento (PCN) se realizará mediante el siguiente procedimiento:

- Obtener el volumen de tráfico por cada número de salidas anuales y tipo de aeronave que el pavimento experimenta durante su ciclo de vida.
- Obtener la sección de referencia óptima fundamentado en el número de ruedas del tren principal.
- Obtener los parámetros propios del pavimento, incluyendo el espesor del pavimento equivalente y el CBR de la subrasante.
- Computar para las aeronaves principales el peso bruto máximo a nivel de salida anual que experimenta el pavimento.
- Computar el número clasificador de aeronaves (ACN) mediante el peso bruto máximo de las aeronaves principales.
- Elegir el número clasificador del pavimento (PCN) de los datos obtenidos por el ACN de las aeronaves principales.

Ejemplo del PCN: 80/F/C/W/U

- El primer valor, es un valor numérico que indica la resistencia calculada del pavimento y por tanto el “Número de clasificación de Aeronave” (ACN) admisible.
- El segundo valor, es una letra: “R” o “F” y depende de si se trata de un pavimento rígido o flexible.
- El tercer valor, es otra letra: de “A” a “D” en función de la resistencia de la subrasante.
- El cuarto valor, es otra letra que indica la presión máxima de los neumáticos que puede soportar el pavimento.
- El quinto valor, describe el método de cálculo del primer valor del PCN, según si la evaluación se ha realizado de forma técnica (T) o empírica (U).

2.2.14. Ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R.) de Suelos

El ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R.) se realiza en carreteras y aeropuertos para la obtención de un índice de resistencia de los suelos. El ensayo se realiza usualmente de un suelo creado en el laboratorio en condiciones óptimas de humedad y densidad; sin embargo, también se puede realizar de muestras inalteradas obtenidas del terreno. Este ensayo es posiblemente, el más utilizado en todo el mundo para estimar la capacidad de soporte de un suelo, es un factor básico para el dimensionamiento de una estructura.

El ensayo C.B.R. se utiliza para evaluar la resistencia de la subrasante, subbase y material de base, también se podría realizarlo de materiales reciclados que se usa en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizajes de aeródromos.

El ensayo C.B.R. expresa la fuerza que se necesita para generar una penetración en el material que se pone a prueba y además se compara con la fuerza necesaria para generar la misma penetración en la piedra caliza triturada estándar. El resultado del ensayo se interpreta

como una relación de las dos fuerzas (por ejemplo, un material con un C.B.R. de 20, ese resultado quiere decir que el material tiene el 15 por ciento de la resistencia a la penetración que ofrece la piedra caliza triturada estándar). En el Perú, Las pruebas de laboratorio del ensayo del C.B.R. se debe realizar en concordancia con el Manual de Ensayo de Materiales MTC-2014.

La Administración Federal de Aviación (FAA), supone que el espesor de la subrasante es infinito y se caracteriza por un módulo de elasticidad (E) o valor de C.B.R. El módulo de elasticidad de la subrasante para la evaluación y diseño de un pavimento flexible se puede determinar por la siguiente expresión:

$$E \text{ (psi)} = 1500 * CBR \text{ or } E \text{ (MPa)} = 10 * CBR$$

2.2.15. Tránsito de Aeronaves

Son todas las aeronaves que se movilizan por la pista de aterrizaje, calle de rodaje y plataforma. El tránsito de aeronaves se expresa como la cantidad del volumen de tráfico distribuido por tipo de aeronave y el número de salidas / ciclos de tráfico anuales, que el pavimento experimentará durante su ciclo de vida.

Para la determinación del Número de clasificador del pavimento (PCN), se necesita conocer el tránsito de aeronaves en la pista de aterrizaje y además conocer los tipos de aeronaves, pesos y repeticiones.

2.2.16. Software COMFAA 3.0

El software COMFAA 3.0, es desarrollado por la Administración Federal de Aviación (FAA), es un programa de propósito general que opera en dos modos computacionales: en un modo para el cálculo del número de clasificación de aeronave (ACN) y en el modo para el diseño de pavimento en aeródromos.

El software COMFAA 3.0, es el complemento a la Circular de Asesoramiento AC 150 / 5335-5C, “Método estandarizado para informar la resistencia del pavimento de aeropuertos –

PCN”, para calcular el Número Clasificador del Pavimento (PCN) se ingresa el tránsito de aeronaves, la resistencia de la base del pavimento y el espesor del pavimento.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Metodología y Técnicas Utilizadas

1.1.1. Tipo y Nivel de Investigación

De acuerdo al fin que se persigue la presente investigación es **aplicada**, porque se busca conocer el estado superficial y estructural actual del pavimento del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya y además se desarrolla mediante la aplicación del conocimiento que se tiene sobre pavimentos aeroportuarios.

De acuerdo a los tipos de datos analizados la investigación es **cuantitativa**, porque se realiza la recolección y análisis de datos numéricos de cada una de las fallas encontradas y de las deflexiones del pavimento que se obtienen mediante el ensayo de deflectometría con Viga Benkelman.

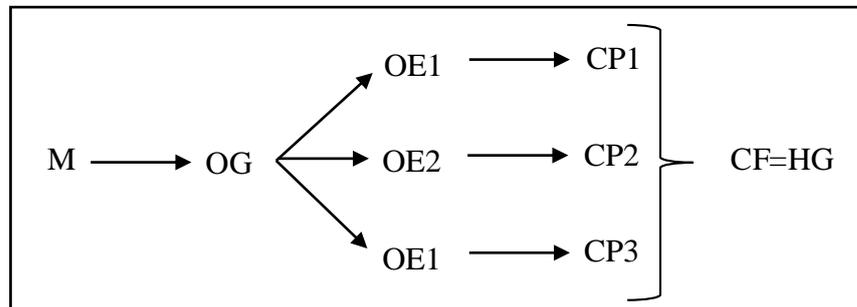
De acuerdo a la metodología para demostrar la hipótesis la investigación es **no experimental de tipo transversal**, porque las mediciones de las fallas y las deflexiones del pavimento se realizan en una sola ocasión.

1.1.2. Nivel de Investigación

- Descriptiva. La investigación es descriptiva porque se analizan las fallas superficiales del pavimento para conocer el PCI del pavimento aeroportuario y las deflexiones del pavimento para obtener el CBR y PCN del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya.
- Explicativo. La investigación es de nivel explicativo debido a que se determina como las deflexiones del pavimento influyen en la determinación del CBR del suelo de fundación y el PCN del pavimento del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya.

1.2. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación conforme a los resultados que se obtienen es por “Objetivos” de acuerdo al modelo que se presenta a continuación:



Donde:

- M = Muestra.
- OG = Objetivo general.
- OE = Objetivo Específico.
- CP = Conclusión Parcial.
- CF = Conclusión Final.
- HG = Hipótesis General.

1.2.1. Población

Definiendo población como el conjunto de elementos que poseen las características que se pretende investigar, en otras palabras, son todos y cada uno de los elementos en un determinado ámbito del cual se quiere extraer datos para investigar.

Bajo esta definición la población lo conforma todos los aeródromos de la región de Ucayali los cuales cuentan con área de movimiento de aeronaves (pista de aterrizaje, calle de rodaje y plataforma).

Tabla 5

Aeródromos en el ámbito regional - Región Ucayali

Infraestructura aeroportuaria	Provincia	Distrito	Administrador	Titularidad	Uso	Jerarquía	Tipo	Escala
Adventista MOP (SPYC)	Coronel Portillo	Yarinacocha	Asociación Proyectos Perú	Privado	Privado	Local	Aeródromo	Local
Aeródromo Atalaya	Atalaya	Raymondi	Corpac S.A.	Público	Público	Regional	Aeródromo	Regional
Aeródromo Breu	Atalaya	Yurúa	Corpac S.A.	Público	Público	Local	Aeródromo	Local
Aeródromo Cashibococha	Coronel Portillo	Yarinacocha	South América Mission Inc. Filial del Perú	Privado	Privado	Local	Aeródromo	Local
Aeródromo Culina	Purús	Purús	Comunidad de Culina	Privado	Privado	Local	Aeródromo	Local
Aeródromo Paititi	Atalaya	Yurúa	Comunidad de Paititi	Estado	Público	Local	Aeródromo	Local
Aeropuerto Cap. FAP David Armando Abensur Rengifo	Coronel Portillo	Callería	Aeropuertos del Perú S.A.	Concesionado	Público	Nacional	Aeropuerto	Internacional
Aeródromo Puerto Esperanza	Purús	Purús	Corpac S.A.	Estado	Público	Regional	Aeródromo	Regional
Aeródromo Sepahua	Atalaya	Sepahua	Municipalidad Distrital de Sepahua	Estado	Público	Municipal	Aeródromo	Local

Fuente: Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC).

1.2.2. Muestra

La muestra se expresa como la parte representativa de una población a investigar, de la cual se extraen los diferentes datos, con el propósito de investigar las propiedades de la población.

El muestreo intencional es un tipo de muestreo no probabilístico y no aleatorio que se representa por seleccionar muestras o muestra ya sea por la facilidad de acceso, en un rango de tiempo determinado u otra característica práctica de un elemento particular.

En la presente investigación la muestra lo conforma el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de la ciudad de Atalaya el cual tiene las siguientes dimensiones:

Tabla 6

Área de movimiento de aeronaves del Aeródromo de Atalaya

ÁREA DE MANIOBRAS	LARGO (m)	ANCHO (m)
PISTA DE ATERRIZAJE	1500	30
CALLE DE RODAJE	80	19
PLATAFORMA	90	90

Fuente: Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC).

1.3. Instrumentos de Recolección de Datos

1.3.1. Ficha de Registro de Campo para las Fallas Existentes para el PCI

Esta ficha permite recolectar los daños por unidad de muestreo (UM), severidad, coordenadas con respecto al origen de la UM y dimensiones por tipo de falla.

Figura 15

Ficha de registro de campo para las fallas existentes para el PCI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI		FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL		ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL			
 							
TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA"							
EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO (ASTM D5340)							
SECCION:	PROG. INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO		ESQUEMA			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>					
CARRIL/FRANJA:	PROG. FINAL	AREA DE MUESTREO					
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>					
FECHA	<input type="text"/>						
TIPOS DE FALLA							
N°	DAÑO	MEDIDA	N°	DAÑO	MEDIDA		
1	Piel de Cocodrilo	m2	11	Pulimento de agregados	m2		
2	Exudación	m2	12	Peladura y efecto de la intemperie	m2		
3	Agrietamiento en Bloque	m2					
4	Ondulación / Corrugación	m2	13	Ahuellamiento	m2		
5	Depresión	m2	14	PCC Expuesto (Desplazamien.)	m2		
6	Erosión por chorro de turbina	m2	15	Grieta parabólica (slippage)	m2		
7	Grieta de reflexión de junta	m	16	Hinchamiento	m2		
8	Grietas longitudinal y transversal	m					
9	Deterioro por derrame de combus.	m2					
10	Parqueo	m2					
INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES							
DAÑO	SEVERIDAD	COORDENADAS		MEDIDAS			TOTAL
		X	Y	LARGO	ANCHO	PROFUNDIDAD	

Fuente: Elaboración propia.

1.3.4. Equipo Requerido para Realizar las Mediciones de Fallas – PCI

La medición de las dimensiones depende del tipo de falla a analizar, a continuación, se presenta las unidades de medida por tipo de falla.

- | | | |
|-----|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. | Piel cocodrilo | – Metros cuadrados (m ²). |
| 2. | Exudación | – Metros cuadrados (m ²). |
| 3. | Agrietamiento en bloque | – Metros cuadrados (m ²). |
| 4. | Ondulación / Corrugación | – Metros cuadrados (m ²). |
| 5. | Depresión | – Metros cuadrados (m ²). |
| 6. | Erosión por Chorro de Turbina | – Metros cuadrados (m ²). |
| 7. | Grieta de Reflexión de Junta | – Metros (m). |
| 8. | Grietas Longitudinal y Transversal | – Metros (m). |
| 9. | Deterioro por derrame de combustible | – Metros cuadrados (m ²). |
| 10. | Parqueo | – Metros cuadrados (m ²). |
| 11. | Pulimento de agregados | – Metros cuadrados (m ²). |
| 12. | Peladura y Efecto de la Intemperie | – Metros cuadrados (m ²). |
| 13. | Ahuellamiento | – Metros cuadrados (m ²). |
| 14. | PCC Expuesto (Desplazamiento) | – Metros cuadrados (m ²). |
| 15. | Grieta parabólica (Slippage) | – Metros cuadrados (m ²). |
| 16. | Hinchamiento | – Metros cuadrados (m ²). |

Los materiales, equipos y herramientas necesarios para realizar la inspección de fallas

– PCI son:

- Odómetro: utilizado para medir longitudes o distancias.
- Regla o perfil rectangular de 3 metros de longitud: complemento para medir deflexiones del pavimento.
- Vernier: utilizado para medir deflexiones.

- Cinta métrica o flexómetro: utilizado para medir longitudes.
- Conos de seguridad vial: utilizado para aislar la unidad de muestreo.
- Cordel: utilizado para alinear el eje de la pista de aterrizaje.
- Formatos de hoja de campo, pizarra blanca, plumones, lapicero y corrector.

1.3.5. Equipo Requerido para Obtener las Deflexiones en el Pavimento

Las deformaciones forman parte de la evaluación de pavimentos, las cuales nos generan una importante información sobre el sistema pavimento-subrasante ya sea por la aplicación de cargas dinámicas y/o estáticas. Su cuantificación y evaluación nos permite investigar las fallas y deficiencias estructurales en el pavimento.

El ensayo para la determinación de deflexiones usando la Viga Benkelman se encuentra normalizado según el Manual de Carreteras denominado: Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC E 1002). Este se basa en las normas de la ASTM D-4695 (Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements).

El equipo necesario para realizar el ensayo de deflexiones es el siguiente:

- Viga Benkelman de brazo doble con sus respectivos diales.
- Un camión cargado, cuyo eje trasero tenga el peso de 8.2 toneladas, que estén distribuidos de manera simétrica en un par de llantas dobles con una presión de inflado de 75 a 85 psi, siendo lo óptimo 80 psi.
- Una balanza portátil con capacidad mínima de 10 toneladas para el pesaje del eje trasero del camión; en caso de no conseguir la balanza, puede pesarse en alguna balanza convencional, introduciendo en la balanza solo 2/3 del camión.
- Termómetro digital con requisitos mínimos de escala entre -10 °C a 50 °C y precisión de 1 °C.
- Manómetro que disponga de una boquilla adecuada para medir la presión de inflado de las llantas traseras.

- Elementos de seguridad tales como: ropa de seguridad, cascos, conos y señales de seguridad.
- Herramientas y complementos: odómetro, flexómetro de 50 m, plumones de punta gruesa, formato de hojas campo, lapiceros, lápices, cincel punta, martillo y tiralíneas.

1.4. Distribución y Recolección de Datos de las Unidades de Muestreo - PCI

Para el análisis del área de movimiento de aeronaves se sectorizó en: Pista de aterrizaje, calle de rodaje y plataforma.

Según la norma ASTM D-5340, el área de cada unidad de muestreo debe estar en el rango de $450 \pm 180.0 \text{ m}^2$, por consiguiente, se tiene como mínimo un área de 270.0 m^2 y máximo de 630.0 m^2 para aeropuertos.

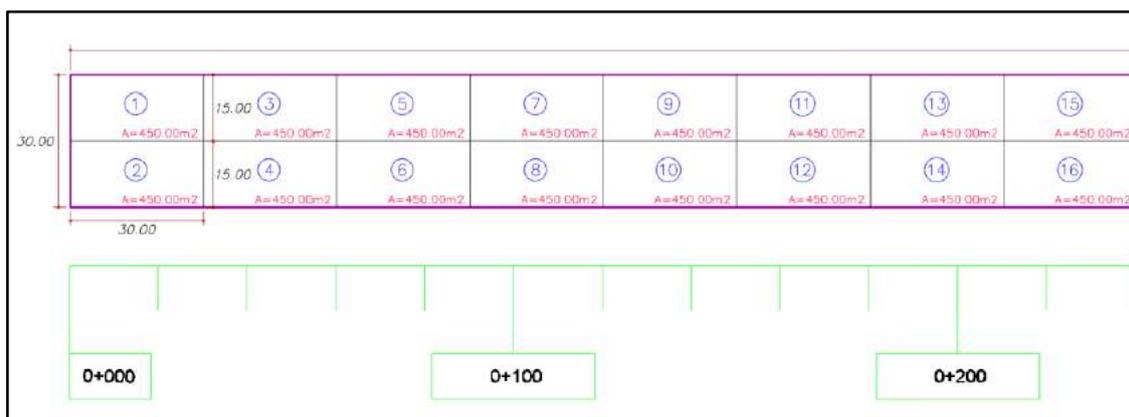
1.4.1. Distribución de las Unidades de Muestreo – Pista de Aterrizaje

La pista de aterrizaje se dividió en dos franjas: lado derecho y lado izquierdo, a su vez se obtuvo en total 101 unidades de muestreo, numeradas del 001 al 101.

Desde la UM 001 hasta 098 se tiene áreas de 450.00 m^2 , desde UM 099 hasta 100 tienen área de 490.60 m^2 y UM 101 tiene área de 545.00 m^2 .

Figura 18

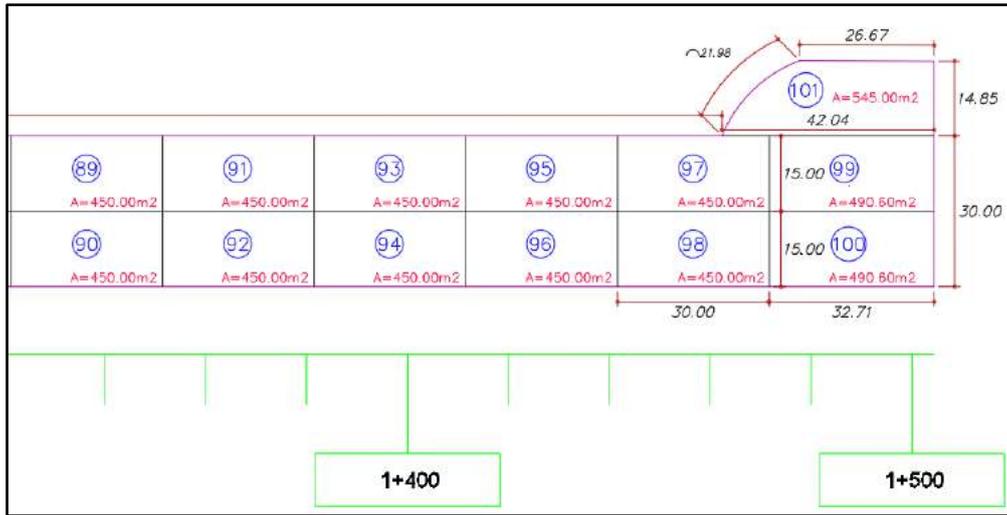
Unidades de muestreo desde el inicio (progresiva 0+000) de la pista de aterrizaje



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

Unidades de muestreo hasta el final (progresiva 1+504.40) en la pista de aterrizaje



Fuente: Elaboración propia.

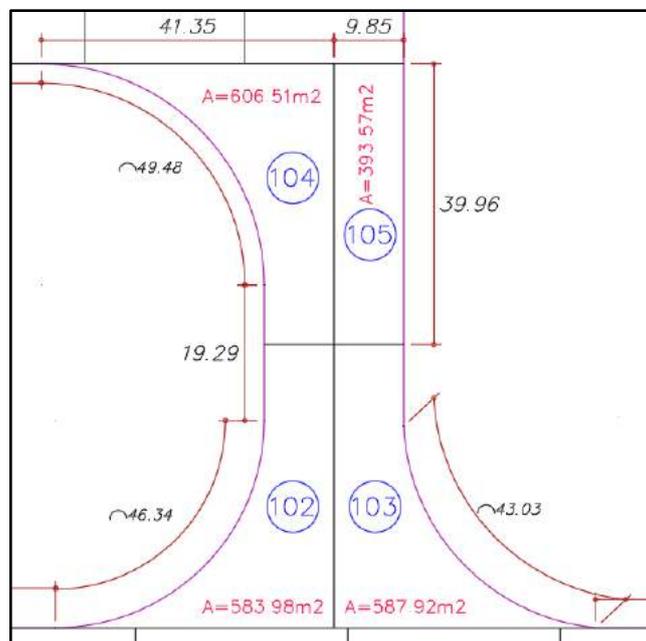
1.4.2. Distribución de las Unidades de Muestreo – Calle de Rodaje

En la calle de rodaje se obtuvo 04 unidades de muestreo, numeradas del 102 al 105.

La UM 102 tiene un área de 583.98 m², la UM 103 tiene un área de 587.92, la UM 104 tiene un área de 606.51 m² y la UM 105 tiene un área de 393.57 m².

Figura 20

Unidades de muestreo en la calle de rodaje



Fuente: Elaboración propia.

1.4.3. Distribución de las Unidades de Muestreo – Plataforma

En la plataforma se obtuvo 16 unidades de muestreo, numeradas del 106 al 121.

Desde la UM 106 hasta 113 se tiene áreas de 562.50 m² y desde UM 114 hasta 121 tienen área de 450.00 m².

Figura 21

Unidades de muestreo en la plataforma



Fuente: Elaboración propia.

1.4.4. Resumen de Unidades de Muestreo, Áreas y Secciones

A continuación, se muestra el resumen de las 121 unidades de muestreo, cumpliendo el rango de áreas.

Tabla 7

Resumen de áreas de unidades

RESUMEN DE AREAS DE UNIDADES DE MUESTREO		
SECCION	UM	ÁREA (m2)
PISTA DE ATERRIZAJE	001 - 098	450.00
PISTA DE ATERRIZAJE	099	490.60
PISTA DE ATERRIZAJE	100	490.60
PISTA DE ATERRIZAJE	101	545.00
CALLE DE RODAJE	102	583.98
CALLE DE RODAJE	103	587.92
CALLE DE RODAJE	104	606.51
CALLE DE RODAJE	105	393.57
PLATAFORMA	106-113	562.50
PLATAFORMA	114-121	450.00

Fuente: Elaboración propia.

1.4.5. Recolección de Datos de Campo

La recolección de datos se realizó en marzo del 2022 y se siguió los criterios de daño, severidad y unidad de medida para el registro. Además, se utilizó siglas para identificar las secciones, las cuales son:

Tabla 8

Resumen siglas por cada sección

SECCIONES Y SIGLAS	
SECCION	SIGLA
PISTA DE ATERRIZAJE	PA
CALLE DE RODAJE	CR
PLATAFORMA	PL

Fuente: Elaboración propia.

1.4.5.1. Recolección de Datos de Campo – Pista de Aterrizaje. Para facilidad en la recolección de datos cada tipo de falla y severidad se identificó con un código, los cuales son:

Tabla 9

Códigos de fallas

CODIGO	TIPO DE FALLA
01	Piel de Cocodrilo
02	Exudación
03	Agrietamiento en Bloque
04	Ondulación / Corrugación
05	Depresión
06	Erosión por chorro de turbina
07	Grietas de reflexión de junta
08	Grietas longitudinales y transversales
09	Deterioro por Derrame de combustible
10	Parcheo (reparaciones)
11	Pulimento de agregados
12	Peladura y efecto de la intemperie
13	Ahuellamiento
14	PCC Expuesto (Desplazamiento)
15	Grieta parabólica (Slippage)
16	Hinchamiento

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Códigos de severidad

CODIGO	SEVERIDAD
L	Low/Bajo
M	Medium/Medio
H	High/Alto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11*Datos recolectados UM 001 al 010 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
001	PA	8	M	-	15.33	15.33
		1	L	30.00	15.00	450.00
		13	M	30.00	1.50	45.00
		5	M	3.40	3.60	12.24
002	PA	3	L	30.00	10.00	300.00
		13	L	30.00	3.60	108.00
		1	L	30.00	5.00	150.00
003	PA	1	L	30.00	7.00	210.00
		5	M	0.75	0.51	0.38
		5	L	0.50	0.30	0.15
		5	L	1.60	0.30	0.48
		12	H	3.40	0.80	2.72
004	PA	3	L	30.00	11.96	358.80
		1	L	30.00	3.04	91.20
005	PA	12	M	30.00	5.51	165.30
		12	H	15.08	0.43	6.48
		13	M	30.00	6.64	199.20
006	PA	3	M	30.00	9.75	292.50
		1	L	3.00	5.25	15.75
		12	L	27.00	5.25	141.75
007	PA	12	M	30.00	9.86	295.80
		12	L	30.00	4.14	124.20
008	PA	5	L	0.53	0.52	0.28
		1	L	30.00	5.11	153.30
		12	L	30.00	9.89	296.70
009	PA	12	M	30.00	9.86	295.80
		12	L	30.00	4.14	124.20
		8	L	-	7.18	7.18
010	PA	8	M	-	12.19	12.19
		8	M	-	7.83	7.83
		1	L	30.00	5.11	153.30
		12	L	30.00	9.89	296.70
		8	L	3.21	-	3.21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12*Datos recolectados UM 011 al 024 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
011	PA	12	M	30.00	9.86	295.80
		12	L	30.00	4.14	124.20
012	PA	3	L	30.00	5.11	153.30
		12	M	30.00	9.89	296.70
013	PA	12	M	30.00	5.41	162.30
		12	L	30.00	9.59	287.70
014	PA	1	L	30.00	5.11	153.30
		12	L	30.00	9.89	296.70
015	PA	12	M	30.00	6.82	204.60
		12	L	30.00	8.18	245.40
		13	M	30.00	1.42	42.60
016	PA	12	L	30.00	7.86	235.80
		12	M	30.00	7.14	214.20
017	PA	12	M	30.00	6.81	204.30
		12	L	30.00	8.19	245.70
		13	M	30.00	1.42	42.60
018	PA	1	L	30.00	4.52	135.60
		13	L	30.00	3.14	94.20
		12	M	30.00	7.34	220.20
019	PA	12	M	30.00	6.81	204.30
		12	L	30.00	8.19	245.70
		13	M	30.00	1.42	42.60
020	PA	1	L	30.00	4.52	135.60
		13	L	30.00	3.14	94.20
		12	H	30.00	7.34	220.20
021	PA	12	M	30.00	6.65	199.50
		13	L	30.00	5.05	151.50
		12	L	30.00	3.30	99.00
022	PA	6	-	30.00	4.13	123.90
		1	M	30.00	5.10	153.00
		12	L	30.00	2.51	75.30
		12	M	30.00	7.39	221.70
023	PA	12	M	30.00	6.65	199.50
		12	L	30.00	3.30	99.00
		13	M	30.00	5.05	151.50
024	PA	1	M	30.00	5.10	153.00
		12	L	30.00	2.51	75.30
		12	M	30.00	7.39	221.70

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13*Datos recolectados UM 025 al 031 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
025	PA	10	H	0.43	0.25	0.11
		10	H	0.39	0.30	0.12
		10	H	0.85	0.65	0.55
		12	M	30.00	6.65	199.50
		12	L	30.00	3.30	99.00
		13	L	30.00	5.05	151.50
026	PA	6	-	30.00	2.29	68.70
		1	M	30.00	5.10	153.00
		12	L	30.00	2.51	75.30
		12	M	30.00	7.39	221.70
027	PA	12	H	30.00	5.71	171.30
		12	L	30.00	4.20	126.00
		13	L	23.80	5.09	121.14
		1	M	23.80	5.09	121.14
		10	H	6.20	2.91	18.04
028	PA	10	M	13.40	2.70	36.18
		1	L	30.00	1.90	57.00
		1	L	16.60	2.70	44.82
		12	L	30.00	3.10	93.00
		12	M	30.00	7.30	219.00
029	PA	12	H	30.00	5.71	171.30
		12	L	30.00	4.20	126.00
		10	H	16.82	2.91	48.95
		1	M	30.00	1.52	45.60
		1	M	7.85	2.91	22.84
		12	H	5.33	2.91	15.51
030	PA	10	H	14.72	3.71	54.61
		10	H	15.28	3.27	49.97
		1	M	30.00	0.71	21.30
		12	L	30.00	3.22	96.60
		12	M	30.00	6.62	198.60
031	PA	12	H	30.00	7.40	222.00
		12	M	30.00	3.30	99.00
		12	H	16.00	3.15	50.40
		1	M	14.00	1.15	16.10
		10	H	14.00	3.15	44.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14*Datos recolectados UM 032 al 041 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
032	PA	10	H	25.02	3.17	79.31
		1	M	30.00	0.71	21.30
		12	M	30.00	3.65	109.50
		12	H	30.00	7.47	224.10
033	PA	12	H	30.00	6.90	207.00
		12	M	30.00	2.74	82.20
		1	M	0.90	0.74	0.67
		10	H	0.90	3.09	2.78
		1	M	0.90	1.53	1.38
		1	M	29.10	5.36	155.98
034	PA	12	M	30.00	1.34	40.20
		10	H	9.13	1.79	16.34
		10	H	9.03	3.16	28.53
		1	M	11.14	4.50	50.13
		12	M	30.00	2.94	88.20
		12	H	30.00	7.56	226.80
035	PA	12	H	30.00	10.00	300.00
		1	M	30.00	5.00	150.00
036	PA	1	M	30.00	5.22	156.60
		12	M	30.00	2.40	72.00
		12	H	30.00	7.38	221.40
037	PA	12	H	30.00	7.06	211.80
		12	L	30.00	2.77	83.10
		1	M	30.00	5.17	155.10
038	PA	12	M	30.00	4.90	147.00
		12	L	30.00	2.30	69.00
		12	H	30.00	7.80	234.00
039	PA	12	H	30.00	7.06	211.80
		12	L	30.00	2.77	83.10
		1	M	30.00	5.17	155.10
040	PA	12	M	30.00	4.90	147.00
		12	L	30.00	2.30	69.00
		12	H	30.00	7.80	234.00
041	PA	12	H	30.00	7.06	211.80
		12	L	30.00	2.77	83.10
		1	M	30.00	5.17	155.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15*Datos recolectados UM 042 al 048 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
042	PA	12	M	30.00	3.10	93.00
		1	H	6.70	1.71	11.46
		1	M	8.38	1.71	14.33
		12	M	14.92	1.71	25.51
		12	M	30.00	2.70	81.00
		12	H	30.00	3.40	102.00
		10	M	16.84	0.63	10.61
		12	H	13.16	0.63	8.29
		12	H	30.00	3.46	103.80
043	PA	12	H	30.00	8.20	246.00
		12	M	30.00	1.82	54.60
		12	L	30.00	4.98	149.40
044	PA	12	L	30.00	5.10	153.00
		12	M	30.00	2.50	75.00
		12	H	30.00	3.12	93.60
		10	M	30.00	0.69	20.70
		12	H	30.00	3.59	107.70
045	PA	12	H	30.00	8.20	246.00
		12	M	30.00	1.82	54.60
		12	L	30.00	4.98	149.40
046	PA	12	L	30.00	5.01	150.30
		12	M	30.00	3.10	93.00
		10	M	1.30	1.12	1.46
		12	H	2.16	1.12	2.42
		12	H	26.54	1.12	29.72
		12	H	30.00	1.18	35.40
		10	M	9.95	0.69	6.87
		12	H	30.00	3.90	117.00
047	PA	12	H	30.00	8.20	246.00
		12	M	30.00	1.82	54.60
		12	L	30.00	4.98	149.40
048	PA	12	L	30.00	5.01	150.30
		12	M	30.00	2.48	74.40
		10	M	1.87	2.09	3.91
		12	M	20.24	2.09	42.30
		12	H	7.89	2.09	16.49
12	H	30.00	5.42	162.60		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16*Datos recolectados UM 049 al 057 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
049	PA	12	H	30.00	8.20	246.00
		12	M	30.00	1.82	54.60
		12	L	30.00	4.98	149.40
050	PA	12	L	30.00	5.03	150.90
		12	M	30.00	2.44	73.20
		10	M	3.40	0.63	2.14
		12	H	26.60	0.63	16.76
		12	H	30.00	6.90	207.00
051	PA	12	H	30.00	6.15	184.50
		10	M	16.16	1.42	22.95
		12	H	1.55	1.42	2.20
		12	H	12.29	1.42	17.45
		12	M	30.00	2.43	72.90
		12	L	30.00	5.00	150.00
052	PA	12	L	30.00	2.90	87.00
		10	H	3.10	0.70	2.17
		12	L	14.17	0.70	9.92
		12	L	12.73	0.70	8.91
		12	L	30.00	1.55	46.50
		12	M	30.00	2.32	69.60
		10	M	30.00	0.58	17.40
		12	H	30.00	6.95	208.50
053	PA	12	H	30.00	7.40	222.00
		12	M	30.00	2.38	71.40
		12	L	30.00	5.22	156.60
054	PA	12	L	30.00	4.88	146.40
		12	M	30.00	2.51	75.30
		10	M	30.00	0.60	18.00
		12	H	30.00	7.01	210.30
055	PA	12	H	30.00	7.40	222.00
		12	M	30.00	2.38	71.40
		12	L	30.00	5.22	156.60
056	PA	12	L	30.00	4.88	146.40
		12	M	30.00	2.51	75.30
		10	M	30.00	0.60	18.00
		12	H	30.00	7.01	210.30
057	PA	12	H	30.00	7.40	222.00
		12	M	30.00	2.38	71.40
		12	L	30.00	5.22	156.60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17*Datos recolectados UM 058 al 067 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
058	PA	12	M	30.00	7.17	215.10
		10	M	2.53	0.60	1.52
		12	H	27.47	0.60	16.48
		12	H	30.00	7.23	216.90
059	PA	12	H	30.00	7.40	222.00
		12	M	30.00	2.38	71.40
		12	L	30.00	5.22	156.60
060	PA	12	M	30.00	7.00	210.00
		12	H	30.00	8.00	240.00
061	PA	12	H	6.20	7.60	47.12
		12	M	23.80	7.60	180.88
		12	M	30.00	7.40	222.00
062	PA	12	M	30.00	5.10	153.00
		10	M	8.40	1.32	11.09
		12	M	21.60	1.32	28.51
		12	H	30.00	8.58	257.40
063	PA	12	M	30.00	7.80	234.00
		12	H	30.00	2.25	67.50
		12	L	30.00	4.95	148.50
064	PA	12	M	30.00	5.00	150.00
		10	M	15.88	1.27	20.17
		12	M	14.12	1.27	17.93
		12	H	30.00	8.73	261.90
065	PA	12	M	30.00	2.70	81.00
		12	H	30.00	2.80	84.00
		12	M	30.00	9.50	285.00
		16	L	0.53	0.41	0.22
066	PA	1	M	30.00	5.26	157.80
		10	M	23.60	0.97	22.89
		12	H	30.00	8.77	263.10
067	PA	12	H	17.67	10.10	178.47
		12	M	17.67	4.90	86.58
		10	M	0.72	15.00	10.80
		12	H	11.61	10.10	117.26
		12	M	11.61	4.90	56.89

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18*Datos recolectados UM 068 al 076 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
068	PA	1	M	17.67	5.00	88.35
		10	M	17.67	1.15	20.32
		12	H	17.67	8.85	156.38
		10	H	0.84	0.92	0.77
		10	H	0.70	15.00	10.50
		1	M	11.63	5.00	58.15
		10	M	8.60	1.15	9.89
		12	H	11.63	8.85	102.93
		12	H	3.03	1.15	3.48
069	PA	12	M	30.00	7.80	234.00
		12	H	30.00	2.16	64.80
		12	M	30.00	5.04	151.20
070	PA	1	M	30.00	5.08	152.40
		12	M	30.00	9.92	297.60
071	PA	12	M	26.06	5.38	140.20
		12	M	30.00	9.62	288.60
		12	H	0.65	5.38	3.50
		12	M	3.29	2.42	7.96
		12	H	3.29	3.00	9.87
072	PA	1	M	30.00	5.08	152.40
		12	M	30.00	9.92	297.60
073	PA	12	H	4.60	15.00	69.00
		12	L	25.40	15.00	381.00
074	PA	1	M	30.00	5.18	155.40
		12	H	30.00	1.30	39.00
		10	M	6.10	1.12	6.83
		12	M	14.90	1.12	16.69
		12	H	9.00	1.12	10.08
		12	M	30.00	7.40	222.00
075	PA	12	M	30.00	10.00	300.00
		1	M	30.00	5.00	150.00
		10	H	1.10	0.62	0.68
		10	H	0.90	0.56	0.50
		10	M	1.14	0.64	0.73
076	PA	1	M	30.00	5.00	150.00
		12	H	30.00	1.68	50.40
		12	M	30.00	8.32	249.60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19*Datos recolectados UM 077 al 083 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
077	PA	12	H	30.00	2.40	72.00
		10	M	20.09	0.62	12.46
		12	H	30.00	7.00	210.00
		1	M	30.00	4.98	149.40
		12	H	9.91	0.62	6.14
078	PA	1	M	30.00	5.00	150.00
		12	H	30.00	0.90	27.00
		10	M	3.13	1.04	3.26
		12	H	11.77	1.04	12.24
		12	H	15.10	1.04	15.70
		12	M	30.00	8.06	241.80
079	PA	12	H	30.00	9.90	297.00
		1	M	30.00	5.10	153.00
		10	H	1.69	0.93	1.57
		10	H	1.40	0.68	0.95
080	PA	1	M	30.00	5.03	150.90
		12	H	30.00	1.85	55.50
		12	M	30.00	8.12	243.60
081	PA	12	H	3.35	5.30	17.76
		12	M	30.00	2.80	84.00
		12	H	30.00	2.15	64.50
		1	M	30.00	4.75	142.50
		12	M	26.65	5.30	141.25
082	PA	1	M	30.00	5.00	150.00
		12	M	30.00	1.70	51.00
		1	M	30.00	3.90	117.00
		12	M	30.00	4.40	132.00
083	PA	12	M	30.00	7.20	216.00
		12	L	30.00	1.05	31.50
		12	H	30.00	1.60	48.00
		12	L	30.00	6.15	184.50
		10	H	0.64	0.43	0.28
		10	H	2.40	1.50	3.60
		10	H	1.80	0.30	0.54
		10	H	6.35	0.40	2.54

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20*Datos recolectados UM 084 al 091 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
084	PA	1	M	30.00	5.00	150.00
		12	M	30.00	1.70	51.00
		1	M	30.00	3.90	117.00
		12	M	30.00	4.40	132.00
		5	M	0.30	0.60	0.18
085	PA	12	L	30.00	1.20	36.00
		12	H	30.00	8.90	267.00
		12	M	30.00	4.90	147.00
		10	M	3.10	0.54	1.67
086	PA	1	M	30.00	5.00	150.00
		12	M	30.00	1.70	51.00
		1	M	30.00	3.90	117.00
		12	M	30.00	4.40	132.00
087	PA	12	L	30.00	1.20	36.00
		12	H	30.00	8.90	267.00
		12	M	30.00	4.90	147.00
088	PA	1	M	30.00	5.00	150.00
		12	M	30.00	1.70	51.00
		1	M	30.00	3.90	117.00
		12	M	30.00	4.40	132.00
089	PA	12	L	30.00	1.10	33.00
		12	H	30.00	1.70	51.00
		10	L	13.66	1.90	25.95
		12	H	16.34	1.90	31.05
		12	H	30.00	5.45	163.50
		12	M	30.00	4.85	145.50
090	PA	1	M	30.00	5.00	150.00
		12	M	30.00	4.20	126.00
		12	H	30.00	5.00	150.00
		12	L	30.00	0.80	24.00
091	PA	12	L	30.00	1.10	33.00
		12	H	30.00	1.70	51.00
		10	L	16.45	1.90	31.26
		12	H	13.55	1.90	25.75
		12	H	30.00	5.45	163.50
		12	M	30.00	4.85	145.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21*Datos recolectados UM 092 al 097 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
092	PA	1	M	30.00	5.00	150.00
		12	H	30.00	9.20	276.00
		12	L	30.00	0.80	24.00
093	PA	12	L	30.00	1.10	33.00
		12	H	30.00	3.50	105.00
		10	M	18.80	0.60	11.28
		12	H	11.20	0.60	6.72
		12	H	30.00	5.00	150.00
		12	M	30.00	4.80	144.00
094	PA	12	L	30.00	5.00	150.00
		12	H	30.00	1.30	39.00
		10	M	24.70	0.57	14.08
		12	M	30.00	2.06	61.80
		12	H	30.00	6.07	182.10
		10	H	5.30	0.57	3.02
095	PA	12	L	11.00	1.10	12.10
		12	H	11.00	3.50	38.50
		10	M	11.00	0.60	6.60
		12	H	11.00	5.00	55.00
		12	M	11.00	4.80	52.80
		12	L	19.00	1.10	20.90
		12	H	19.00	9.10	172.90
		10	M	3.60	1.80	6.48
		10	M	4.15	1.10	4.57
		10	M	2.10	0.60	1.26
096	PA	12	L	19.00	4.80	91.20
		12	L	30.00	5.00	150.00
		12	H	30.00	1.80	54.00
		12	M	30.00	2.30	69.00
097	PA	12	H	30.00	5.90	177.00
		12	H	30.00	9.90	297.00
		10	H	2.90	1.60	4.64
		10	H	5.22	2.30	12.01
		10	H	1.65	1.00	1.65
		12	M	30.00	5.10	153.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22*Datos recolectados UM 099 al 101 en la pista de aterrizaje (PA)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
098	PA	12	L	30.00	5.00	150.00
		12	H	30.00	1.80	54.00
		12	M	30.00	2.30	69.00
		12	H	30.00	5.90	177.00
099	PA	12	H	14.00	9.80	137.20
		10	H	18.70	9.80	183.26
		12	M	32.70	5.20	170.04
100	PA	10	H	1.20	1.15	1.38
		10	H	7.05	1.90	13.40
		12	L	32.70	5.00	163.50
		12	H	32.70	1.80	58.86
		12	M	32.70	2.30	75.21
		12	H	32.70	5.90	192.93
101	PA	12	H	45.40	12.00441	545.00

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 23***Datos recolectados UM 102 al 105 en la calle de rodaje (CR)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
102	CR	12	M	40.33	14.48004	583.98
		12	M	40.33	14.57773	587.92
103	CR	10	H	3.00	2.20	6.60
		10	M	2.00	2.30	4.60
104	CR	12	H	39.96	15.17831	606.51
105	CR	12	H	39.96	5.30	211.78
		12	M	39.96	4.55	181.81

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24*Datos recolectados UM 106 al 121 en la plataforma (PL)*

INVENTARIO DE FALLAS EXISTENTES						
UM	SECCIÓN	DAÑO	SEVERIDAD	MEDIDAS		TOTAL
				LARGO	ANCHO	
106	PL	12	M	22.50	25.00	562.50
107	PL	12	M	22.50	25.00	562.50
108	PL	12	M	22.50	25.00	562.50
109	PL	12	M	22.50	25.00	562.50
		10	H	2.10	5.90	12.39
		10	H	0.90	2.40	2.16
110	PL	12	M	22.50	25.00	562.50
111	PL	12	M	22.50	25.00	562.50
112	PL	12	M	6.90	25.00	172.50
		12	H	7.10	25.00	177.50
		12	M	8.50	25.00	212.50
113	PL	12	M	8.50	25.00	212.50
		12	H	14.00	25.00	350.00
114	PL	12	H	22.50	20.00	450.00
115	PL	12	H	14.20	20.00	284.00
		12	H	8.30	2.60	21.58
		10	M	8.30	8.20	68.06
		12	H	8.30	9.20	76.36
116	PL	12	H	22.50	2.50	56.25
		10	M	5.20	8.30	43.16
		12	H	22.50	9.20	207.00
		10	H	3.40	8.30	28.22
		12	H	13.90	8.30	115.37
117	PL	12	H	17.50	20.00	350.00
		10	H	5.00	20.00	100.00
118	PL	12	M	22.50	20.00	450.00
		10	H	1.10	0.73	0.80
119	PL	12	M	3.05	20.00	61.00
		12	H	11.80	20.00	236.00
		12	M	7.65	20.00	153.00
120	PL	12	M	22.50	20.00	450.00
		10	H	1.20	0.85	1.02
		10	H	1.65	1.70	2.81
		10	H	0.58	0.95	0.55
		10	H	1.20	1.65	1.98
		10	H	2.30	1.60	3.68
121	PL	12	M	22.50	20.00	450.00

Fuente: Elaboración propia.

1.5. Distribución y Recolección de los Puntos Analizados con la Viga Benkelman – Pista de Aterrizaje

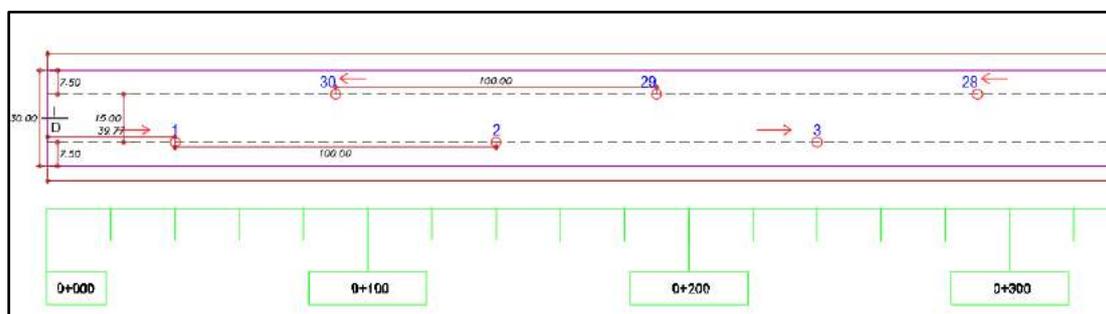
1.5.1. Distribución de los Puntos Analizados

El ensayo se realizó in situ haciendo uso de una viga Benkelman de doble brazo con relación 1:4. Teniendo en cuenta que la pista de aterrizaje es de 30 m x 1500 m, se dividió la pista de aterrizaje de manera longitudinal en dos secciones, lado derecho y lado izquierdo y se realizaron mediciones a una distancia de 7.50 m del borde de la pista, se optó por esta distancia porque es ahí por donde circula las ruedas del tren principal de las principales aeronaves que aterrizan en el aeródromo de Atalaya. Además, para la distribución de los puntos a ensayar está fue realizada con una distancia de 100 m entre cada punto, teniendo en la pista de aterrizaje una distancia intercalada de 50 m.

A continuación, se muestra la distribución de puntos analizados en la pista de aterrizaje tanto al lado derecho como al lado izquierdo para el ensayo de deflectometría con la Viga Benkelman.

Figura 22

Distribución de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en pista de aterrizaje



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25

Ubicación de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en pista de aterrizaje

Ensayo viga Benkelman de dos brazos – Pista de Aterrizaje			Ensayo viga Benkelman de dos brazos – Pista de Aterrizaje		
Punto de toma de datos	Progresiva (Km)	Lado	Punto de toma de datos	Progresiva (Km)	Lado
P1	0+040	Derecho	P16	0+090	Izquierdo
P2	0+140	Derecho	P17	0+190	Izquierdo
P3	0+240	Derecho	P18	0+290	Izquierdo
P4	0+340	Derecho	P19	0+390	Izquierdo
P5	0+440	Derecho	P20	0+490	Izquierdo
P6	0+540	Derecho	P21	0+590	Izquierdo
P7	0+640	Derecho	P22	0+690	Izquierdo
P8	0+740	Derecho	P23	0+790	Izquierdo
P9	0+840	Derecho	P24	0+890	Izquierdo
P10	0+940	Derecho	P25	0+990	Izquierdo
P11	1+040	Derecho	P26	1+090	Izquierdo
P12	1+140	Derecho	P27	1+190	Izquierdo
P13	1+240	Derecho	P28	1+290	Izquierdo
P14	1+340	Derecho	P29	1+390	Izquierdo
P15	1+440	Derecho	P30	1+480	Izquierdo

Fuente: Elaboración propia.

1.5.2. Recolección de Datos de Campo

La recolección de datos se realizó en marzo del 2022 y se obtuvo las lecturas de campo (10-2 mm) del primer dial a las distancias de 0, 25, 50, 75, 100 y 500 cm, también se obtuvo la lectura de campo (10-2 mm) del segundo dial, el espesor de asfalto (cm), la temperatura del ambiente (°C) y la temperatura del asfalto (°C) para cada punto ensayado con la viga Benkelman en la pista de aterrizaje. Los datos recopilados de campo se visualizan en la siguiente figura.

Figura 23

Ficha de registro de campo con los datos recopilados de la pista de aterrizaje al lado derecho

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI		FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL		ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
				PAGINA: 01/01						
TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA"										
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO - REGISTRO DE CAMPO										
Ensayo con Viga Benkelman de dos brazos - Pista de aterrizaje										
LUGAR	: Pista de aterrizaje			FECHA	: 01/04/2022					
TIPO DE PAVIMENTO:	Pavimento flexible			CARGA POR EJE	: 8200 kg					
LADO DE LA PISTA DE ATERRIZAJE	: Derecho			PRESIÓN DE INFLADO	: 80 psi					
Progresiva (Km)	Lecturas de campo (10^{-2} mm)							Espesor de asfalto (cm)	Temperaturas	
	Primer dial						Segundo dial		Amb	Asfalto
	L ₀	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₅	L ₁₀₀	L ₅₀₀	L ₂		°C	°C
0+040.00	0	5	9.5	10	10.5	11	4	5.00	29.9	35.1
0+140.00	0	5	6	7	8	10	2	5.00	29.9	35.1
0+240.00	0	5	7	11	11.5	12	7	5.00	29.9	35.1
0+340.00	0	5	6	7	8	10	5	5.00	28.4	35
0+440.00	0	10	15	20	21	22	11	5.00	28.4	35
0+540.00	0	4	7	11	12	14	7	5.00	28.5	35.3
0+640.00	0	4	5	7	7.5	8	6	5.00	28.5	35.3
0+740.00	0	9	11	12	13	17	8	5.00	28.7	34.3
0+840.00	0	10	14	18	19	20	10	5.00	28.7	34.3
0+940.00	0	4	4.5	5	6	8	5	5.00	27.9	35
1+040.00	0	7	8	10	10.5	13	7	5.00	27.9	35
1+140.00	0	7	8	9	10	13	5	5.00	29.4	36.5
1+240.00	0	5	8	12	12.5	13	11	5.00	29.4	36.5
1+340.00	0	10	14	18	19	21	13	5.00	29	35.4
1+440.00	0	4	5	7	8	9	4	5.00	29	35.4

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Ficha de registro de campo con los datos recopilados de la pista de aterrizaje al lado izquierdo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI		FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL		ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		PAGINA: 01/01				
TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA"										
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO - REGISTRO DE CAMPO										
Ensayo con Viga Benkelman de dos brazos - Pista de aterrizaje										
LUGAR	: Pista de aterrizaje				FECHA	: 01/04/2022				
TIPO DE PAVIMENTO	: Pavimento flexible				CARGA POR EJE	: 8200 kg				
LADO DE LA PISTA DE ATERRIZAJE	: Izquierdo				PRESIÓN DE INFLADO	: 80 psi				
Progresiva (Km)	Lecturas de campo (10^{-2} mm)							Espesor de asfalto (cm)	Temperaturas	
	Primer dial						Segundo dial		Amb	Asfalto
	L ₀	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₅	L ₁₀₀	L ₅₀₀	L ₂	°C	°C	
1+480.00	0	6	8	9	9.5	12	4	28.1	36.6	
1+390.00	0	4	5	7	7.5	8	5	28.1	36.6	
1+290.00	0	4	6	7	8	9	6	29	36.1	
1+190.00	0	4	5	6	7	8	3	29	36.1	
1+090.00	0	4	5	6	6.5	8	4	27.5	35	
0+990.00	0	4	4.5	5	5.5	8	4	27.5	35	
0+890.00	0	3	3.5	4	5	6	4	26	33.9	
0+790.00	0	4	6	8	10	13	8	26	33.9	
0+690.00	0	4	5	6	7	8	4	25.6	32.7	
0+590.00	0	4	5	6	6.5	8	5	25.6	32.7	
0+490.00	0	10	15	20	22	24	17	26.4	32	
0+390.00	0	20	22	25	31	37	19	26.4	32	
0+290.00	0	7	9	10	11	14	6	27.4	33	
0+190.00	0	5	7	9	9.5	11	4	27.4	33	
0+090.00	0	3	4	5	5.5	6	4	26.7	32.6	

Fuente: Elaboración propia.

1.6. Distribución y Recolección de los Puntos Analizados con la Viga Benkelman – Calle de Rodaje

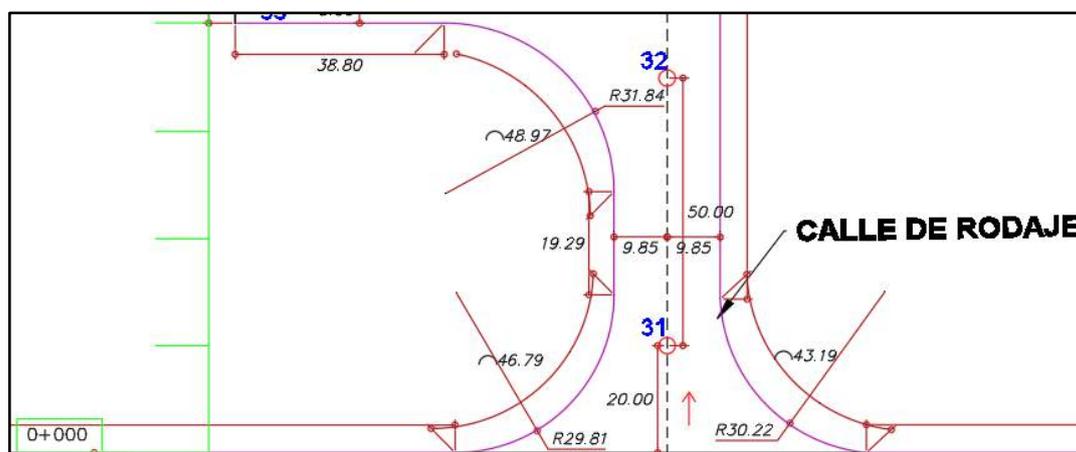
1.6.1. Distribución de los Puntos Analizados

En la calle de rodaje la distribución de los puntos fue realizada en el eje de la misma con una distancia de 50 m entre cada punto.

A continuación, se muestra la distribución de puntos analizados en la calle de rodaje para el ensayo de deflectometría con la Viga Benkelman.

Figura 25

Distribución de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en calle de rodaje



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26

Ubicación de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en calle de rodaje

Ensayo viga Benkelman de dos brazos – Calle de Rodaje		
Punto de toma de datos	Progresiva (Km)	Lado
P31	0+000	Eje central
P32	0+050	Eje central

Fuente: Elaboración propia.

1.6.2. Recolección de Datos de Campo

La recolección de datos se realizó en marzo del 2022 y se obtuvo las lecturas de campo (10-2 mm) del primer dial a las distancias de 0, 25, 50, 75, 100 y 500 cm, también se obtuvo la lectura de campo (10-2 mm) del segundo dial, el espesor de asfalto (cm), la temperatura del ambiente (°C) y la temperatura del asfalto (°C) para cada punto ensayado con la Viga Benkelman en la calle de rodaje. Los datos recopilados de campo se visualizan en la siguiente figura.

Figura 26

Ficha de registro de campo con los datos recopilados de la calle de rodaje

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI		FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL		ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL						
				PAGINA: 01/01						
TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA"										
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO - REGISTRO DE CAMPO										
Ensayo con Viga Benkelman de dos brazos - Pista de aterrizaje										
LUGAR	: Calle de rodaje	FECHA	: 01/04/2022							
TIPO DE PAVIMENTO	: Pavimento flexible	CARGA POR EJE	: 8200 kg							
LADO DE LA CALLE DE RODAJE	: En el medio	PRESIÓN DE INFLADO	: 80 psi							
Progresiva (Km)	Lecturas de campo (10 ⁻² mm)							Espesor de asfalto (cm)	Temperaturas	
	Primer dial						Segundo dial		Amb	Asfalto
	L ₀	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₅	L ₁₀₀	L ₅₀₀	L ₂	°C	°C	
0+020.00	0	4	5	6	6.5	8	3	27.4	30.7	
0+070.00	0	4	6	7	8	10	2	27.4	30.7	

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Distribución y Recolección de los Puntos Analizados con la Viga Benkelman – Plataforma

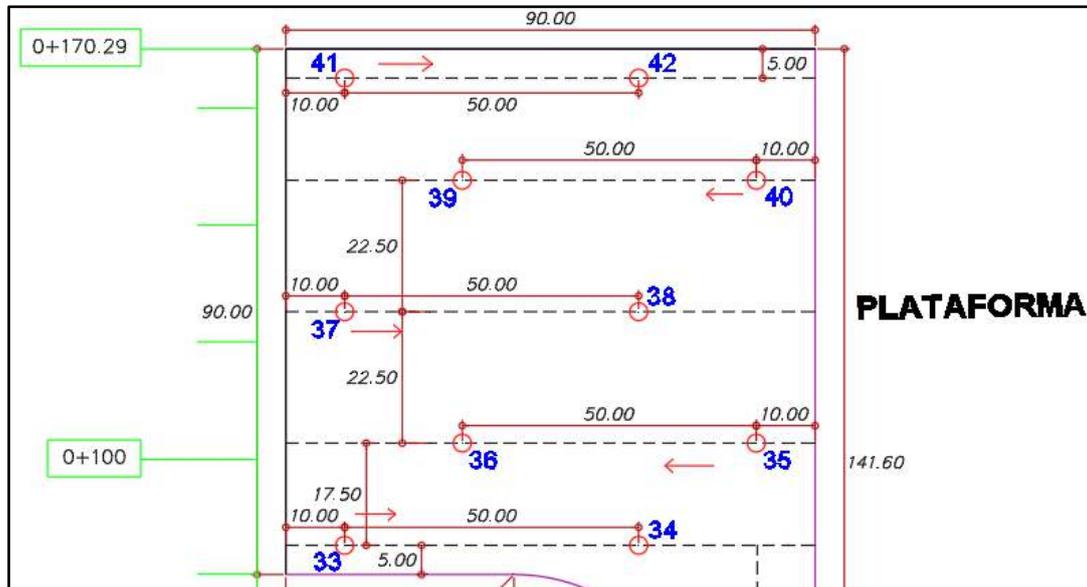
1.7.1. Distribución de los Puntos Analizados

En la Plataforma la distribución de los puntos fue realizada en 5 ejes, el primero ubicado a 5 m del borde inferior, el segundo eje a 17.50 m del primer eje, el tercero a 22.50 m del segundo eje, el cuarto localizado a 22.50 m del tercer eje y por último el quinto eje localizado a 17.50 m del cuarto eje.

A continuación, se muestra la distribución de puntos analizados en la plataforma para el ensayo de deflectometría con la Viga Benkelman.

Figura 27

Distribución de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en plataforma



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27

Ubicación de los puntos para el ensayo de viga Benkelman en plataforma

Ensayo viga Benkelman de dos brazos – Plataforma		
Punto de toma de datos	Progresiva (Km)	Lado
P33	0+005	Eje 1
P34	0+005	Eje 1
P35	0+022.5	Eje 2
P36	0+022.5	Eje 2
P37	0+045	Eje 3
P38	0+045	Eje 3
P39	0+067.5	Eje 4
P40	0+067.5	Eje 4
P41	0+090	Eje 5
P42	0+090	Eje 5

Fuente: Elaboración propia.

1.7.2. Recolección de Datos de Campo

La recolección de datos se realizó en marzo del 2022 y se obtuvo las lecturas de campo (10-2 mm) del primer dial a las distancias de 0, 25, 50, 75, 100 y 500 cm, también se obtuvo la lectura de campo (10-2 mm) del segundo dial, el espesor de asfalto (cm), la temperatura del ambiente (°C) y la temperatura del asfalto (°C) para cada punto ensayado con la Viga Benkelman en la plataforma. Los datos recopilados de campo se visualizan en la siguiente figura.

Figura 28

Ficha de registro de campo con los datos recopilados de la plataforma

Progresiva (Km)		Lecturas de campo (10 ⁻² mm)						Espesor de asfalto (cm)	Temperaturas	
		Primer dial							Segundo dial	Amb
		L ₀	L ₂₅	L ₅₀	L ₇₅	L ₁₀₀	L ₅₀₀	L ₂	°C	°C
0+005.00		0	3	5	7	8	10	4	24.9	31.1
0+005.00		0	13	17	20	22	24	6	24.9	31.1
0+022.50		0	4	5	7	8	9	4	26	31
0+022.50		0	4	4.5	5	5.5	8	3	26	31
0+045.00		0	10	12	15	17	20	10	26.5	30
0+045.00		0	17	21	22	27	32	11	26.5	30
0+067.50		0	8	10	12	17	22	13	25.4	29
0+067.50		0	8	9	11	15	19	11	25.4	29
0+085.00		0	5	6	7	9	11	4	24.2	30.4
0+085.00		0	20	25	30	36	42	16	24.2	30.4

Fuente: Elaboración propia.

1.8. Distribución y Descripción de las Calicatas – Pista de Aterrizaje

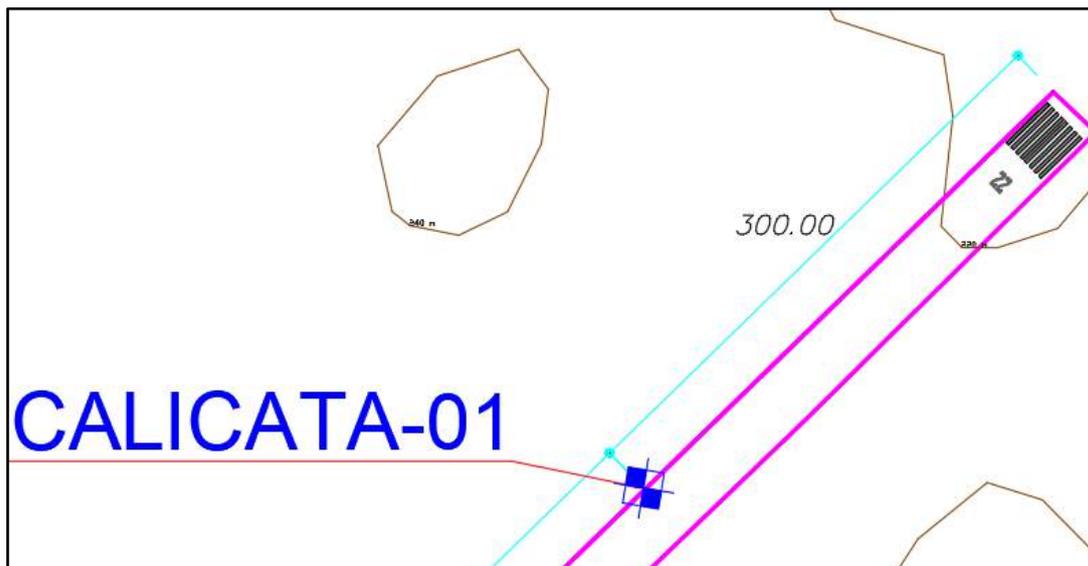
1.8.1. Distribución de las Calicatas

En la pista de aterrizaje se realizaron 4 calicatas; 3 ubicadas al borde del lado derecho de la pista de aterrizaje y una al lado izquierdo de la pista de aterrizaje, cada calicata se realizó a 0.50 m del borde de la pista de aterrizaje debido a que no se contaba con permiso para realizarlo en la pavimentación; la calicata 01 se realizó a 300 m desde donde inicia la pista de aterrizaje en el umbral 22 al lado derecho de la pista de aterrizaje, la calicata 02 se realizó a 500 m de la calicata 01 y al lado izquierdo de la pista de aterrizaje, la calicata 05 se realizó a 500 m de la calicata 01 y al lado derecho de la pista de aterrizaje, finalmente, la calicata 03 se realizó a 500 m de la calicata 02 y al lado izquierdo de la pista de aterrizaje.

A continuación, se muestra la distribución de las calicatas en la pista de aterrizaje.

Figura 29

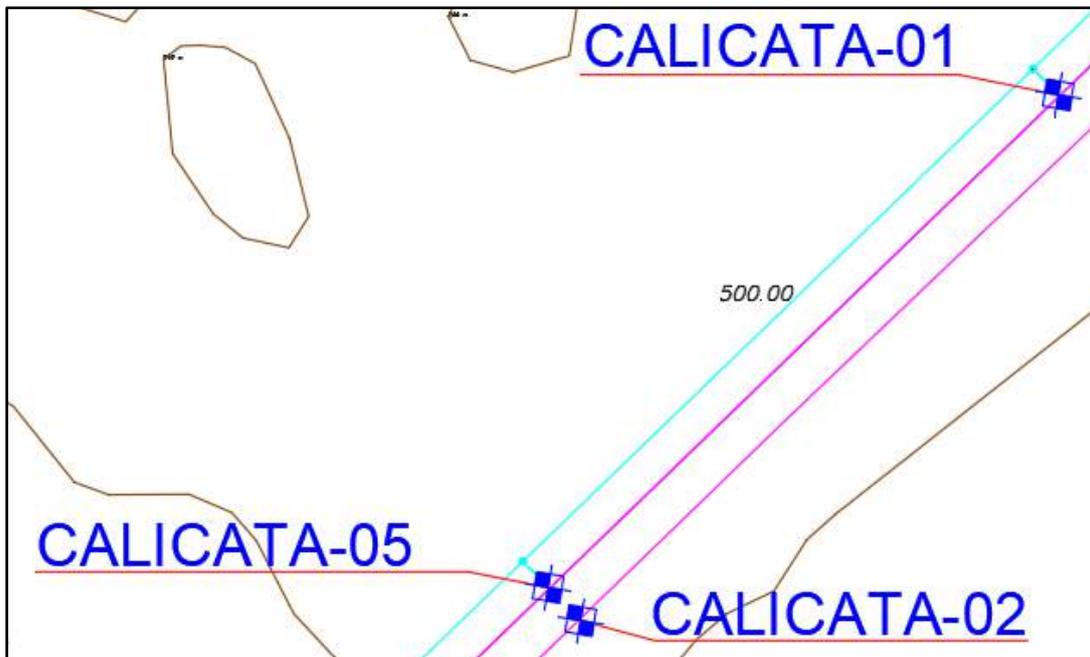
Ubicación de la calicata 01 en pista de aterrizaje



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30

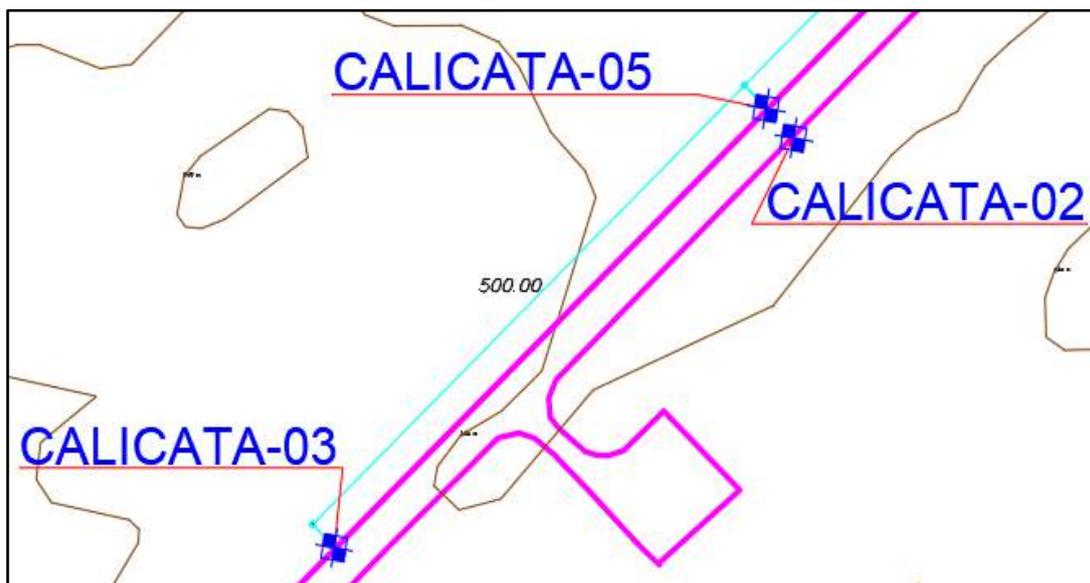
Ubicación de la calicata 02 y calicata 05 en pista de aterrizaje



Fuente: Elaboración propia.

Figura 31

Ubicación de la calicata 03 en pista de aterrizaje



Fuente: Elaboración propia.

1.8.2. Descripción de las Calicatas

Todas las calicatas que se realizaron en el suelo para la pista de aterrizaje tienen las siguientes medidas que son de 1.50 m de largo y 1.50 m de ancho; sin embargo, la profundidad de cada calicata es diferente dependiendo de las características del suelo o lo encontrado en cada calicata. A continuación, se detalla las profundidades realizadas en cada calicata al borde de la pista de aterrizaje.

Tabla 28

Profundidad de cada calicata - Pista de aterrizaje

PROFUNDIDAD DE CADA CALICATA – PISTA DE ATERRIZAJE		
Nº	PROFUNDIDAD (M)	OBSERVACIÓN
CALICATA – 01	2.00	Napa freática a los 1.70 m de profundidad.
CALICATA – 02	2.50	Napa freática a los 2.40 m de profundidad.
CALICATA – 05	2.00	Napa freática a los 2.00 m de profundidad.
CALICATA - 03	1.80	Napa freática a los 0.90 m de profundidad.

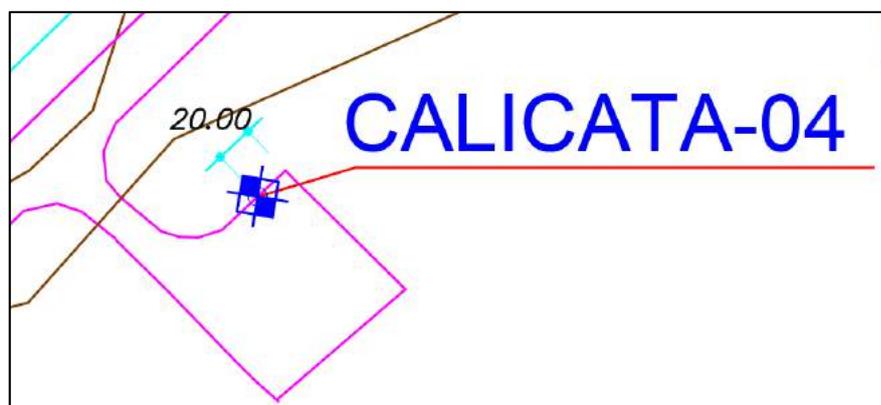
Fuente: Elaboración propia.

1.9. Distribución y Descripción de las Calicatas – Plataforma

1.9.1. Distribución de las Calicatas

En la plataforma se realizó una calicata al lado izquierdo de la misma a 0.50 m del borde del pavimento debido a que no se contaba con permiso para realizarlo en la pavimentación; la calicata 4 se realizó a 20.00 m desde la esquina superior derecha de la plataforma.

A continuación, se muestra la distribución de la calicata en la plataforma.

Figura 32*Ubicación de la calicata 04 en plataforma***Fuente:** Elaboración propia.**1.9.2. Descripción de las Calicatas**

La calicata que se hizo en el suelo para la plataforma tiene las siguientes medidas que son de 1.50 m de largo y 1.50 m de ancho, la profundidad de la calicata es dependió de las características del suelo o lo encontrado en la calicata. A continuación, se detalla la profundidad realizada en la calicata al borde de la plataforma de aeronaves.

Tabla 29*Profundidad de calicata - Plataforma*

PROFUNDIDAD DE CALICATA – PLATAFORMA		
N°	PROFUNDIDAD (M)	OBSERVACIÓN
CALICATA - 04	1.80	Napa freática a los 1.50 m de profundidad.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Evaluación superficial del pavimento mediante la norma ASTM D5340 PCI en aeropuertos

Después de la identificación de fallas, severidad y dimensiones por cada unidad de muestreo, se procede a aplicar la metodología de cálculo del PCI.

Se realizó el cálculo del PCI por cada unidad de muestreo y posterior el promedio por cada sección, los cuales son: Pista de Aterrizaje (PA), Calle de rodaje (CR) y Plataforma (PL).

4.1.1. Evaluación superficial – Pista de Aterrizaje

Se obtuvieron los siguientes resultados PCI y el estado de cada unidad de muestreo en la pista de aterrizaje.

Tabla 30

Resultados PCI – Pista de aterrizaje UM 01-20

RESUMEN UM 01-101								
UM	ÁREA	PROGRESIVA		MAX. VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	SECCIÓN	CARRIL/FRANJA	PCI	ESTADO
		INICIAL	FINAL					
01	450 m2	0+000	0+030	88.50	Pista	Izquierdo	11.50	Muy Malo
02	450 m2	0+000	0+030	75.90	Pista	Derecho	24.10	Muy Malo
03	450 m2	0+030	0+060	72.00	Pista	Izquierdo	28.00	Malo
04	450 m2	0+030	0+060	58.00	Pista	Derecho	42.00	Regular
05	450 m2	0+060	0+090	75.00	Pista	Izquierdo	25.00	Muy Malo
06	450 m2	0+060	0+090	59.00	Pista	Derecho	41.00	Regular
07	450 m2	0+090	0+120	55.00	Pista	Izquierdo	45.00	Regular
08	450 m2	0+090	0+120	63.00	Pista	Derecho	37.00	Malo
09	450 m2	0+120	0+150	58.00	Pista	Izquierdo	42.00	Regular
10	450 m2	0+120	0+150	70.50	Pista	Derecho	29.50	Malo
11	450 m2	0+150	0+180	55.00	Pista	Izquierdo	45.00	Regular
12	450 m2	0+150	0+180	55.00	Pista	Derecho	45.00	Regular
13	450 m2	0+180	0+210	44.00	Pista	Izquierdo	56.00	Bueno
14	450 m2	0+180	0+210	62.00	Pista	Derecho	38.00	Malo
15	450 m2	0+210	0+240	67.00	Pista	Izquierdo	33.00	Malo
16	450 m2	0+210	0+240	49.00	Pista	Derecho	51.00	Regular
17	450 m2	0+240	0+270	67.00	Pista	Izquierdo	33.00	Malo
18	450 m2	0+240	0+270	81.00	Pista	Derecho	19.00	Muy Malo
19	450 m2	0+270	0+300	67.00	Pista	Izquierdo	33.00	Malo
20	450 m2	0+270	0+300	92.00	Pista	Derecho	8.00	Colapsado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31*Resultados PCI – Pista de aterrizaje UM 21-40*

RESUMEN UM 01-101								
UM	ÁREA	PROGRESIVA		MAX. VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	SECCIÓN	CARRIL/FRANJA	PCI	ESTADO
		INICIAL	FINAL					
21	450 m2	0+300	0+330	60.00	Pista	Izquierdo	40.00	Malo
22	450 m2	0+300	0+330	90.00	Pista	Derecho	10.00	Colapsado
23	450 m2	0+330	0+360	72.00	Pista	Izquierdo	28.00	Malo
24	450 m2	0+330	0+360	82.50	Pista	Derecho	17.50	Muy Malo
25	450 m2	0+360	0+390	64.00	Pista	Izquierdo	36.00	Malo
26	450 m2	0+360	0+390	88.00	Pista	Derecho	12.00	Muy Malo
27	450 m2	0+390	0+420	98.00	Pista	Izquierdo	2.00	Colapsado
28	450 m2	0+390	0+420	76.00	Pista	Derecho	24.00	Muy Malo
29	450 m2	0+420	0+450	97.00	Pista	Izquierdo	3.00	Colapsado
30	450 m2	0+420	0+450	88.00	Pista	Derecho	12.00	Muy Malo
31	450 m2	0+450	0+480	90.00	Pista	Izquierdo	10.00	Colapsado
32	450 m2	0+450	0+480	95.30	Pista	Derecho	4.70	Colapsado
33	450 m2	0+480	0+510	96.60	Pista	Izquierdo	3.40	Colapsado
34	450 m2	0+480	0+510	96.00	Pista	Derecho	4.00	Colapsado
35	450 m2	0+510	0+540	92.40	Pista	Izquierdo	7.60	Colapsado
36	450 m2	0+510	0+540	94.40	Pista	Derecho	5.60	Colapsado
37	450 m2	0+540	0+570	94.26	Pista	Izquierdo	5.74	Colapsado
38	450 m2	0+540	0+570	78.90	Pista	Derecho	21.10	Muy Malo
39	450 m2	0+570	0+600	94.26	Pista	Izquierdo	5.74	Colapsado
40	450 m2	0+570	0+600	78.90	Pista	Derecho	21.10	Muy Malo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32

Resultados PCI – Pista de aterrizaje UM 21-40

RESUMEN UM 01-101								
UM	ÁREA	PROGRESIVA		MAX. VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	SECCIÓN	CARRIL/FRANJA	PCI	ESTADO
		INICIAL	FINAL					
41	450 m2	0+600	0+630	94.26	Pista	Izquierdo	5.74	Colapsado
42	450 m2	0+600	0+630	92.40	Pista	Derecho	7.60	Colapsado
43	450 m2	0+630	0+660	79.06	Pista	Izquierdo	20.94	Muy Malo
44	450 m2	0+630	0+660	82.80	Pista	Derecho	17.20	Muy Malo
45	450 m2	0+660	0+690	79.06	Pista	Izquierdo	20.94	Muy Malo
46	450 m2	0+660	0+690	82.30	Pista	Derecho	17.70	Muy Malo
47	450 m2	0+690	0+720	79.06	Pista	Izquierdo	20.94	Muy Malo
48	450 m2	0+690	0+720	82.09	Pista	Derecho	17.91	Muy Malo
49	450 m2	0+720	0+750	79.06	Pista	Izquierdo	20.94	Muy Malo
50	450 m2	0+720	0+750	83.48	Pista	Derecho	16.52	Muy Malo
51	450 m2	0+750	0+780	82.89	Pista	Izquierdo	17.11	Muy Malo
52	450 m2	0+750	0+780	83.00	Pista	Derecho	17.00	Muy Malo
53	450 m2	0+780	0+810	78.63	Pista	Izquierdo	21.37	Muy Malo
54	450 m2	0+780	0+810	83.05	Pista	Derecho	16.95	Muy Malo
55	450 m2	0+810	0+840	78.63	Pista	Izquierdo	21.37	Muy Malo
56	450 m2	0+810	0+840	83.05	Pista	Derecho	16.95	Muy Malo
57	450 m2	0+840	0+870	78.63	Pista	Izquierdo	21.37	Muy Malo
58	450 m2	0+840	0+870	79.12	Pista	Derecho	20.88	Muy Malo
59	450 m2	0+870	0+900	78.63	Pista	Izquierdo	21.37	Muy Malo
60	450 m2	0+870	0+900	76.00	Pista	Derecho	24.00	Muy Malo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33

Resultados PCI – Pista de aterrizaje UM 61-80

RESUMEN UM 01-101								
UM	ÁREA	PROGRESIVA		MAX. VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	SECCIÓN	CARRIL/FRANJA	PCI	ESTADO
		INICIAL	FINAL					
61	450 m2	0+900	0+930	74.84	Pista	Izquierdo	25.16	Muy Malo
62	450 m2	0+900	0+930	79.30	Pista	Derecho	20.70	Muy Malo
63	450 m2	0+930	0+960	74.00	Pista	Izquierdo	26.00	Malo
64	450 m2	0+930	0+960	79.38	Pista	Derecho	20.62	Muy Malo
65	450 m2	0+960	0+990	78.41	Pista	Izquierdo	21.59	Muy Malo
66	450 m2	0+960	0+990	95.03	Pista	Derecho	4.97	Colapsado
67	450 m2	0+990	1+020	80.00	Pista	Izquierdo	20.00	Muy Malo
68	450 m2	0+990	1+020	96.89	Pista	Derecho	3.11	Colapsado
69	450 m2	1+020	1+050	76.51	Pista	Izquierdo	23.49	Muy Malo
70	450 m2	1+020	1+050	82.00	Pista	Derecho	18.00	Muy Malo
71	450 m2	1+050	1+080	62.55	Pista	Izquierdo	37.45	Malo
72	450 m2	1+050	1+080	82.12	Pista	Derecho	17.88	Muy Malo
73	450 m2	1+080	1+110	62.81	Pista	Izquierdo	37.19	Malo
74	450 m2	1+080	1+110	98.12	Pista	Derecho	1.88	Colapsado
75	450 m2	1+110	1+140	87.11	Pista	Izquierdo	12.89	Muy Malo
76	450 m2	1+110	1+140	96.39	Pista	Derecho	3.61	Colapsado
77	450 m2	1+140	1+170	94.90	Pista	Izquierdo	5.10	Colapsado
78	450 m2	1+140	1+170	98.29	Pista	Derecho	1.71	Colapsado
79	450 m2	1+170	1+200	95.25	Pista	Izquierdo	4.75	Colapsado
80	450 m2	1+170	1+200	96.64	Pista	Derecho	3.36	Colapsado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34

Resultados PCI – Pista de aterrizaje UM 81-101

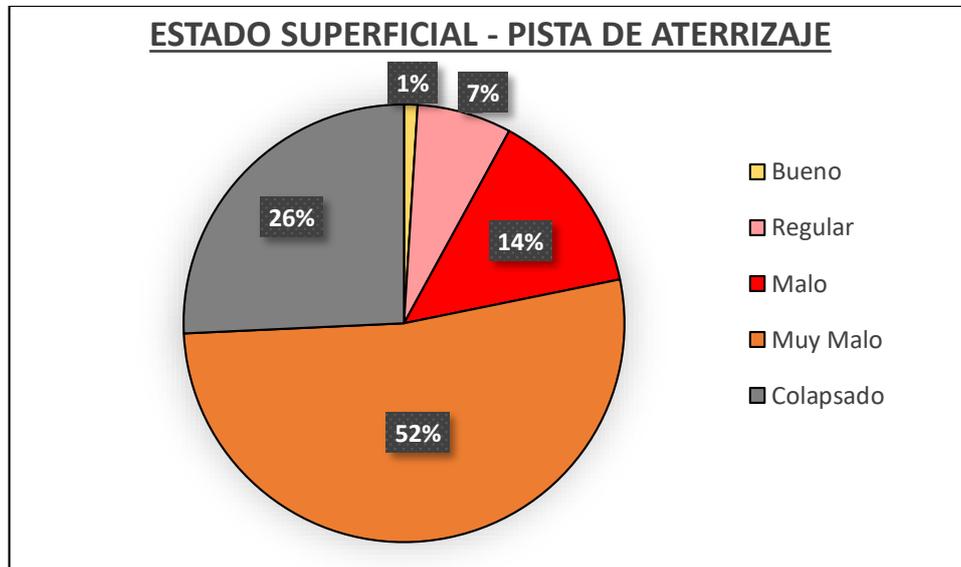
RESUMEN UM 01-101								
UM	ÁREA	PROGRESIVA		MAX. VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	SECCIÓN	CARRIL/FRANJA	PCI	ESTADO
		INICIAL	FINAL					
81	450 m2	1+200	1+230	97.50	PISTA	Izquierdo	2.50	Colapsado
82	450 m2	1+200	1+230	83.54	PISTA	Derecho	16.46	Muy malo
83	450 m2	1+230	1+260	75.58	PISTA	Izquierdo	24.42	Muy malo
84	450 m2	1+230	1+260	88.41	PISTA	Derecho	11.59	Muy malo
85	450 m2	1+260	1+290	84.49	PISTA	Izquierdo	15.51	Muy malo
86	450 m2	1+260	1+290	83.54	PISTA	Derecho	16.46	Muy malo
87	450 m2	1+290	1+320	79.44	PISTA	Izquierdo	20.56	Muy malo
88	450 m2	1+290	1+320	83.54	PISTA	Derecho	16.46	Muy malo
89	450 m2	1+320	1+350	84.09	PISTA	Izquierdo	15.91	Muy malo
90	450 m2	1+320	1+350	97.70	PISTA	Derecho	2.30	Colapsado
91	450 m2	1+350	1+380	83.83	PISTA	Izquierdo	16.17	Muy malo
92	450 m2	1+350	1+380	94.72	PISTA	Derecho	5.28	Colapsado
93	450 m2	1+380	1+410	84.29	PISTA	Izquierdo	15.71	Muy malo
94	450 m2	1+380	1+410	83.34	PISTA	Derecho	16.66	Muy malo
95	450 m2	1+410	1+440	84.48	PISTA	Izquierdo	15.52	Muy malo
96	450 m2	1+410	1+440	78.81	PISTA	Derecho	21.19	Muy malo
97	450 m2	1+440	1+470	81.40	PISTA	Izquierdo	18.60	Muy malo
98	450 m2	1+440	1+470	78.81	PISTA	Derecho	21.19	Muy malo
99	491 m2	1+470	1+502.70	95.81	PISTA	Izquierdo	4.19	Colapsado
100	491 m2	1+470	1+502.70	83.71	PISTA	Derecho	16.29	Muy malo
101	545 m2	1+457.30	1+502.70	71.04	PISTA-VIRAJE	Izquierdo	28.96	Malo

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de cada unidad de muestreo se obtuvo porcentualmente el estado superficial de la pista de aterrizaje, donde un 26% se encuentra en un estado Colapsado, 52% Muy Malo, 14% Malo, 7% Regular y 1% Bueno.

Figura 33

Estado superficial porcentual – Pista de aterrizaje

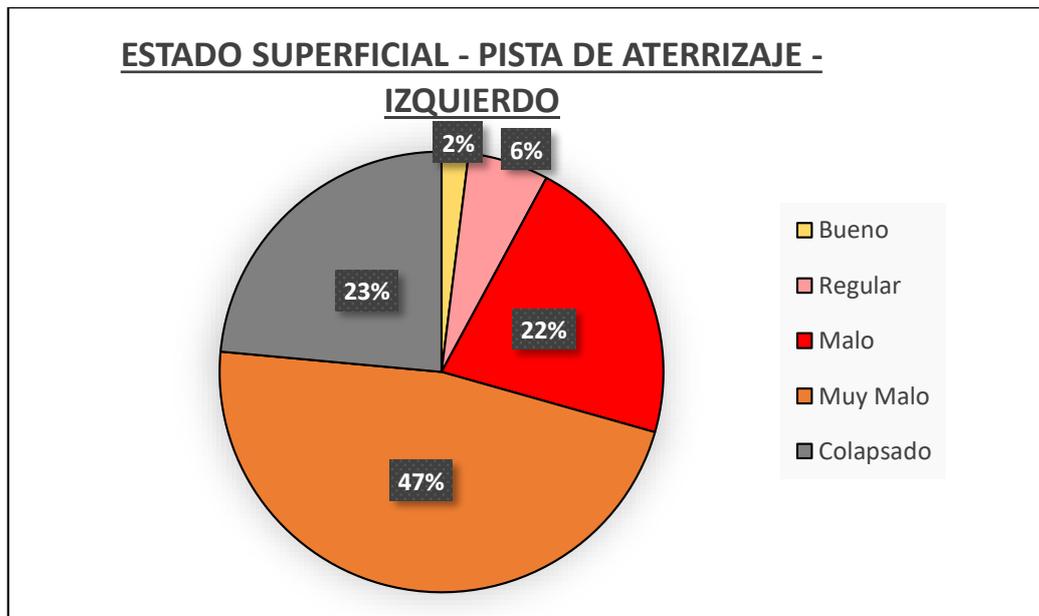


Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.1. Pista de Aterrizaje – Lado Izquierdo. Analizando el lado izquierdo de la pista de aterrizaje se obtuvieron los siguientes resultados, 23% se encuentra en un estado Colapsado, 47% Muy Malo, 22% Malo, 6% Regular y 2% Bueno.

Figura 34

Estado superficial – Pista de aterrizaje - Lado izquierdo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35

PCI – Pista de aterrizaje – Lado izquierdo



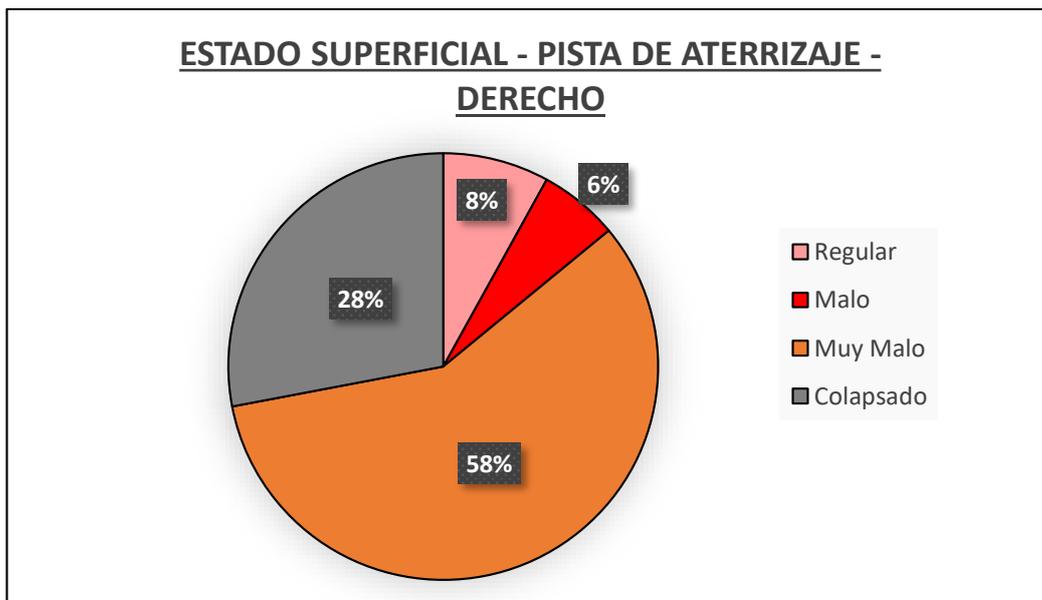
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 35 el mínimo valor del PCI es 2.00, estado Colapsado y el máximo valor del PCI es 56.00, estado Bueno, ambos obtenidos en el lado izquierdo de la pista de aterrizaje.

4.1.1.2. Pista de Aterrizaje – Lado Derecho. Analizando el lado derecho de la pista de aterrizaje se obtuvieron los siguientes resultados, 28% se encuentra en un estado Colapsado, 58% Muy Malo, 6% Malo y 8% Regular.

Figura 36

Estado superficial – Pista de aterrizaje - Lado derecho



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37

PCI – Pista de aterrizaje – Lado derecho



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 37 el mínimo valor del PCI es 1.71, estado Colapsado y el máximo valor del PCI es 51.00, estado Regular, ambos obtenidos en el lado derecho de la pista de aterrizaje.

4.1.2. Evaluación Superficial – Calle de Rodaje

Se obtuvieron los siguientes resultados PCI y el estado de cada unidad de muestreo en la calle de rodaje.

Tabla 35*Resultados PCI – Calle de rodaje UM 102-105*

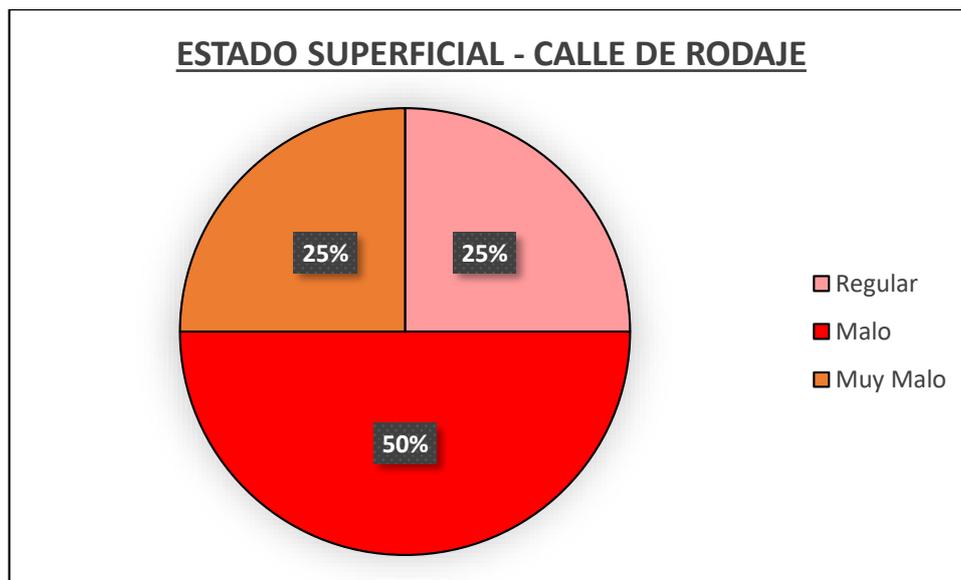
RESUMEN UM 102-105								
UM	ÁREA	PROGRESIVA		MAX. VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	SECCIÓN	CARRIL/FRANJA	PCI	ESTADO
		INICIAL	FINAL					
102	584 m2	0+000	0+040.33	57.69	Calle de rodaje	Izquierdo	42.31	Regular
103	588 m2	0+000	0+040.33	66.96	Calle de rodaje	Derecha	33.04	Malo
104	607 m2	0+040.33	0+080.289	71.04	Calle de rodaje	Izquierdo	28.96	Malo
105	394 m2	0+040.33	0+080.289	76.00	Calle de rodaje	Derecha	24.00	Muy malo

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de cada unidad de muestreo se obtuvo porcentualmente el estado superficial de la calle de rodaje, donde un 25% se encuentra en un estado Muy Malo, 50% Malo y 25% Regular.

Figura 38

Estado superficial porcentual – Calle de rodaje



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Evaluación Superficial – Plataforma

Se obtuvieron los siguientes resultados PCI y el estado de cada unidad de muestreo en la plataforma.

Tabla 36

Resultados PCI – Calle de rodaje UM 106-121

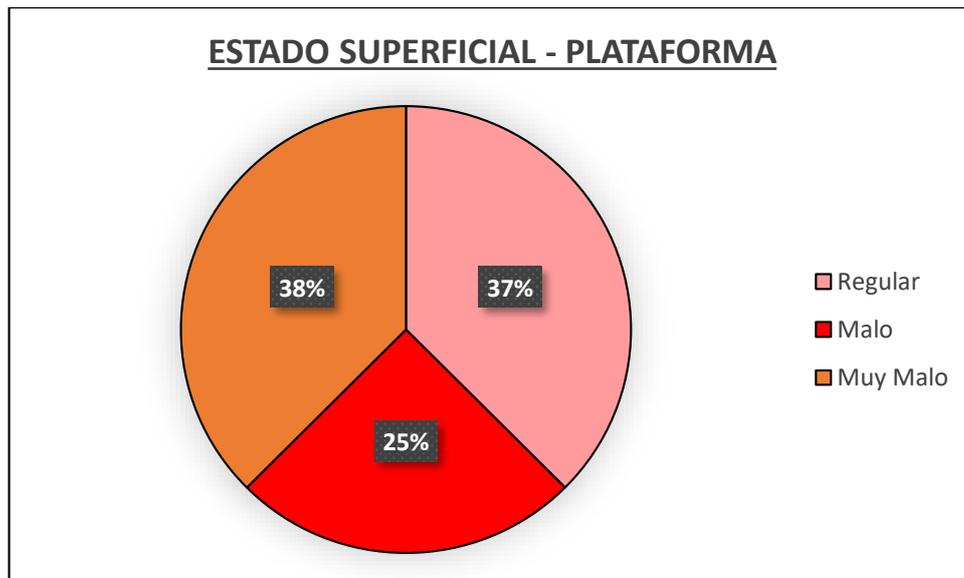
RESUMEN UM 106-121								
UM	ÁREA	PROGRESIVA		MAX. VALOR DEDUCIDO CORREGIDO	SECCIÓN	CARRIL/FRANJA	PCI	ESTADO
		INICIAL	FINAL					
106	563 m2	0+000.00	0+022.50	57.69	Plataforma	Plataforma	42.31	Regular
107	563 m2	0+022.50	0+045.00	57.69	Plataforma	Plataforma	42.31	Regular
108	563 m2	0+045.00	0+067.50	57.69	Plataforma	Plataforma	42.31	Regular
109	563 m2	0+067.50	0+090.00	62.37	Plataforma	Plataforma	37.63	Malo
110	563 m2	0+000.00	0+022.50	57.69	Plataforma	Plataforma	42.31	Regular
111	562.5 m2	0+022.50	0+045.00	57.69	Plataforma	Plataforma	42.31	Regular
112	562.5 m2	0+045.00	0+067.50	78.42	Plataforma	Plataforma	21.58	Muy malo
113	562.5 m2	0+067.50	0+090.00	74.59	Plataforma	Plataforma	25.41	Muy malo
114	450.0 m2	0+000.00	0+022.50	71.04	Plataforma	Plataforma	28.96	Malo
115	450.0 m2	0+022.50	0+045.00	75.64	Plataforma	Plataforma	24.36	Muy malo
116	450.0 m2	0+045.00	0+067.50	80.42	Plataforma	Plataforma	19.58	Muy malo
117	450.0 m2	0+067.50	0+090.00	85.29	Plataforma	Plataforma	14.71	Muy malo
118	450.0 m2	0+000.00	0+022.50	62.34	Plataforma	Plataforma	37.66	Malo
119	450.0 m2	0+022.50	0+045.00	76.36	Plataforma	Plataforma	23.64	Muy malo
120	450.0 m2	0+045.00	0+067.50	62.35	Plataforma	Plataforma	37.65	Malo
121	450.0 m2	0+067.50	0+090.00	57.69	Plataforma	Plataforma	42.31	Regular

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de cada unidad de muestreo se obtuvo porcentualmente el estado superficial de la plataforma, donde un 38% se encuentra en un estado Muy Malo, 25% Malo y 37% Regular.

Figura 39

Estado superficial porcentual – Plataforma



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Evaluación Estructural del Pavimento Mediante Viga Benkelman y la Determinación del ACN/PCN

Después a cada una de las deflexiones obtenidas en campo se realiza las correcciones de las deflexiones por estacionalidad, temperatura y espesor del pavimento.

En el anexo N° 02 se visualiza como ejemplo la memoria de cálculo de un punto ensayado, además también se puede observar el resultado de deflexiones de todos los puntos analizados, se observa el cálculo de la deflectometría y el cálculo de los parámetros del modelo de Hogg.

A continuación, se muestra las deflexiones corregidas para las distancias de 0, 25, 50, 75, 100 cm, radio de curvatura, y los parámetros del modelo de Hogg para el lado derecho de la pista de aterrizaje, lado izquierdo de la pista de aterrizaje, calle de rodaje y plataforma. Los parámetros del modelo de Hogg son esenciales para la evaluación estructural, principalmente el C.B.R. (California Bearing Ratio) y el espesor equivalente (HEQ) ya que esos valores numéricos influyen directamente en la determinación del ACN/PCN.

4.2.1. Deflexiones del Pavimento Mediante el Ensayo con Viga Benkelman

4.2.1.1. Deflexiones - Lado Derecho de la Pista de Aterrizaje. En la presente tabla 37, se muestra el promedio, el valor mínimo, el valor máximo, la desviación estándar, la varianza, el coeficiente de variación y el radio de curvatura de las deflexiones corregidas del lado derecho de la pista de aterrizaje. Todas las deflexiones obtenidas se encuentran en el anexo N° 02.

Tabla 37

Resumen deflectometría pista de aterrizaje – Lado derecho

		Deflexiones Corregidas por T°C, Estacionalidad & Espesor del Pavimento (0.01 mm)					Radio de curvatura (m)
		D0	D25	D50	D75	D100	
PISTA DE ATERRIZAJE - LADO DERECHO	PROMEDIO	49.82	26.52	18.09	9.17	6.07	151.18
	MÍNIMO	29.73	14.86	5.58	3.70	1.85	83.71
	MÁXIMO	81.86	44.65	26.05	18.67	14.93	210.35
	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	17.19	9.63	5.90	4.42	3.88	49.45
	VARIANZA	295.45	92.79	34.86	19.53	15.07	2445.33
	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.35	0.36	0.33	0.48	0.64	0.33

Fuente: Elaboración propia.

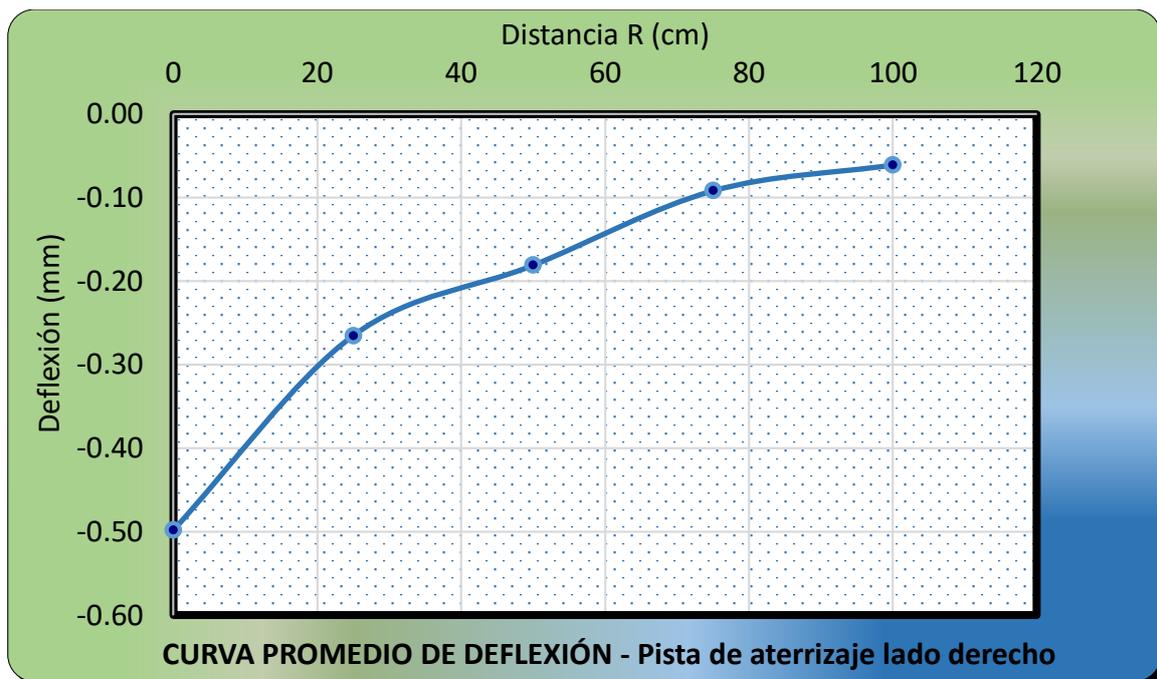
En la tabla anterior se muestra el promedio máximo de la deflexión corregida (D0) que tiene el valor de 49.82 (0.01 mm). Además, el valor del radio de curvatura promedio que es 151.18 m, también el coeficiente de variación de la deflexión corregida máxima y el radio de curvatura promedio se encuentran en el rango 0.25 y 0.40 indicando que tiene una variabilidad moderada.

Adicional a lo anterior, también se presenta la figura 40 que es la curva de deflexión promedio del lado derecho de la pista de aterrizaje, el cual se denomina cuenco de deflexiones.

En el gráfico se visualiza la máxima deflexión promedio que tiene como valor 49.82 (0.01 mm) y los demás valores a distancias de 25, 50, 75 y 100 cm, además también se observa que el cuenco de deflexiones no presenta una longitud horizontal amplia por lo cual la sub-rasante no tiene una uniformidad al distribuir las cargas, además se puede observar la gran profundidad de la curva, por lo cual se infiere que la sub-rasante no es la óptima.

Figura 40

Curva promedio de la pista de aterrizaje – Lado derecho



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2. Modelo de Hogg - Lado Derecho de la Pista de Aterrizaje. Basado en las deflexiones corregidas obtenidas se calculan los valores numéricos que engloban el modelo matemático de Hogg. En la tabla a continuación se visualiza el promedio, la desviación estándar, el valor máximo y mínimo de los valores numéricos que representan el modelo de Hogg. Todos los parámetros del modelo de Hogg de cada punto ensayado se encuentran en el anexo N° 02.

Tabla 38

Valores numéricos modelo de Hogg de la pista de aterrizaje – Lado derecho

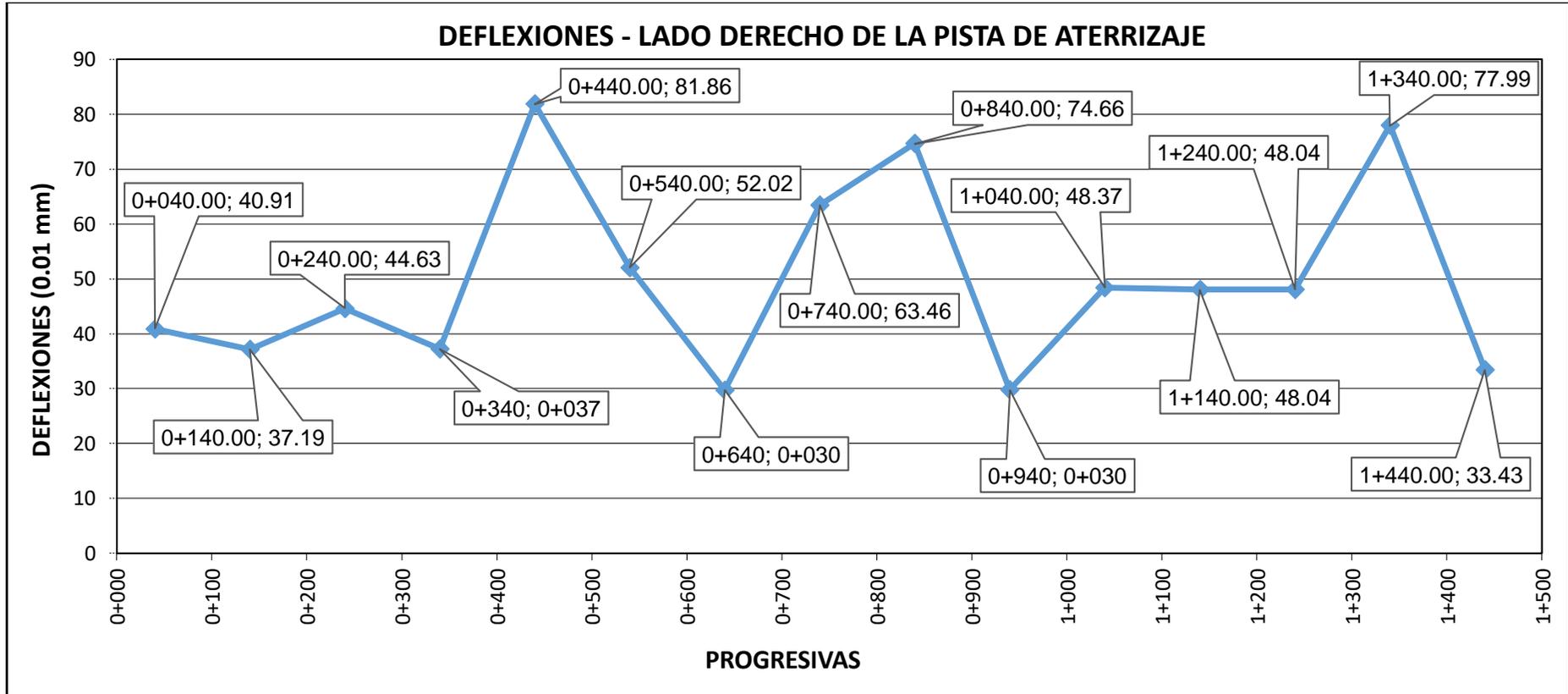
		MODELO DE HOGG						
		R5 (cm)	L0 (cm)	Eo (kg/cm ²)	E* (kg/cm ²)	Mr (kpsi)	C.B.R. (%)	HEQ (cm)
PISTA DE ATERRIZAJE - LADO DERECHO	PROMEDIO	30.10	13.07	1201.52	101773.31	14.60	11.44	25.53
	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	8.96	6.07	446.66	102510.42	3.39	4.25	4.32
	MÁXIMO	50.00	26.16	2024.60	102924.72	20.53	19.28	36.00
	MÍNIMO	22.97	7.56	707.09	100055.94	10.10	6.73	22.68

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se tiene los valores numéricos que tienen mayor importancia del modelo de Hogg, que son el módulo de elasticidad del pavimento (E*) con un dato promedio de 101773.31 kg/cm², además el módulo de elasticidad de la sub-rasante (Eo) que tiene como dato promedio 1201.52 kg/cm². También de la tabla anterior se tiene el C.B.R. (California Bearing Ratio) del suelo de fundación con un dato numérico promedio de 11.44 % y el espesor equivalente promedio (HEQ) el cual es 25.53 cm. Los dos últimos valores numéricos son los que tienen mayor importancia para la evaluación estructural. A continuación, se presentan las deflexiones obtenidas de cada uno de los puntos analizados del lado derecho de la pista de aterrizaje.

Figura 41

Deflexiones del lado derecho de la pista de aterrizaje



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.3. Deflexiones - Lado Izquierdo de la Pista de Aterrizaje. En la presente tabla 39, se muestra el promedio, el valor mínimo, el valor máximo, la desviación estándar, la varianza, el coeficiente de variación de las y el radio de curvatura de las deflexiones corregidas del lado izquierdo de la pista de aterrizaje. Todas las deflexiones obtenidas se encuentran en el anexo N° 02.

Tabla 39

Resumen deflectometría pista de aterrizaje – Lado izquierdo

		Deflexiones Corregidas por T°C, Estacionalidad & Espesor del Pavimento (0.01 mm)					Radio de curvatura (m)
		D0	D25	D50	D75	D100	
PISTA DE ATERRIZAJE - LADO IZQUIERDO	PROMEDIO	44.95	23.47	17.48	11.74	7.11	185.58
	MÍNIMO	22.44	11.22	7.53	3.69	1.85	41.41
	MÁXIMO	139.62	64.15	56.60	45.28	22.64	278.52
	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	31.22	15.57	12.86	10.19	5.29	65.35
	VARIANZA	974.76	242.46	165.50	103.75	28.03	4271.10
	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.69	0.66	0.74	0.87	0.74	0.35

Fuente: Elaboración propia.

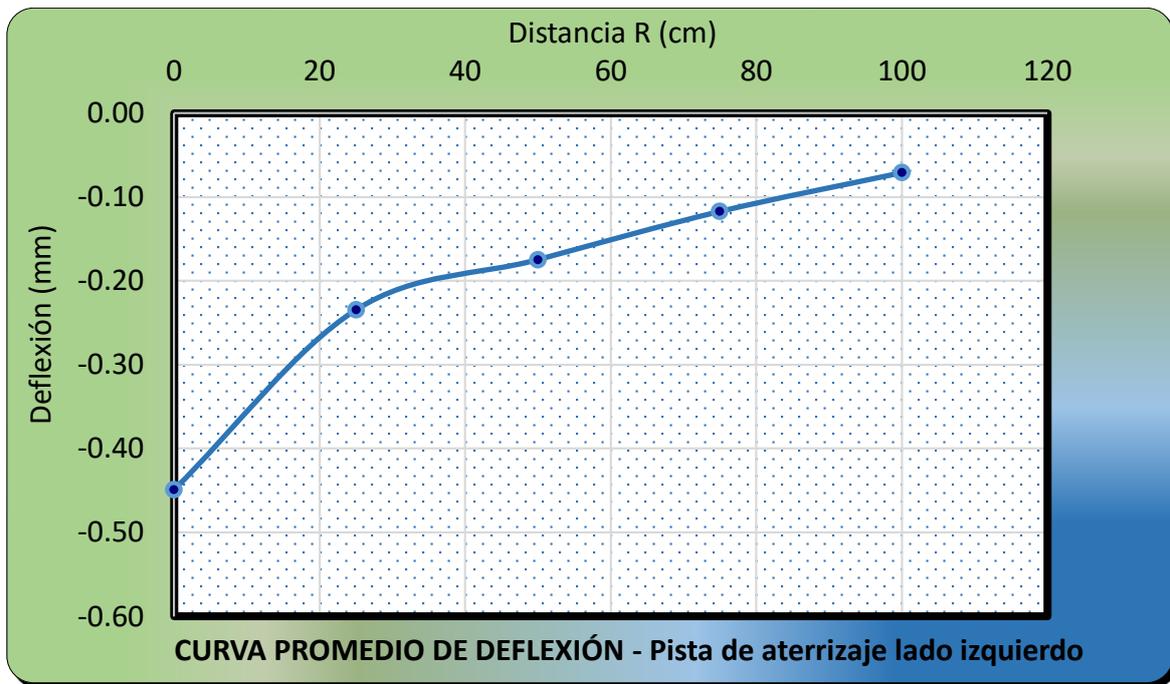
En la tabla anterior se muestra el promedio máximo de la deflexión corregida (D0) que tiene el valor de 44.95 (0.01 mm). Además, el valor del radio de curvatura promedio que es 185.58 m, también el coeficiente de variación de la deflexión corregida máxima es mayor que 0.5 indicando que tiene una alta variabilidad; y el radio de curvatura promedio se encuentra en el rango 0.25 y 0.40 indicando que tiene una variabilidad moderada.

Adicional a lo anterior, también se presenta la figura 42, que es la curva de deflexión promedio del lado derecho de la pista de aterrizaje, el cual se denomina cuenco de deflexiones. En el gráfico se visualiza la máxima deflexión promedio que tiene como valor 44.95 (0.01 mm)

y los demás valores a distancias de 25, 50, 75 y 100 cm, además también se observa que el cuenco de deflexiones presenta una longitud horizontal amplia por lo cual la sub-rasante tiene uniformidad al distribuir las cargas, además se puede observar que la profundidad de la curva es aceptable por lo cual se infiere que la sub-rasante está trabajando correctamente.

Figura 42

Curva promedio de la pista de aterrizaje – Lado izquierdo



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.4. Modelo de Hogg - Lado Izquierdo de la Pista de Aterrizaje. Basado en las deflexiones corregidas obtenidas se calculan los valores numéricos que engloban el modelo matemático de Hogg. En la tabla a continuación se visualiza el promedio, la desviación estándar, el valor máximo y mínimo de los valores numéricos que representan el modelo de Hogg. Todos los parámetros del modelo de Hogg de cada punto ensayado se encuentran en el anexo N° 02.

Tabla 40

Valores numéricos modelo de Hogg de la pista de aterrizaje – Lado izquierdo

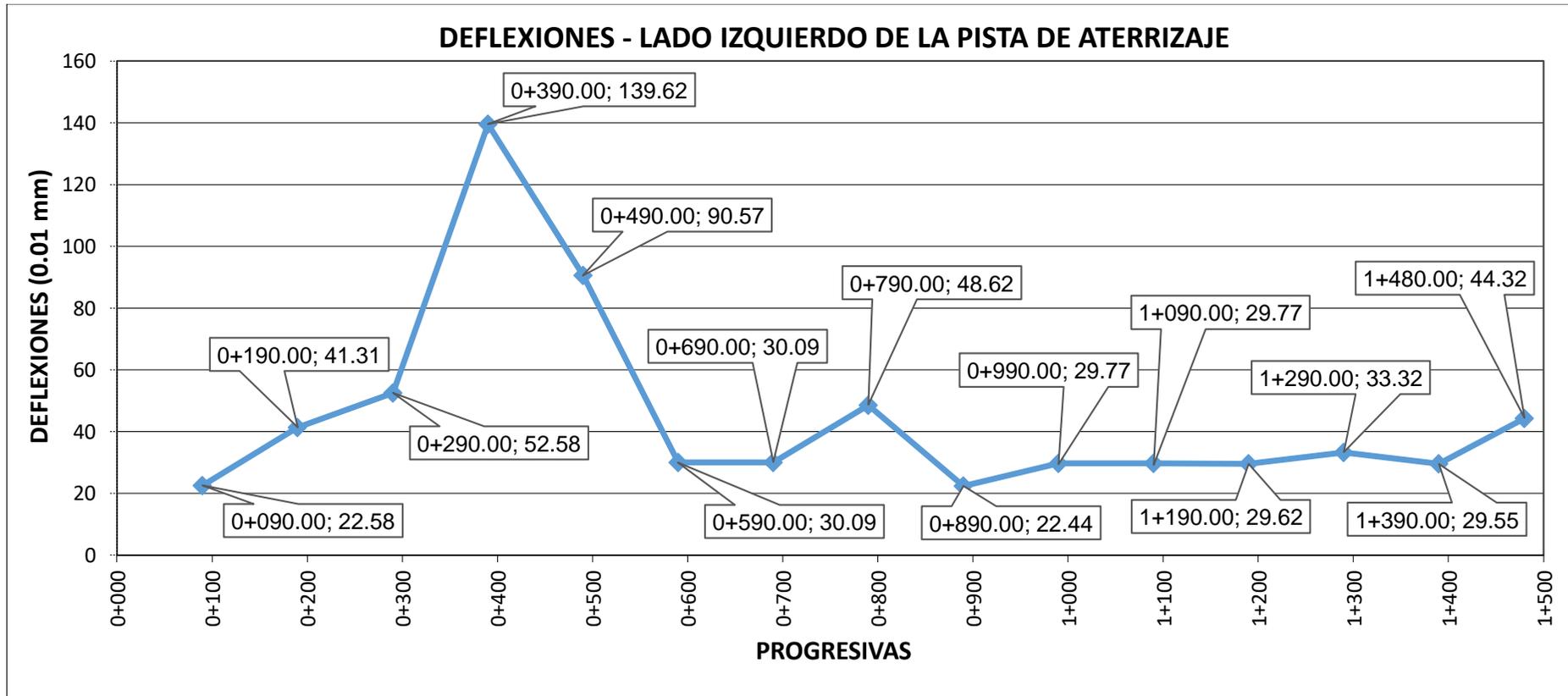
		MODELO DE HOGG						
		R5 (cm)	L0 (cm)	Eo (kg/cm²)	E* (kg/cm²)	Mr (kpsi)	C.B.R. (%)	HEQ (cm)
PISTA DE ATERRIZAJE - LADO IZQUIERDO	PROMEDIO	27.55	11.43	1654.18	111634.29	17.42	15.75	24.12
	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	7.63	5.02	702.05	45686.44	5.66	6.69	4.17
	MÁXIMO	54.41	28.86	2681.91	211098.11	24.65	25.54	39.00
	MÍNIMO	22.87	7.32	379.94	29908.10	5.43	3.62	22.69

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se tiene los valores numéricos que tienen mayor importancia del modelo de Hogg, que son el módulo de elasticidad del pavimento (E^*) con un dato promedio de 111634.29 kg/cm², además el módulo de elasticidad de la sub-rasante (E_o) que tiene como dato promedio 1654.18 kg/cm². También de la tabla anterior se tiene el C.B.R. (California Bearing Ratio) del suelo de fundación con un dato numérico promedio de 15.75 % y el espesor equivalente promedio (HEQ) el cual es 24.12 cm. Los dos últimos valores numéricos son los que tienen mayor importancia para la evaluación estructural. A continuación, se presentan las deflexiones obtenidas de cada uno de los puntos analizados del lado izquierdo de la pista de aterrizaje.

Figura 43

Deflexiones del lado izquierdo de la pista de aterrizaje



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.5. Deflexiones – Calle de Rodaje. En la presente tabla 41, se muestra el promedio, el valor mínimo, el valor máximo, la desviación estándar, la varianza, el coeficiente de variación de las y el radio de curvatura de las deflexiones corregidas de la calle de rodaje. Todas las deflexiones obtenidas se encuentran en el anexo N° 02.

Tabla 41

Resumen deflectometría calle de rodaje

	Deflexiones Corregidas por T°C, Estacionalidad & Espesor del Pavimento (0.01 mm)					Radio de curvatura (m)
	D0	D25	D50	D75	D100	
PROMEDIO	34.17	18.98	13.29	9.49	6.64	205.76
MÍNIMO	30.37	15.19	11.39	7.59	5.70	205.76
MÁXIMO	37.97	22.78	15.19	11.39	7.59	205.76
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	5.37	5.37	2.68	2.68	1.34	0.00
VARIANZA	28.83	28.83	7.21	7.21	1.80	0.00
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.16	0.28	0.20	0.28	0.20	0.00

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se muestra el promedio máximo de la deflexión corregida (D0) que tiene el valor de 34.17 (0.01 mm). Además, el valor del radio de curvatura promedio que es 205.76 m, también el coeficiente de variación de la deflexión corregida máxima promedio se encuentran en el rango 0.10 y 0.25 indicando que tiene una baja variabilidad.

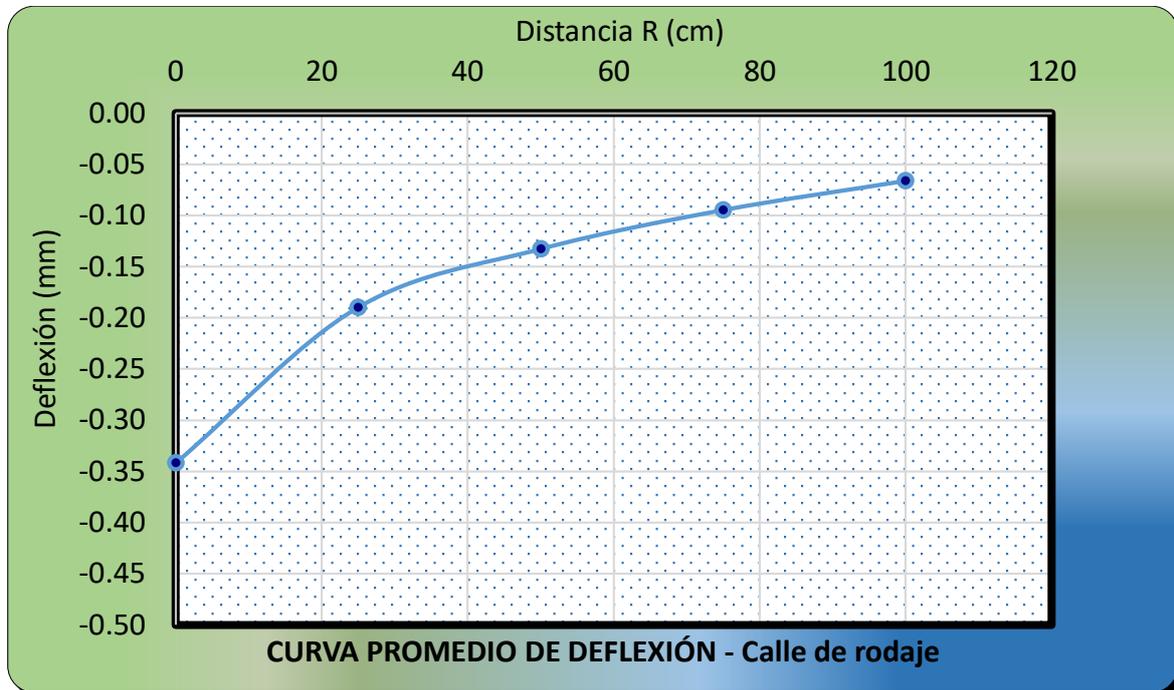
Adicional a lo anterior, también se presenta la figura 44 que es la curva de deflexión promedio del lado derecho de la pista de aterrizaje, el cual se denomina cuenco de deflexiones.

En el gráfico se visualiza la máxima deflexión promedio que tiene como valor 34.17 (0.01 mm) y los demás valores a distancias de 25, 50, 75 y 100 cm, además también se observa que el cuenco de deflexiones presenta una longitud horizontal amplia por lo cual la sub-rasante

tiene uniformidad al distribuir las cargas, además se puede observar que la profundidad de la curva es aceptable por lo cual se infiere que la sub-rasante está trabajando correctamente.

Figura 44

Curva promedio de la calle de rodaje



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.6. Modelo de Hogg – Calle de Rodaje. Basado en las deflexiones corregidas obtenidas se calculan los valores numéricos que engloban el modelo matemático de Hogg. En la tabla a continuación se visualiza el promedio, la desviación estándar, el valor máximo y mínimo de los valores numéricos que representan el modelo de Hogg.

Tabla 42*Valores numéricos modelo de Hogg de la calle de rodaje*

		MODELO DE HOGG						
		R5 (cm)	L0 (cm)	Eo (kg/cm ²)	E* (kg/cm ²)	Mr (kpsi)	C.B.R. (%)	HEQ (cm)
CALLE DE RODAJE	PROMEDIO	32.77	15.03	1573.33	1388115.31	17.29	14.98	26.31
	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	10.99	7.44	577.01	29026.82	4.18	5.50	5.12
	MÁXIMO	40.55	20.28	1981.34	158640.37	20.25	18.87	29.92
	MÍNIMO	25.00	9.77	1165.32	117590.25	14.34	11.10	22.69

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se tiene los valores numéricos que tienen mayor importancia del modelo de Hogg, que son el módulo de elasticidad del pavimento (E*) con un dato promedio de 1388115.31 kg/cm², además el módulo de elasticidad de la sub-rasante (Eo) que tiene como dato promedio 1573.33 kg/cm². También de la tabla anterior se tiene el C.B.R. (California Bearing Ratio) del suelo de fundación con un dato numérico promedio de 14.98 % y el espesor equivalente promedio (HEQ) el cual es 26.31 cm. Los dos últimos valores numéricos son los que tienen mayor importancia para la evaluación estructural.

4.2.1.7. Deflexiones – Plataforma. En la presente tabla 43, se muestra el promedio, el valor mínimo, el valor máximo, la desviación estándar, la varianza, el coeficiente de variación de las y el radio de curvatura de las deflexiones corregidas de la plataforma. Todas las deflexiones obtenidas se encuentran en el anexo N° 02.

Tabla 43*Resumen deflectometría plataforma*

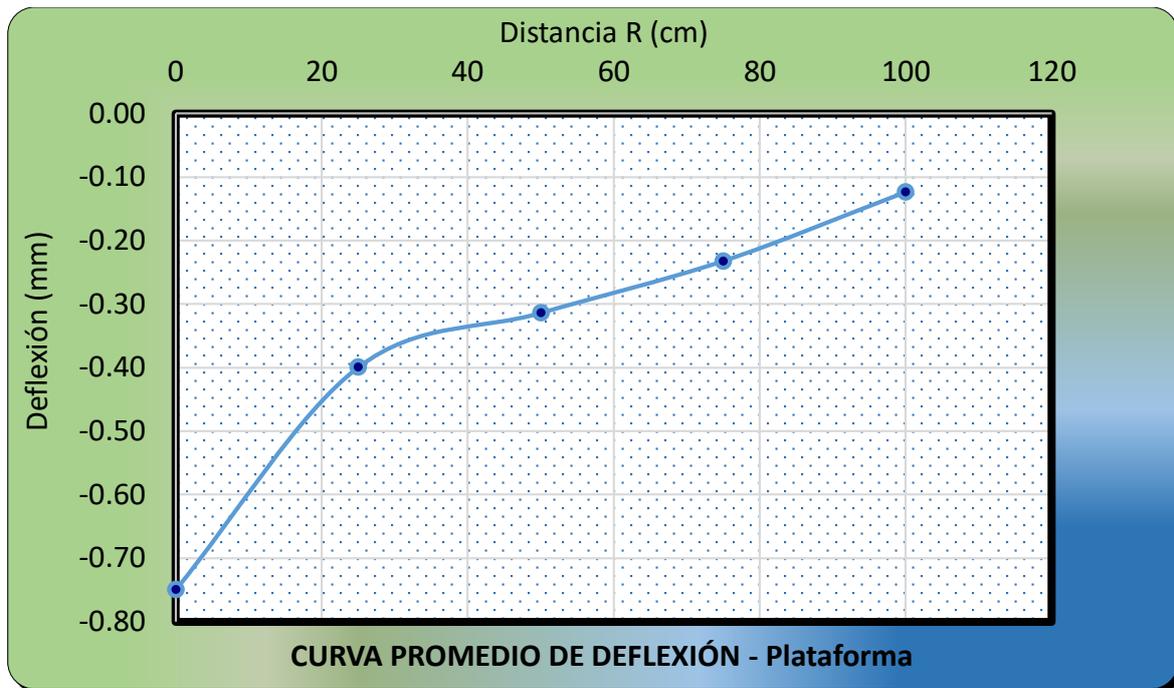
	Deflexiones Corregidas por T°C, Estacionalidad & Espesor del Pavimento (0.01 mm)					Radio de curvatura (m)
	D0	D25	D50	D75	D100	
PROMEDIO	74.99	39.97	31.42	23.24	12.38	129.03
MÍNIMO	30.33	15.17	13.27	7.58	3.79	41.09
MÁXIMO	159.70	83.65	64.64	45.63	22.81	274.87
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	41.98	20.90	16.33	13.65	6.32	79.31
VARIANZA	1762.52	436.80	266.56	186.30	39.95	6289.95
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	0.56	0.52	0.52	0.59	0.51	0.61

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se muestra el promedio máximo de la deflexión corregida (D0) que tiene el valor de 74.99 (0.01 mm). Además, el valor del radio de curvatura promedio que es 129.03 m, también el coeficiente de variación de la deflexión corregida máxima y el radio de curvatura promedio es mayor que 0.50 indicando que tiene una variabilidad muy alta.

Adicional a lo anterior, también se presenta la figura 45 que es la curva de deflexión promedio del lado derecho de la pista de aterrizaje, el cual se denomina cuenco de deflexiones.

En el gráfico se visualiza la máxima deflexión promedio que tiene como valor 34.17 (0.01 mm) y los demás valores a distancias de 25, 50, 75 y 100 cm, además también se observa que el cuenco de deflexiones no presenta una longitud horizontal amplia por lo cual la sub-rasante no tiene una uniformidad al distribuir las cargas, además se puede observar la gran profundidad de la curva, por lo cual se infiere que la sub-rasante no es la óptima.

Figura 45*Curva promedio de la plataforma***Fuente:** Elaboración propia.

4.2.1.8. Modelo de Hogg – Plataforma. Basado en las deflexiones corregidas obtenidas se calculan los valores numéricos que engloban el modelo matemático de Hogg. En la tabla a continuación se visualiza el promedio, la desviación estándar, el valor máximo y mínimo de los valores numéricos que representan el modelo de Hogg.

Tabla 44*Valores numéricos modelo de Hogg de la plataforma*

		MODELO DE HOGG						
		R5 (cm)	L0 (cm)	Eo (kg/cm²)	E* (kg/cm²)	Mr (kpsi)	C.B.R. (%)	HEQ (cm)
PLATAFORMA	PROMEDIO	38.28	18.27	812.96	119835.07	10.55	7.74	30.48
	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	15.88	10.44	503.98	78359.54	5.04	4.80	8.65
	MÁXIMO	67.87	37.08	1984.16	230071.26	20.27	18.90	48.48
	MÍNIMO	22.81	7.14	329.15	22727.50	4.70	3.13	22.69

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se tiene los valores numéricos que tienen mayor importancia del modelo de Hogg, que son el módulo de elasticidad del pavimento (E^*) con un dato promedio de 119835.07 kg/cm², además el módulo de elasticidad de la sub-rasante (E_o) que tiene como dato promedio 812.96 kg/cm². También de la tabla anterior se tiene el C.B.R. (California Bearing Ratio) del suelo de fundación con un dato numérico promedio de 7.74 % y el espesor equivalente promedio (HEQ) el cual es 30.48 cm. Los dos últimos valores numéricos son los que tienen mayor importancia para la evaluación estructural.

4.2.1.9. Resumen del C.B.R. y del Espesor Equivalente (HEQ). Como resumen y analizando que la mayor parte del área de movimiento de aeronaves es la pista de aterrizaje, además que es la zona que sufre mayor impacto ya que ahí se realiza el aterrizaje y despegue de las aeronaves, se realiza el cálculo del C.B.R. y del espesor equivalente (HEQ) final que se usará para cálculos posteriores.

Tabla 45

Resumen del C.B.R

RESUMEN C.B.R.		
Descripción	Pista de aterrizaje lado derecho	Pista de aterrizaje lado izquierdo
California Bearing ratio (CBR) - %	11.44	15.75

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se obtiene el C.B.R. final el cual es el promedio:

C.B.R.= 13.60 %

Seguidamente se visualiza la tabla 46, donde se determina el espesor equivalente (HEQ) final.

Tabla 46

Resumen del espesor equivalente (HEQ)

RESUMEN ESPESOR EQUIVALENTE (HEQ)		
Descripción	Pista de aterrizaje lado derecho	Pista de aterrizaje lado izquierdo
Espesor equivalente (HEQ) - cm	25.53	24.12

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se obtiene el espesor equivalente (HEQ) final el cual es el promedio:

HEQ = 24.82 cm

4.2.2. Determinación del ACN-PCN

En términos esenciales, lo que determina la clasificación de un pavimento aeroportuario es el PCN (Número clasificador de pavimento) y para obtener el valor numérico del PCN se determina el ACN (Número clasificador de aeronave) para la aeronave crítica y ese valor del ACN corresponde al valor numérico del PCN para la estructura del pavimento. Existen dos procedimientos para la determinación del PCN los cuales son: el método de la aeronave y el método de evaluación técnica.

4.2.2.1. Utilización del Método de la Aeronave. El método de la aeronave se basa en obtener los valores ACN de las aeronaves críticas que realizan sus maniobras en el aeródromo. Para realizar con precisión este método obtuvimos la información del tráfico de aeronaves del aeródromo de Atalaya.

4.2.2.2. Determinación del Volumen de Tráfico. Se ha realizado la computación de la estadística de tráfico de aeronaves del Aeródromo de Atalaya de acuerdo a los datos de la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial (CORPAC), correspondiente a los años desde el 2017 al 2021. A continuación, se muestra el resumen estadístico (Ver tabla 47).

LOCKHEED L-100 HERCULES	-	-	14	14	24	24	1	1	-	-
M117 BOMB	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
MIL MI - 8	1	1	2	2	-	-	1	1	1	1
MIL MI -17	5	5	11	11	3	3	1	1	34	34
NORTHROP GRUMMAN B-21 RAIDER	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
PIPER PA-31 NAVAJO	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-
PIPER PA-31T CHEYENNE	-	-	21	21	16	16	11	11	-	-
PIPER PA-32 CHEROKEE SIX	-	-	9	9	9	9	18	18	40	40
PIPER PA-34 SÉNECA	-	-	7	7	12	12	43	43	3	3
RAYTHEON HAWKER 800	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-
ROCKWELL AC-900	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-
SIKORSKY S-64 SKYCRANE	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Total	1155	1153	1250	1265	1000	998	761	758	1069	1066

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior tabla seleccionamos las aeronaves que afectan al cálculo del ACN/PCN y además se muestra las propiedades de aquellas aeronaves en la siguiente tabla 48.

Tabla 48

Propiedades de las aeronaves que afectan al cálculo del ACN/PCN

AERONAVE	TIPO DE TREN DE ATERRIZAJE	PESO OPERATIVO (LBS)	PRESIÓN DE LOS NEUMÁTICOS (PSI)	% DEL PESO EN EL TREN PRINCIPAL	SALIDAS ANUALES
ALENIA C-27 J SPARTAN	Dual	71,650	96.00	95.00	9
ANTONOV AN-32	Dual	59,471	60.90	95.00	5
BEECH 200 SUPER KING AIR	Dual	12,500	114.00	95.00	10
CESSNA 208 CARAVAN	Simple	8,750	57.00	95.00	435
FOKKER 60	Dual	45,900	85.60	95.60	3
HARBIN Y-12	Simple	11,685	58.00	93.50	7
HAVILLAND CANADA DHC TWIN OTTER	Simple	12,500	50.00	94.00	11
JETSTREAM 32	Simple	16,204	100.00	95.00	317
LOCKHEED C-130 HERCULES	Dual	155,000	110.00	95.00	3

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.3. Determinación del ACN de Cada Aeronave. A continuación, se obtiene el ACN para cada tipo de aeronave teniendo en cuenta el C.B.R. de 13.60 %, el cálculo del ACN se realizó mediante el software COMFAA 3.0, es el software que forma parte de la circular de asesoramiento AC 150/5335-5C (Método estandarizado para reporte de resistencia de pavimentos aeroportuarios – ACN/PCN), Software diseñado por la Administración Federal de Aviación que tiene sus siglas en inglés FAA (Federal Aviation Administration).

A continuación, se muestra la interfaz del software COMFAA 3.0.

Figura 46

Interfaz del programa COMFAA 3.0

The screenshot displays the COMFAA 3.0 software interface. The main window shows a graph with a yellow background and a red line labeled 'Flexible'. The graph is titled 'ALENIA C-27 J SPARTAN Main Gear Footprint'. The X-axis is labeled 'Subgrade Category' with values D, C, B, A. The Y-axis is labeled 'ACN' with values 10, 20. The graph shows two black circles representing the main gear footprint. A red box highlights the text 'Libreria externa' and 'Nombre de la aeronave.' in the graph area. Another red box highlights the text 'Valores del ACN según el CBR' in the graph area. A third red box highlights the text 'Propiedades de la aeronave.' in the graph area. The interface includes a left sidebar with 'Aircraft Group' and 'Library Aircraft' sections. The 'Library Aircraft' section lists various aircraft models, with 'ALENIA C-27 J SPARTAN' selected. The bottom section contains a table of aircraft properties and a table of ACN values for different subgrade categories (SG) and CBR values. The 'Computational Modes' section is set to 'ACN' and 'Flexible'.

Property	Value
Gross Weight (lbs)	71,650
% GW on Main Gears	95.00
No. Main Gears	2
Wheels on Main Gear	2
Tire Pressure (psi)	96.0
Alpha Used	0.900
Pass/Traffic Cycle (P/TC)	Not Appl.
Annual Departures	Not Appl.
Flex 20yr Covs., P/C = 3.23	10,000
Rig 20yr Covs., P/C = 6.46	10,000
Rigid Cutoff (times rrs)	5.00

SG	CBR	Flex t. in	ACN Flex
D	3.0	25.61	15.1
C	6.0	16.79	13.6
B	10.0	12.11	12.6
A	15.0	8.81	10.9

Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

Para la utilización del software COMFAA 3.0, primero en la librería externa, se crea el nombre de la aeronave a calcular su ACN, luego se ingresa cada una de las propiedades de la aeronave, se selecciona el modo computacional ACN, finalmente se hace clic en la palabra Flexible y se obtiene el ACN de la aeronave para los distintos CBRs de 3, 6, 10 y 15 %. Como nuestro C.B.R. obtenido es 13.60 % se realizó una interpolación para determinar el ACN de cada aeronave.

En la siguiente tabla se visualiza la interpolación del ACN para la aeronave Alenia C-27 J Spartan.

Tabla 49*Interpolación para la aeronave Alenia C-27 J Spartan*

Interpolación para la aeronave Alenia C-27 J Spartan	
CBR (%)	ACN
10	12.6
13.6	X
15	10.9

Fuente: Elaboración propia.

De la interpolación para la aeronave Alenia C-27 J Spartan se obtiene el ACN para un C.B.R. de 13.6 % el cual es:

$$\text{ACN} = 11.38$$

El ACN es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo como ACN el valor numérico de **11**. En seguida se muestra el resultado obtenido del ACN por cada tipo de aeronave.

Tabla 50*Valor numérico del ACN por cada tipo de aeronave*

AERONAVE	ACN
ALENIA C-27 J SPARTAN	11
ANTONOV AN-32	10
BEECH 200 SUPER KING AIR	2
CESSNA 208 CARAVAN	2
FOKKER 60	9
HARBIN Y-12	3
HAVILLAND CANADA DHC TWIN OTTER	3
JETSTREAM 32	6
LOCKHEED C-130 HERCULES	28

Fuente: Elaboración propia.

En el anexo N° 03 se muestra cada cálculo del ACN mediante el software COMFAA 3.0 y además cada interpolación por cada tipo de aeronave.

De la tabla anterior se observa que la aeronave LOCKHEED C-130 HERCULES es la que mayor ACN tiene, por lo tanto, mediante el método de la aeronave se obtuvo como valor del PCN (Número clasificador de pavimento):

$$\text{PCN} = 28$$

Esté valor numérico da expresar que cualquier aeronave con un ACN menor o igual al valor de PCN=28 obtenido puede realizar acciones de movimiento de aeronaves en el pavimento sin tener alguna restricción o limitación en la presión de los neumáticos.

4.2.2.4. Parámetros que Indican las Condiciones Actuales de Seguridad del Pavimento. Se determinó el número clasificador de pavimentos (PCN), que es el indicador de la condición de seguridad del pavimento. Se empleó el método ACN/PCN desarrollado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) el cual está descrito en el adjunto A-30, en la octava edición del Manual de Diseño y Operaciones de Aeródromos (Julio, 2018) y el procedimiento establecido en el Circular Advisory 150/5335-5C de la FAA (Administración de Aviación Federal).

4.2.2.5. El Dato Numérico del Número Clasificador del Pavimento (PCN). El número clasificador del pavimento (PCN) que obtuvimos mediante el método de la aeronave es: 28.

4.2.2.6. El Tipo de Pavimento. Toda el área de movimiento de aeronaves es de pavimento asfáltico por lo tanto se clasifica en flexible y se representa mediante la letra: F.

4.2.2.7. La Capacidad de Soporte del Suelo de Apoyo. El rango de resistencia de la subrasante, se representa mediante el C.B.R. promedio obtenido, es cual es: 13.60 %, este valor se ubica en que rango se encuentra en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 51

Rangos de la resistencia del terreno de fundación – Pavimento Flexible

CATEGORÍA DE RESISTENCIA DEL SUELO DE FUNDACIÓN	CBR. VALOR DE SOPORTE DE SUBRASANTE (%)	REPRESENTATIVO	CÓDIGO DE DESIGNACIÓN
ALTA	15	$CBR \geq 13$	A
MEDIA	10	$8 < CBR < 13$	B
BAJA	6	$4 < CBR \leq 8$	C
ULTRA BAJA	3	$CBR \leq 4$	D

Fuente: Administración Federal de Aviación – Advisory Circular N° 150/5335-5C.

Como el C.B.R obtenido es mayor que 13 %, la capacidad de soporte del suelo de apoyo es alta y se representa mediante el código: **A**.

4.2.2.8. Presión en los Neumáticos. Para determinar la codificación de la presión de los neumáticos se observa la presente tabla donde se visualiza la presión de los neumáticos de cada una de las aeronaves que tienen incidencia en el cálculo del ACN/PCN.

Tabla 52

Presión de los neumáticos de cada aeronave

AERONAVE	PRESIÓN DE LOS NEUMÁTICOS (PSI)
ALENIA C-27 J SPARTAN	96.00
ANTONOV AN-32	60.90
BEECH 200 SUPER KING AIR	114.00
CESSNA 208 CARAVAN	57.00
FOKKER 60	85.60
HARBIN Y-12	58.00
HAVILLAND CANADA DHC TWIN OTTER	50.00
JETSTREAM 32	100.00
LOCKHEED C-130 HERCULES	110.00

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se observa que la aeronave Beech 200 Super King Air es la que tiene mayor presión de los neumáticos, la cual es: 114.00 psi. A continuación, se define la codificación del nivel de presión en los neumáticos mediante la siguiente tabla.

Tabla 53

Codificación del nivel de presión en los neumáticos

CATEGORÍA	LÍMITES DE PRESIÓN DE NEUMÁTICO	CODIFICACIÓN
ALTA	Sin límite de presión	W
MEDIA	Presión limitada a 218 psi (1.50 MPa)	X
BAJA	Presión limitada a 145 psi (1.00 MPa)	Y
MEDIA BAJA	Presión limitada a 73 psi (0.50 MPa)	Z

Fuente: Administración Federal de Aviación – Advisory Circular N° 150/5335-5C.

Según la tabla anterior la presión de los neumáticos está limitada a 145 psi, ya que la presión de 114 psi no supera la misma, la categoría es baja y se codifica con la letra: **Y**.

4.2.2.9. Método de Evaluación. Nuestro método de evaluación en esta primera instancia se fundamenta en el tráfico de aeronaves que realizan sus maniobras en el pavimento del aeródromo sin tomar en cuenta los espesores del pavimento, por lo tanto, se codifica con la letra U.

Finalmente se obtiene el PCN mediante el método de la aeronave para el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya, el cual es:

28/F/A/Y/U

4.3. Estudios Desarrollados de Mecánica de Suelos.

4.3.1. Características Estratigráficas

Con las exploraciones realizadas se elabora el perfil estratigráfico de cada una de las calicatas, así como, se describe los suelos predominantes en cada una de ellas.

4.3.1.1. Calicata N°01. La exploración del subsuelo de la C-01; de **0.00 a 0.038 m**, material de carpeta asfáltica. Entre **0.038 m – 0.338 m**, nivel explorado, material de arenas mal graduadas con grava o nada de material fino, además, arenas arcillosas, mezcla de arena arcillosa. Entre **0.338 m – 2.00 m**, nivel explorado, material de arcilla color rojo con betas cremas, con humedad media, baja plasticidad y compacidad suelta media.

Figura 47

Perfil estratigráfico de la calicata N° 01

PROF. CM	PROF. TOTAL	ESTRATO	SIMB.	DESCRIPCION DEL ESTRATO	CLASIFICACION												
					SUCS	AASHTO	2"	1"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°100	N°200	LL	LP	IP
3.8		N° 01 0.038 M		CARPETA ASFÁLTICA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5		N° 02 0.30 M	SP-SC	Arenas mal graduadas con poca grava o nada de material fino. Arenas arcillosas, mezcla de arena arcillosa.	SP-SC	A-1-a (0)	100.00	88.70	72.07	56.12	34.71	21.88	-	9.24	21.60	16.56	5.04
10																	
15																	
20																	
25																	
30																	
33.8																	
35																	
40																	
45																	
50																	
55																	
60																	
65																	
70																	
75																	
80																	
85																	
90																	
95																	
100																	
105																	
110																	
115		N° 03 1.675 M	CL	Material de arcilla color crema con betas rojas, con humedad media, baja plasticidad y compacidad suelta media.	CL	A-6 (8)	-	-	-	100.00	99.74	97.12	75.40	65.71	33.50	18.29	15.21
120																	
125																	
130																	
135																	
140																	
145																	
150																	
155																	
160																	
165																	
170																	
175																	
180																	
185																	
190																	
195																	
200																	

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2. Calicata N°02. La exploración del subsuelo de la C-02; de **0.00 a 0.25 m**, material identificado como turba, suelo que contiene alto contenido orgánico. Entre **0.25 m – 2.50 m**, nivel explorado, material de arcilla color rojo con betas cremas, con humedad media, baja plasticidad y compacidad suelta media.

Figura 48

Perfil estratigráfico de la calicata N° 02

PROF. CM	PROF. TOTAL	ESTRATO	SIMB.	DESCRIPCION DEL ESTRATO	CLASIFICACION										
					SUCS	AASHTO	N°4	N°10	N°40	N°100	N°200	LL	LP	IP	
5	2.50 M	N° 01 0.25 M	Pt	Material identificado como turba, suelo que contiene alto contenido orgánico relativamente no descompuesta ni deteriorada o materiales de plantas frescas como madera, raíces, pasto, de color marrón oscuro, humedad alta en su estado natural semicompacto.
10															
15															
20															
25															
30															
35															
40															
45															
50															
55															
60															
65															
70															
75															
80															
85															
90															
95															
100															
105															
110															
115															
120															
125															
130															
135															
140															
145															
150															
155															
160															
165															
170															
175															
180															
185															
190															
195															
200															
205															
210															
215															
220															
225															
230															
235															
240															
245															
250															
		N° 02 2.25 M	CL	Material de arcilla color rojo con betas cremas, con humedad media, baja plasticidad y compacidad suelta media.	CL	A-7-6 (14)	-	100.00	98.12	82.72	78.78	41.80	24.93	16.87	

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3. Calicata N°03. La exploración del subsuelo de la C-03; de **0.00 a 0.20 m**, material identificado como turba, suelo que contiene alto contenido orgánico. Entre **0.20 m – 1.20 m**, nivel explorado, material de arenas mal graduadas con grava o nada de material fino. Entre **1.20 m – 1.80 m**, nivel explorado, material de arcilla color rojo con betas cremas, con humedad media, baja plasticidad y compacidad suelta media.

Figura 49

Perfil estratigráfico de la calicata N° 03

PROF. CM	PROF. TOTAL	ESTRATO	SIMB.	DESCRIPCION DEL ESTRATO	CLASIFICACION																
					SUCS	AASHTO	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N° 20	N°40	N°100	N°200	LL	LP	IP	
5	0.20 M	N° 01	PT	Material identificado como turba, suelo que contiene alto contenido orgánico (materialmente no descompuesto ni deteriorado o materia de plantas frescas como madera, raices, paja, de color marrón oscuro, humedad alta en su estado natural semicompacto.																	
10																					
15																					
20	1.00 M	N° 02	SP	Material de arenas mal graduadas con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias, de color amarillo con betas rojas, en estado natural semicompacto	SP	A-2-4 (0)	100.00	95.29	91.49	85.36	79.86	71.41	64.45	60.53	54.50	12.01	3.92	25.40	23.32	2.08	
25																					
30																					
35																					
40																					
45																					
50																					
55																					
60																					
65																					
70	0.60 M	N° 03	CL	Material de arcilla color rojo con betas cremas, con humedad media, baja plasticidad y compacidad suelta media.	CL	A-7-6 (9)						####	99.01		97.33	82.95	63.39	40.30	22.61	17.69	
75																					
80																					
85																					
90																					
95																					
100																					
105																					
110																					
115																					
120																					
125																					
130																					
135																					
140																					
145																					
150																					
155																					
160																					
165																					
170																					
175																					
180																					

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4. Calicata N°04. La exploración del subsuelo de la C-04; de **0.00 a 0.20 m**, material identificado como turba, suelo que contiene alto contenido orgánico. Entre **0.20 m – 1.20 m**, nivel explorado, material de arenas mal graduadas con grava o nada de material fino. Entre **1.20 m – 1.80 m**, nivel explorado, material de arcilla color rojo con betas cremas, con humedad media, baja plasticidad y compacidad suelta media.

Figura 50

Perfil estratigráfico de la calicata N° 04

PROF. CM	PROF. TOTAL	ESTRATO	SIMB.	DESCRIPCION DEL ESTRATO	CLASIFICACION																		
					SUCS	AASHTO	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N° 20	N°40	N°100	N°200	LL	LP	IP			
5	1.80 M	N° 01 0.20 M	Pt	Material identificado como turba, suelo que contiene alto contenido orgánico relativamente no descompuesto en totalidad o material de plantas frescas como madera, rasca, paja, de color marrón oscuro, humedad alta en su estado natural semicompacto.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
10					15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
125		N° 02 1.00 M	SP	Material de arenas mal graduadas con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias, de color amarillo con betas rojas, en estado natural semicompacto	SP	A-2-4 (0)	100.00	95.20	91.34	85.10	79.50	70.90	63.81	59.82	53.68	40.43	4.17	25.80	20.57	5.23			
130					135	140	145	150	155	160	165	170	175	180									
125					N° 03 0.60 M	CL	Material de arcilla color rojo con betas cremas, con humedad media, baja plasticidad y compacidad suelta media.	CL	A-6 (11)	-	-	-	-	-	####	97.37	-	92.31	84.24	72.27	38.90	21.61	17.29
130								135	140	145	150	155	160	165	170	175	180						

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.5. Calicata N°05. La exploración del subsuelo de la C-05; de **0.00 a 0.25 m**, material identificado como turba, suelo que contiene alto contenido orgánico. Entre **0.25 m – 1.00 m**, nivel explorado, material de arenas mal graduadas con grava o nada de material fino. Entre **1.00 m – 2.00 m**, nivel explorado, material de arcilla color rojo con betas cremas, con humedad media, baja plasticidad y compactidad suelta media.

Figura 51

Perfil estratigráfico de la calicata N° 05

PROF. CM	PROF. TOTAL	ESTRATO	SIMB.	DESCRIPCION DEL ESTRATO	CLASIFICACION																																					
					SUCS	AASHTO	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°100	N°200	LL	LP	IP																						
5	2.00 M	N° 01 0.25 M	Pt	Material identificado como turba, suelo que contiene alto contenido orgánico relativamente no descompuesto ni deteriorado o materiales de plantas frescas como madera, raíces, paja, de color marrón oscuro, humedad alta en su estado natural semicompacto.																																						
10																																										
15																																										
20		N° 02 1.00 M	SP	Material de arenas mal graduadas con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias, de color marrón, en estado natural semicompacto.	SP	A-2-4 (0)	100.00	95.18	91.25	84.95	79.27	70.56	63.32	59.29	53.10	9.51	1.19	25.00	21.55	3.45																						
25																																										
30																																										
35																																										
40																																										
45																																										
50																																										
55																																										
60																																										
65																																										
70																																										
75																																										
80																																										
85																																										
90																																										
95																																										
100																																										
105																																										
110																																										
115																																										
120																																										
125																																										
130																																										
135																																										
140																																										
145																																										
150																																										
155																																										
160																																										
165																																										
170																																										
175																																										
180																																										
185																																										
190																																										
195																																										
200																																										

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Contenido de Humedad Natural

Mediante los ensayos realizados a cada una de las muestras extraídas de cada calicata, se han podido establecer rangos de humedad natural, el cual varía de acuerdo al tipo de suelo. A continuación, se presentan los porcentajes de humedad natural.

Tabla 54

Contenido de humedad natural

CALICATA	MUESTRA	HUMEDAD NATURAL (%)
C-01	M-02	19.39
	M-03	19.33
C-02	M-02	17.13
C-03	M-02	18.73
	M-03	20.38
C-04	M-02	18.73
	M-03	20.38
C-05	M-02	18.73
	M-03	20.38

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Análisis Granulométrico por Tamizado y Límites de Atterberg

Para el ensayo granulométrico se usó tamices de diámetros (3/8", N° 4, N° 20, N° 10, N° 40, N° 100, N° 200). Tomando en cuenta las normas vigentes del manual de ensayo de materiales aprobado por R.D. N° 15-2016-MTC//14, se realizó el secado y posterior el lavado, que permitió obtener resultados de clasificación de suelos por el método S.U.C.S y AASTHO.

El ensayo de Límites de Atterberg se realizó con el fin de determinar el índice de plasticidad de los suelos limosos y arcillosos.

A continuación, se presentan los valores obtenidos de cada calicata y la clasificación de suelos de cada muestra extraída.

Tabla 55*Calicata 01 - Granulometría y Límites de Atterberg*

CALICATA 01			
	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Profundidad (m)	0.00-0.25	0.25-1.00	1.00-2.00
Retenido N° 3/8"		100.00 %	-
Retenido N° 4		70.56 %	100.00 %
Retenido N° 200		1.19 %	80.59 %
Límite líquido (L.L.)	Pt (turba)	25.00 %	42.20 %
Índice de plasticidad (I.P.)		3.45 %	18.58 %
SUCS		SP	CL
AASTHO		A-2-4 (0)	A-7-6 (15)

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 56***Calicata 02 - Granulometría y Límites de Atterberg*

CALICATA 02		
	Muestra 01	Muestra 02
Profundidad (m)	0.00-0.25	0.25-2.50
Retenido N° 4		100.00 %
Retenido N° 200		78.78 %
Límite líquido (L.L.)		41.80 %
Índice de plasticidad (I.P.)	Pt (turba)	16.87 %
SUCS		CL
AASTHO		A-7-6 (14)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57*Calicata 03 - Granulometría y Límites de Atterberg*

CALICATA 03			
	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Profundidad (m)	0.00-0.20	0.25-1.20	1.20-1.80
Retenido N° 3/8"		100.00 %	-
Retenido N° 4		71.41 %	100.00 %
Retenido N° 200		3.92 %	67.68 %
Límite líquido (L.L.)	Pt (turba)	25.40 %	42.40 %
Índice de plasticidad (I.P.)		2.08 %	17.58 %
SUCS		SP	CL
AASTHO		A-2-4 (0)	A-7-6 (9)

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 58***Calicata 04 - Granulometría y Límites de Atterberg*

CALICATA 04			
	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Profundidad (m)	0.00-0.20	0.20-1.20	1.20-1.80
Retenido N° 3/8"		100.00 %	-
Retenido N° 4		70.90 %	100.00 %
Retenido N° 200		4.17 %	72.27 %
Límite líquido (L.L.)	Pt (turba)	25.80 %	38.90 %
Índice de plasticidad (I.P.)		5.23 %	17.29 %
SUCS		SP	CL
AASTHO		A-2-4 (0)	A-6 (11)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59*Calicata 05 - Granulometría y Límites de Atterberg*

CALICATA 05			
	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Profundidad (m)	0.00-0.25	0.25-0.55	0.55-2.00
Retenido N° 3/8"		100.00 %	-
Retenido N° 4		56.12 %	100.00 %
Retenido N° 200		9.24 %	65.71 %
Límite líquido (L.L.)	Pt (turba)	21.60 %	33.50 %
Índice de plasticidad (I.P.)		5.04 %	15.21 %
SUCS		SP-SC	CL
AASTHO		A-1-A (0)	A-6 (8)

Fuente: Elaboración propia.**4.3.4. Ensayo de Proctor Modificado**

El Proctor modificado es el ensayo de compactación de suelo que tiene como objetivo obtener la humedad óptima de compactación de un suelo para una determinada energía de compactación. La humedad óptima de compactación es aquella humedad (% de agua) en la cual la densidad del suelo es máxima, en otros términos, es la cantidad de agua que debemos de agregar a un suelo para poderlo compactar al máximo con una energía concreta.

Para encontrar la humedad óptima realizamos 04 ensayos con un mismo suelo, pero con diferentes humedades para cada una de las muestras extraídas de las calicatas 01 y 03, después de haber realizado las compactaciones obtendremos 04 densidades de este suelo para 04 humedades diferentes, siendo estas las no óptimas; sin embargo, las podemos usar para obtener la humedad óptima mediante interpolación. Es decir que situando los 04 valores obtenidos en una gráfica densidad respecto al porcentaje (%) de agua obtendremos 04 puntos que nos permitió trazar una curva, siendo el punto más alto de la curva el de mayor densidad y por lo tanto el de la humedad óptima.

A continuación, se presentan los valores obtenidos del ensayo de Proctor Modificado de las calicatas 01 y 03.

Tabla 60

Resultados del ensayo de Proctor Modificado

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO		
Calicata	Densidad máxima seca (kg/cc)	Humedad óptima
01	2.135	8.40 %
03	1.949	12.90 %

Fuente: Elaboración propia.

4.3.5. Ensayo de California Bearing Ratio de Suelo (C.B.R)

El ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio) mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días y de haber medido su hinchamiento. Después de haber compactado el suelo y de haberlo sumergido, lo penetramos con un pistón el cual va conectado a un pequeño “plotter” que nos da una gráfica donde expresa la carga respecto a la profundidad a la que el pistón ha penetrado en la muestra.

Una vez obtenida la gráfica observamos los valores de la carga que soportó el suelo cuando el pistón se había hundido 2.5 pulgadas y lo expresamos en tanto por ciento, tomando como índice C.B.R. el mayor de los porcentajes calculados.

A continuación, se presentan los valores obtenidos del ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R.) de las calicatas 01 y 03.

Tabla 61

Resultados del ensayo de California Bearing Ratio (C.B.R.)

ENSAYO DE CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)		
Calicata	Resultados de C.B.R.	
01	C.B.R. al 100% de la M.D.S.	23.6 %
	C.B.R. al 95% de la M.D.S.	22.2 %
	C.B.R. al 90% de la M.D.S.	20.8 %
03	C.B.R. al 100% de la M.D.S.	8.7 %
	C.B.R. al 95% de la M.D.S.	7.9 %
	C.B.R. al 90% de la M.D.S.	7.5 %

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis Estadístico e Interpretación de Resultados Obtenidos.

5.1.1. Contraste de la Hipótesis Específica N° 1

Mediante la norma ASTM D 5340 (PCI – índice de condición de pavimentos en aeropuertos) se ha obtenido el PCI de cada una de las unidades de muestras del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya, las cuales se muestran en el capítulo IV (resultados), además se realiza la comprobación de la hipótesis mediante la distribución normal y se procede a formular las hipótesis científicas nula (H_0) y alternativa (H_a):

- **Hipótesis nula (H_0):** Las fallas encontradas demuestran una condición de pavimento colapsado ($PCI \leq 10$) en el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya.
- **Hipótesis alternativa (H_a):** Las fallas encontradas **no** demuestran una condición de pavimento colapsado ($PCI \leq 10$) en el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya.

H_0 : PCI obtenido mediante la norma ASTM D 5340 es menor o igual a 10.

H_a : PCI obtenido mediante la norma ASTM D 5340 es mayor a 10.

Región de aceptación (No rechazo) H_0 : $\mu \leq 10$.

Región crítica (Rechazo) H_a : $\mu > 10$.

Se puede observar que la hipótesis nula (H_0) es menor o igual a 10, es decir no puede ser mayor a 10; al tener una cantidad de datos de 121 se realiza la prueba de distribución con una cola a la derecha y se aplica la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

\bar{X} = Media.

μ = Valor a analizar.

S_x = Desviación estándar.

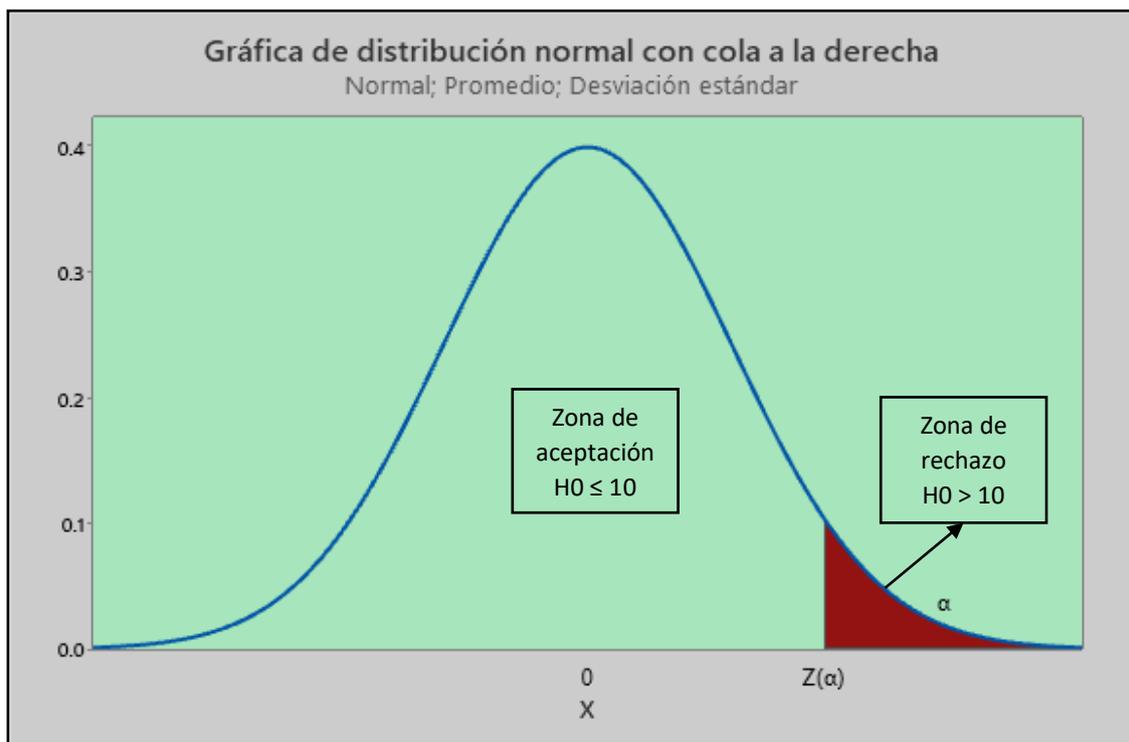
n = Tamaño de la muestra.

α = Nivel de significancia 0.05.

Para lo cual se rechaza la hipótesis nula si: $-Z(\alpha) > Z$, el cual se representa gráficamente en el siguiente gráfico:

Figura 52

Prueba de hipótesis distribución normal con cola a la derecha (PCI)



Fuente: Elaboración propia – Software Minitab Statistical.

A continuación, se presentan los datos con los que realizó la prueba de hipótesis, además está se la realizó con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 62

Prueba de hipótesis normal con cola a la derecha (PCI)

Prueba de hipótesis distribución normal (PCI)	
n	121
μ	10
α	0.05
$Z(\alpha)$	1.645
\bar{X}	21.56
S_x	12.79
S_x/\sqrt{n}	1.16
$\bar{X} - \mu$	20.40
Z	9.94

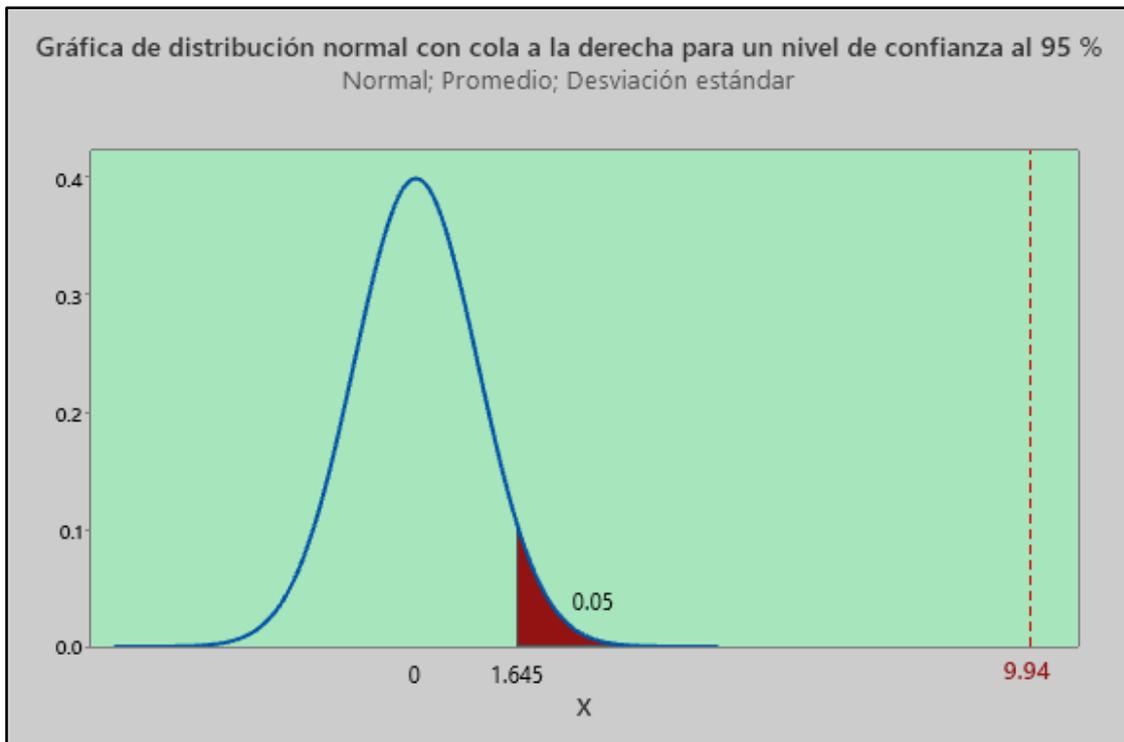
Fuente: Elaboración propia.

El valor de $Z(\alpha)$ es obtenido mediante el anexo N° 05 con la relación del $\alpha = 0.05$. De la tabla anterior se visualiza que $Z = 9.94$, eso quiere decir que $Z > 1.645$ por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, con este resultado se afirma que el PCI obtenido mediante la norma ASTM D 5340, es mayor de 10 y teniendo como promedio 21.56, encontrándose en una categoría de rango de PCI de muy malo.

A continuación, se muestra el resultado gráficamente que se realiza con una prueba de hipótesis de distribución normal al 95 % de nivel de confianza.

Figura 53

Resultado de prueba de hipótesis distribución normal con cola a la derecha (PCI)



Fuente: Elaboración propia – Software Minitab Statistical.

5.1.2. Contraste de la Hipótesis Específica N° 2

Mediante el modelo de Hogg se ha obtenido el C.B.R. de cada uno de los puntos ensayados con la Viga Benkelman de la pista de aterrizaje tanto al lado derecho como al lado izquierdo, cada C.B.R determinado se muestra en la tabla 63, además se realiza la comprobación de la hipótesis mediante la distribución normal.

Tabla 63

C.B.R. de cada uno de los puntos ensayados con la Viga Benkelman – Pista de aterrizaje

N°	Progresiva (Km)	CBR (%)	N°	Progresiva (Km)	CBR (%)
1	0+040	13.63	16	0+090	12.93
2	0+140	15.41	17	0+190	19.40
3	0+240	9.17	18	0+290	16.54
4	0+340	15.40	19	0+390	19.35
5	0+440	6.81	20	0+490	19.26
6	0+540	6.73	21	0+590	19.26
7	0+640	19.28	22	0+690	25.54
8	0+740	8.69	23	0+790	6.67
9	0+840	7.68	24	0+890	19.05
10	0+940	19.26	25	0+990	19.05
11	1+040	10.76	26	1+090	5.86
12	1+140	10.84	27	1+190	3.62
13	1+240	9.01	28	1+290	10.90
14	1+340	7.29	29	1+390	13.49
15	1+440	11.69	30	1+480	25.39

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se tiene el C.B.R. de cada punto ensayado mediante la Viga Benkelman, entonces se prosigue con la comprobación de la hipótesis de investigación planteada anteriormente, se procede a formular las hipótesis científicas nula (H_0) y alternativa (H_a):

- **Hipótesis nula (H_0):** El C.B.R. (California Bearing Ratio) de la subrasante obtenido mediante la deflectometría y el modelo de Hogg se encuentra en una categoría de resistencia de suelo alta (C.B.R. ≥ 13 %).

- **Hipótesis alternativa (Ha):** El C.B.R. (California Bearing Ratio) de la subrasante obtenido mediante la deflectometría y el modelo de Hogg **no** se encuentra en una categoría de resistencia de suelo alta (C.B.R. < 13 %).

H0: C.B.R. obtenido mediante el modelo de Hogg es mayor o igual al 13 %.

Ha: C.B.R. obtenido mediante el modelo de Hogg es menor al 13 %.

Región de aceptación (No rechazo) H0: $\mu \geq 13 \%$.

Región crítica (Rechazo) Ha: $\mu < 13 \%$.

Se puede observar que la hipótesis nula (H0) es mayor e igual a 13 %, es decir no puede ser menor a 13 %; al tener una cantidad de datos de 30 se realiza la prueba de distribución con una cola a la izquierda y se aplica la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

\bar{X} = Media.

μ = Valor a analizar.

S_x = Desviación estándar.

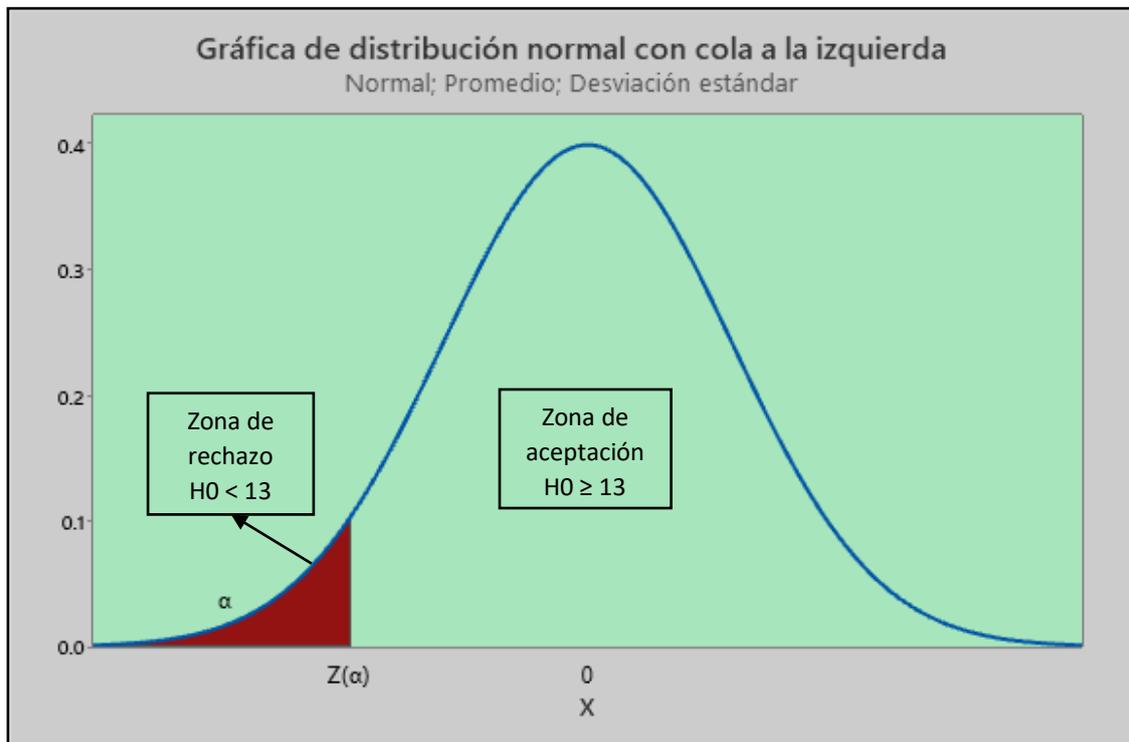
n = Tamaño de la muestra.

α = Nivel de significancia 0.05.

Para lo cual se rechaza la hipótesis nula si: $-Z(\alpha) < Z$, el cual se representa gráficamente en la siguiente figura:

Figura 54

Prueba de hipótesis distribución normal con cola a la izquierda (C.B.R.)



Fuente: Elaboración propia – Software Minitab Statistical.

A continuación, se presentan los datos con los que realizó la prueba de hipótesis, además está se la realizó con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 64

Prueba de hipótesis normal con cola a la izquierda (C.B.R.)

Prueba de hipótesis distribución normal (CBR)	
n	30
μ	13
α	0.05
$-Z(\alpha)$	-1.645
\bar{X}	13.60
S_x	5.39
S_x / \sqrt{n}	1.08
$\bar{X} - \mu$	0.60
Z	0.554

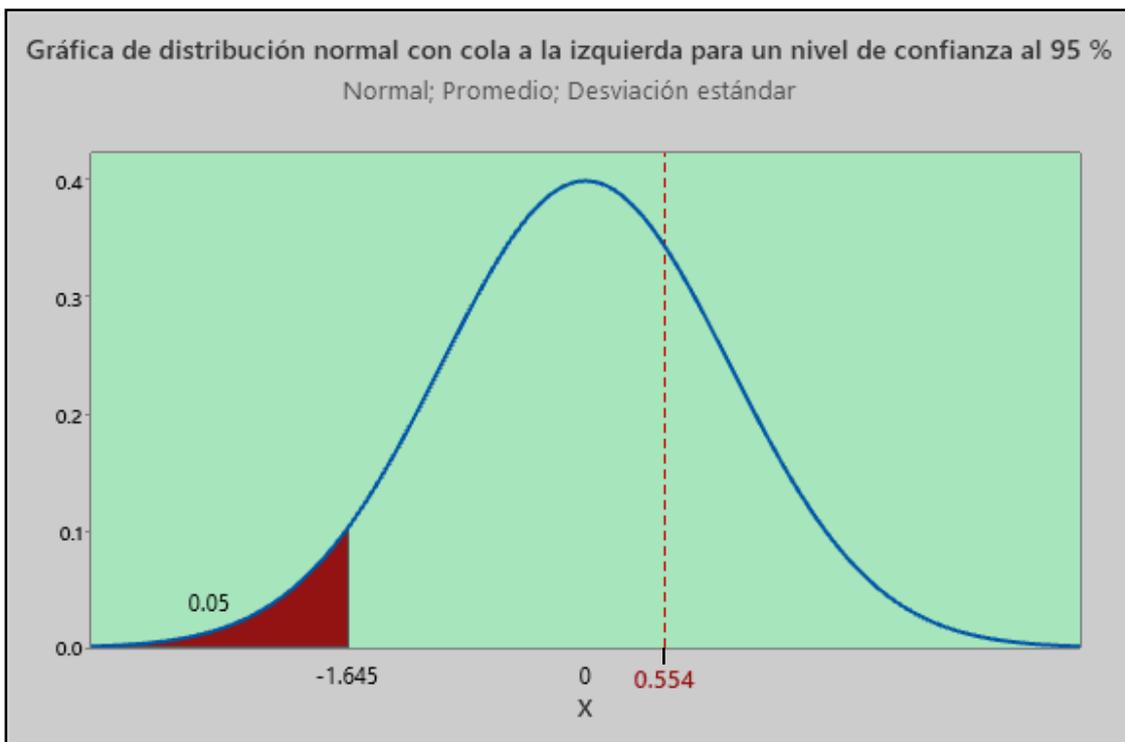
Fuente: Elaboración propia.

El valor de $-Z(\alpha)$ es obtenido mediante el anexo N° 05 con la relación del $\alpha = 0.05$. De la tabla anterior se visualiza que $Z = 0.554$, eso quiere decir que $Z > -1.645$ por lo tanto se acepta la hipótesis nula, con este resultado se afirma que el C.B.R. obtenido mediante las deflexiones de campo y el modelo matemático de Hogg, es mayor de 13 %, encontrándose en una categoría de resistencia de suelo alta.

A continuación, se muestra el resultado gráficamente que se realiza con una prueba de hipótesis de distribución normal al 95 % de nivel de confianza.

Figura 55

Resultado de prueba de hipótesis distribución normal con cola a la izquierda (C.B.R.)



Fuente: Elaboración propia – Software Minitab Statistical.

5.1.3. Contraste de la hipótesis específica N° 3

Con los datos obtenidos del ACN de cada una de las aeronaves (ver tabla 65) se procede con la comprobación de la hipótesis mediante la distribución de t de Student.

Tabla 65

Resultado de prueba de hipótesis distribución normal con cola a la izquierda (C.B.R.)

N°	AERONAVE	ACN
1	ALENIA C-27 J SPARTAN	11
2	ANTONOV AN-32	10
3	BEECH 200 SUPER KING AIR	2
4	CESSNA 208 CARAVAN	2
5	FOKKER 60	9
6	HARBIN Y-12	3
7	HAVILLAND CANADA DHC TWIN OTTER	3
8	JETSTREAM 32	6
9	LOCKHEED C-130 HERCULES	28

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se observa el ACN por cada tipo de aeronave, entonces se continua con la comprobación de la hipótesis de investigación planteada anteriormente, se procede a formular las hipótesis científicas nula (H_0) y alternativa (H_a):

- **Hipótesis alternativa (H_0):** El PCN (Número Clasificador de Pavimento) obtenido mediante el Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C es igual al PCN: 27/F/A/X/T que fue establecido por CORPAC (Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación comercial) para el aeródromo de Atalaya.

- **Hipótesis nula (H₀):** El PCN (Número Clasificador de Pavimento) obtenido mediante el Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C **no** es igual al PCN: 27/F/A/X/T que fue establecido por CORPAC (Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación comercial) para el aeródromo de Atalaya.

H₀: PCN obtenido mediante el Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C = 27.

H_a: PCN obtenido mediante el Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C ≠ 27.

Se puede observar que la hipótesis nula (H₀) es 27, es decir no puede ser menor ni mayor a este por lo que se utilizó la prueba de t de Student de dos colas y se aplica la siguiente fórmula:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

\bar{X} = Media.

μ = Valor a analizar.

S_x = Desviación estándar.

n = Tamaño de la muestra.

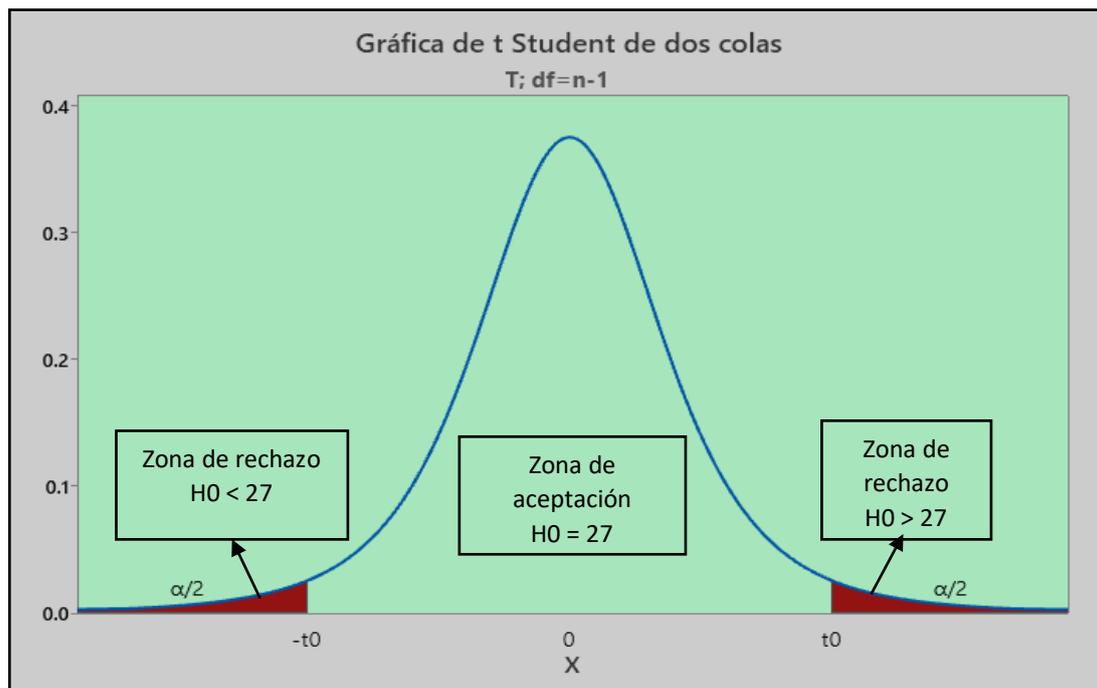
Grados de libertad - Df = n-1.

α = Margen de error.

Para lo cual se rechaza la hipótesis nula si: $-t_0 < T < t_0$, el cual se representa gráficamente en el siguiente gráfico:

Figura 56

Prueba de hipótesis t de Student de dos colas



Fuente: Elaboración propia – Software Minitab Statistical.

A continuación, se presentan los datos con los que realizó la prueba de hipótesis, además está se la realizó con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 66

Prueba de hipótesis t de Student de dos colas (PCN)

Prueba de hipótesis t de Student (PCN)	
n	9
df	8
μ	27
α	0.05
t_0	2.306
\bar{X}	8
S_x	8
\sqrt{n}	3.0
S_x / \sqrt{n}	2.67
$\bar{X} - \mu$	-19
T	-7.12

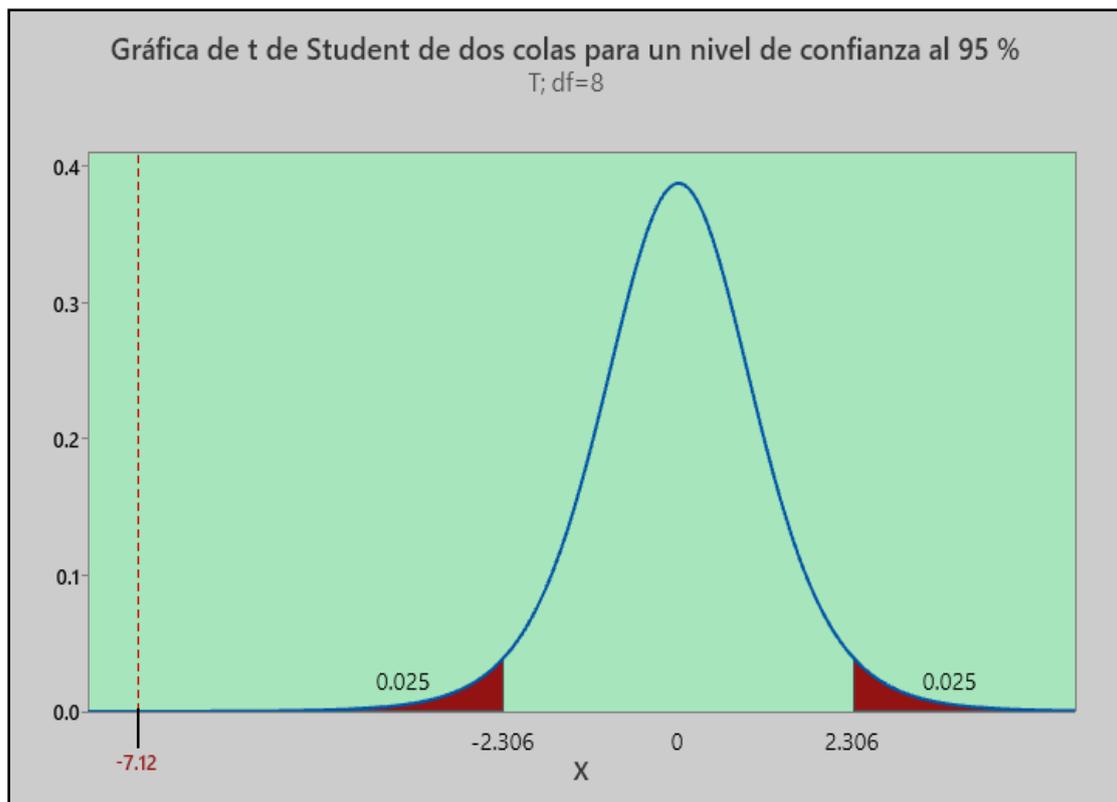
Fuente: Elaboración propia.

El valor de t_0 es obtenido mediante el anexo N° 05 con la relación del $\alpha = 0.05$ y $df = 8$. De la tabla anterior se visualiza que $T = -7.12$, eso quiere decir que $T < t_0$; $-7.12 < -2.306$ por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, con este resultado se afirma que el PCN obtenido mediante el Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C no es igual a 27.

A continuación, se muestra el resultado gráficamente que se realiza con una prueba de hipótesis de distribución normal al 95 % de nivel de confianza.

Figura 57

Resultado de prueba de hipótesis t de Student de dos colas (PCN)



Fuente: Elaboración propia – Software Minitab Statistical.

5.1.3.1. Determinación del PCN Mediante el Método de Evaluación Técnica. Del método de la aeronave se extrae la aeronave que tiene mayor ACN la cual es la aeronave Lockheed L-100 Hercules, en seguida, se convierten todas las salidas de las demás aeronaves al tráfico de la aeronave crítica, esto se realiza mediante el cálculo del factor de daño acumulativo con sus siglas en inglés CDF (cumulative damage factor).

Para calcular el factor de daño acumulativo (CDF) se utilizarán los siguientes datos:

- Espesor del pavimento equivalente: **HEQ = 24.82 cm.** (Calculado del modelo de Hogg).

Por proceso de construcción de la estructura del pavimento, se redondea el espesor equivalente a: **25 cm** y convertido a pulgadas: **9.843 in.**

- C.B.R. de la subrasante que fue obtenido del modelo de Hogg: **13.60 %.**
- Vida útil del pavimento: **20 años.**
- Ratio estándar P/TC lo determinamos de la siguiente tabla.

Tabla 67

Resumen – ratio estándar P/TC

Resumen - ratio estándar P/TC		
Tipo de calle de rodaje	P/TC – Combustible obtenido en el aeropuerto	P/TC – Combustible no obtenido en el aeropuerto
Paralelo	1	2
Central	2	3

Fuente: Administración Federal de Aviación – Advisory Circular N° 150/5335-5C.

Donde:

P = Pasadas.

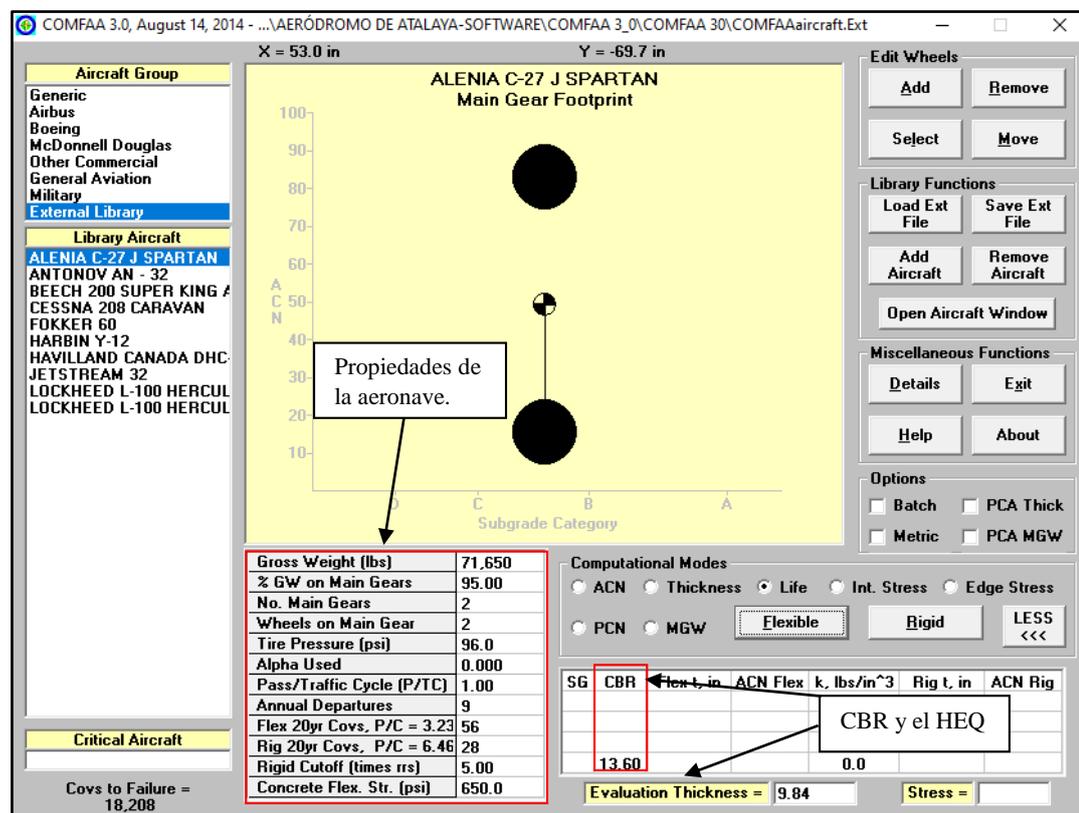
TC = Ciclos de tráfico.

- El aeródromo cuenta con una calle de rodaje central y el combustible es obtenido en el aeródromo, por lo tanto, ratio estándar P/TC es igual a: **2**.

Con los datos anteriores y las propiedades de cada una de las aeronaves se ingresa cada uno de esos valores para obtener el número de pasadas (#) en 20 años, el espesor del pavimento requerido por cada aeronave y el número de pasadas (#) hasta que la estructura del pavimento falle. A continuación, se muestra el interfaz del software COMFAA 3.0. (modo life) con su utilización.

Figura 58

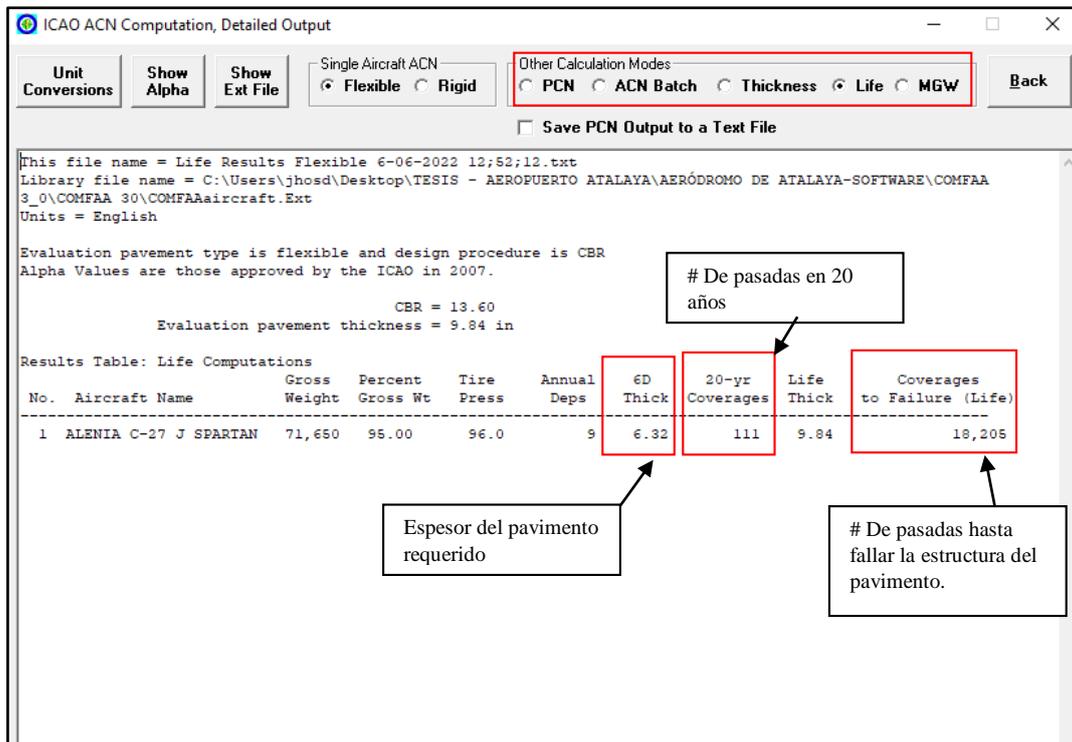
Interfaz software COMFAA 3.0. (Modo Life)



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

Figura 59

Valores obtenidos del software COMFAA 3.0. (Modo Life)



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

A continuación, en la siguiente tabla se muestra los valores obtenidos para cada una de las aeronaves, en el anexo 04 se muestra lo desarrollado con el software COMFAA 3.0 (Modo Life).

Tabla 68

Valores obtenidos del software COMFAA 3.0. (Modo Life)

Aeronave	Salidas anuales	Tipo de tren de aterrizaje	# De pasadas en 20 años	Espesor del pavimento requerido por cada aeronave (in)	# De pasadas hasta fallar la estructura del pavimento
ALENIA C-27 J SPARTAN	9	D	111.00	6.32	18205
ANTONOV AN - 32	5	D	67.00	5.35	17947
BEECH 200 SUPER KING AIR	10	D	45.00	2.45	1.0142321E+304
CESSNA 208 CARAVAN	435	S	1,733.00	3.43	1.0142321E+304
FOKKER 60	3	D	30.00	4.28	251443
HARBIN Y-12	7	S	32.00	2.33	1.0142E+304
HAVILLAND CANADA DHC-6 TWIN OTTER	11	S	56.00	2.49	1.0142E+304
JETSTREAM 32	317	S	1,297.00	5.63	126485612.7
LOCKHEED L-100 HERCULES	3	D	51.00	8.83	101

Fuente: Elaboración propia.

El factor de daño acumulativo (CDF) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CDF = \frac{\text{Número de pasadas (\#) en 20 años}}{\text{Número de pasadas (\#) hasta fallar la estructura del pavimento}}$$

Las salidas anuales equivalentes se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Salidas Anuales equiv.} = \frac{\text{Salidas anuales (Ac)} * CDF \text{ de cada aeronave}}{CDF \text{ de la aeronave crítica}}$$

Donde:

Ac = Aeronave crítica.

En la siguiente tabla se muestra el valor del CDF obtenido de cada aeronave.

Tabla 69*CDF y salidas anuales equivalentes*

Aeronave	CDF	LOCKHEED L-100 Salidas Anuales Equiv.
ALENIA C-27 J SPARTAN	6.10E-03	3.62E-02
ANTONOV AN - 32	3.73E-03	2.22E-02
BEECH 200 SUPER KING AIR	4.44E-303	2.64E-302
CESSNA 208 CARAVAN	1.71E-301	1.02E-300
FOKKER 60	1.19E-04	7.09E-04
HARBIN Y-12	3.16E-303	1.87E-302
HAVILLAND CANADA DHC-6 TWIN OTTER	5.52E-303	3.28E-302
JETSTREAM 32	1.03E-05	6.09E-05
LOCKHEED L-100 HERCULES	5.05E-01	3.00E+00
TOTAL	0.51491	3.05917

Fuente: Elaboración propia.

Como el valor total del CDF calculado no es igual a 2 se realiza la siguiente modificación:

$$\text{Valor de modificación} = \frac{C}{TC} = \frac{P/TC}{CDF \text{ obtenido}} = \frac{2}{0.51491} = \mathbf{3.88417}$$

Después de haber obtenido el valor de modificación, se multiplica el mismo por cada número de pasadas en 20 años, se realiza para cada aeronave. Luego se vuelve a calcular el factor de daño acumulativo (CDF) y las salidas anuales equivalentes. Se presenta los resultados obtenidos en la siguiente tabla.

Tabla 70*CDF modificado y salidas anuales equivalentes*

Aeronave	# Pasadas en 20 años modificado	Pasadas hasta fallar la estructura del pavimento	CDF modificado	LOCKHEED L-100 Equiv. Salidas Anuales
ALENIA C-27 J SPARTAN	431.14	18205	0.0237	0.14
ANTONOV AN - 32	260.24	17947	0.0145	0.09
BEECH 200 SUPER KING AIR	174.79	1.0142321E+304	1.72E-302	1.02E-301
CESSNA 208 CARAVAN	6,731.27	1.0142321E+304	6.64E-301	3.94E-300
FOKKER 60	116.53	251443	0.0005	2.75E-03
HARBIN Y-12	124.29	1.0142E+304	1.23E-302	7.28E-302
HAVILLAND CANADA DHC-6 TWIN OTTER	217.51	1.0142E+304	2.14E-302	1.27E-301
JETSTREAM 32	5,037.77	126485612.7	0.0000	2.37E-04
LOCKHEED L-100 HERCULES	198.09	101	1.9613	11.65
		TOTAL	2.00000	11.88235

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se observa que el factor de daño acumulativo (CDF) es igual al $P/TC = 2$, eso quiere decir que ya se tiene las salidas anuales de cada aeronave equivalente a la aeronave crítica Lockheed L-100 Hercules.

Con todos los datos obtenidos se calcula el peso máximo permisible (MGW) de la aeronave Lockheed L-100 Hercules para este pavimento, los datos que ingresamos al software COMFAA 3.0 son los siguientes.

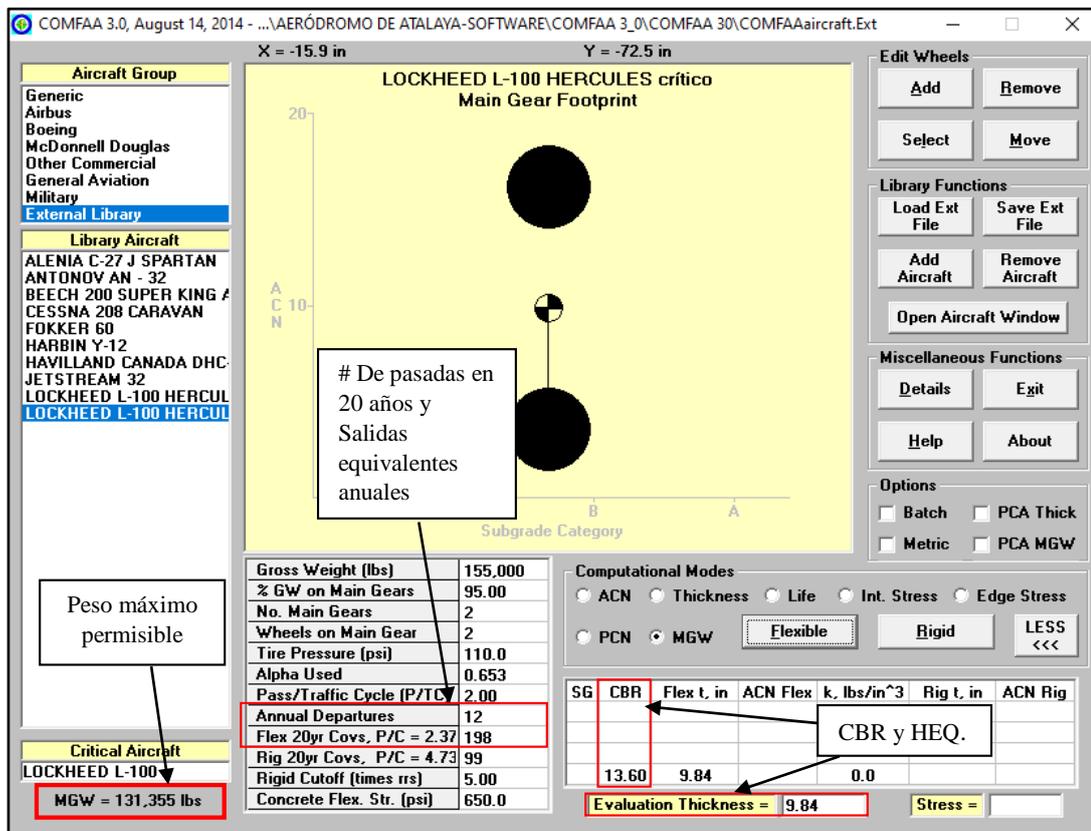
- Aeronave crítica: **Lockheed L-100 Hercules.**
- Espesor del pavimento equivalente: **25 cm = 9.843 in.**
- C.B.R. de la sub-rasante (HEQ): **13.60 %.**
- Presión de los neumáticos: **110 psi.**
- Porcentaje de peso sobre el tren principal: **95 %.**
- Número de pasadas en 20 años: **198.09 \equiv 198.**

- Salidas equivalentes anuales: $11.65 \approx 12$.

A continuación, se muestra el ingreso de todos los datos, ya mencionados, al software COMFAA 3.0.

Figura 60

Obtención del peso máximo permisible (MGW)



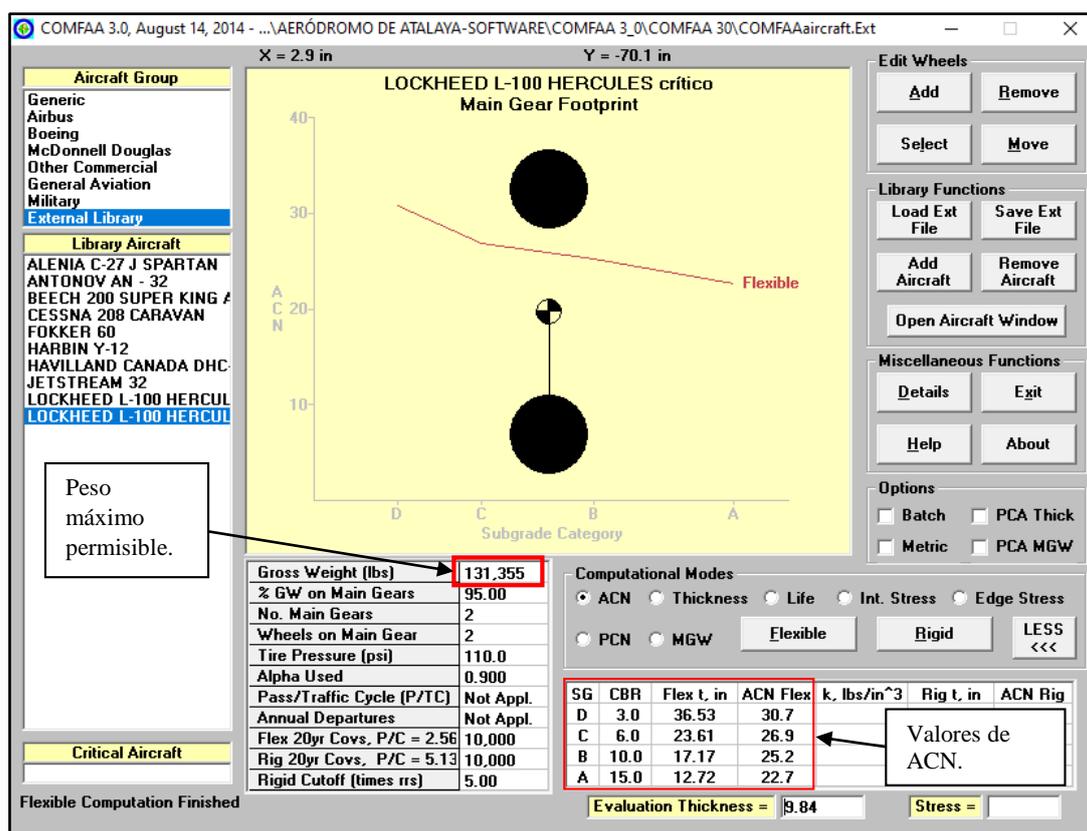
Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

De la figura anterior se puede ver que el peso máximo permisible (MGW) de la aeronave crítica es: **131 355 lbs.**

Se procedió a calcular el ACN colocando como dato de peso de la aeronave, el peso máximo permisible obteniendo lo siguiente:

Figura 61

ACN mediante el peso máximo permisible (MGW)



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

De la figura anterior se extrae los valores del ACN por cada CBR, en seguida se realiza la interpolación:

Tabla 71

Interpolación para la aeronave crítica Lockheed L-100 Hercules

Interpolación para la aeronave Lockheed L-100 Hercules	
CBR (%)	ACN
10	25.2
13.6	X
15	22.7

Fuente: Elaboración propia.

De la interpolación para la aeronave crítica Lockheed L-100 Hercules se obtiene el ACN para un C.B.R. de 13.6 %, el cual es:

$$\text{ACN} = 23.4$$

El ACN es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo como ACN el valor numérico de **23**.

5.1.3.2. Parámetros del Número Clasificador del Pavimento (PCN).

- El número clasificador del pavimento (PCN) que obtuvimos mediante el método de evaluación técnica es el valor número del ACN que se obtuvo para la aeronave crítica Lockheed L-100 Hercules el cual es: **23**.
- Toda el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya es de pavimento flexible por lo tanto se representa mediante la letra: **F**.
- El C.B.R. obtenido mediante la deflectometría y el modelo de Hogg es 13.6 % y según la tabla 2 (Rangos de la resistencia del terreno de fundación – Pavimento Flexible) la capacidad de soporte del suelo de apoyo es alta y se representa mediante el código: **A**.
- La mayor presión de los neumáticos de las aeronaves es 114 psi y según la tabla 4 (Codificación del nivel de presión en los neumáticos) esa presión de los neumáticos está limitada a 145 psi, por lo tanto, la categoría es baja y se codifica con la letra: **Y**.
- El método de evaluación es técnico porque se fundamenta en el tráfico de aeronaves, los espesores de la estructura del pavimento y el C.B.R. de la subrasante, por lo tanto, se codifica con la letra **T**.

Finalmente se obtiene el PCN mediante el método de evaluación técnica para el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya, el cual es:

23/F/A/Y/T

Se puede observar que el valor numérico del PCN obtenido mediante la evaluación técnica es menor al PCN establecido por CORPAC (Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación comercial) para el aeródromo de Atalaya tal como se comprobó mediante la prueba

de hipótesis de t de Student; además la codificación del nivel de presión de los neumáticos obtenida del método de evaluación técnica es diferente al establecido por CORPAC.

Tomando en cuenta las operaciones de sobrecarga según el apéndice D – Evaluación de la sobrecarga de pavimentos por el sistema ACN-PCN de la circular de asesoramiento (AC 150/5335-5C), para pavimentos flexibles el ACN de aeronaves con sobrecarga pueden ser hasta un 10 % > PCN, por lo tanto, el PCN para operaciones con sobrecarga es:

$$\text{PCN (sobrecarga)} = 23.4 * 1.10 = 25.74$$

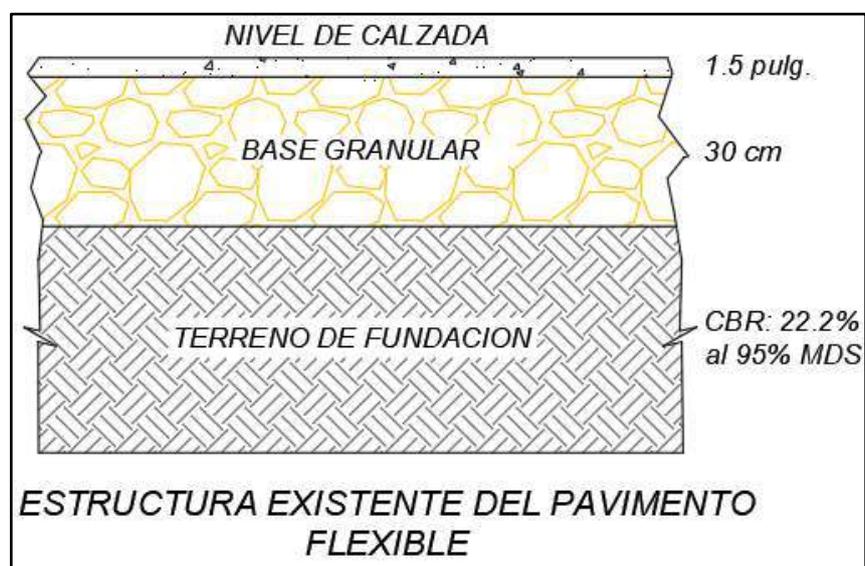
El PCN (sobrecarga) es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo el valor numérico de **26**.

5.2. Estructura Actual del Pavimento

Con todos los resultados obtenidos mediante la deflectometría, además, de que en la calicata N°01 se pudo observar el espesor de la carpeta asfáltica y de la base granular, con lo ya mencionado, se define la estructura del pavimento existente, el cual se observa en la siguiente figura.

Figura 62

Estructura actual del pavimento



Fuente: Elaboración propia.

5.3. Trabajos ingenieriles que se podrían realizar

Debido a los diferentes tipos de fallas encontrados en la pista de aterrizaje, calle de rodaje y plataforma con grados de severidad alta, media y baja según el Índice de Condición del Pavimento, así mismo, teniendo en cuenta los ensayos de deflectometría, cuyos resultados del PCN/ACN obtenido son inferiores al establecido por CORPAC, además el 67.14% del área total presenta falla por peladura con severidad media y alta, se recomienda ejecutar el mantenimiento del pavimento en casi su totalidad o en su defecto la reconstrucción total de la estructura del pavimento con la finalidad de mejorar la capacidad estructural.

5.3.1. Procedimiento Constructivo para la Reconstrucción

El procedimiento constructivo que se propone para la reconstrucción del pavimento de la pista de aterrizaje, calles de rodaje y plataforma del aeródromo de Atalaya es el que se detalla a continuación.

1. Corte del área a reconstruir de la actual carpeta asfáltica.
2. Remoción o eliminación del volumen cortado de la carpeta asfáltica.
3. Escarificado y remoción de la base granular existente.
4. Perfilado y compactación de la zona de corte a nivel de subrasante.
5. Colocación de la nueva base granular.
6. Imprimación asfáltica.
7. Colocación de la nueva carpeta asfáltica.

CONCLUSIONES

Con todo lo desarrollado para la presente investigación se expone las siguientes conclusiones:

1. Se rechaza la primera hipótesis específica porque el PCI del pavimento no se encuentra en un estado Colapsado ($PCI \leq 10$).
2. Se evaluó todas las muestras del pavimento aeroportuario teniendo en total 121 Unidades de Muestreo, donde se obtuvo un PCI promedio de 21.56, con un rango de clasificación MUY MALO.
3. En la pista de aterrizaje se evaluó 101 Unidades de Muestreo, donde se obtuvo un PCI promedio de 19.36, con un rango de clasificación MUY MALO. Esto se debe a que predomina las fallas tipo parcheo y peladura con severidad alta.
4. En la calle de rodaje se evaluó 04 Unidades de Muestreo, donde se obtuvo un PCI promedio de 32.08, con un rango de clasificación MALO. Esto se debe a que en toda el área de la calle de rodaje predomina la falla tipo peladura con severidad media/alta.
5. En la plataforma se evaluó 16 Unidades de Muestreo, donde se obtuvo un PCI promedio de 32.82, con un rango de clasificación MALO. Esto se debe a que en toda el área de la plataforma predomina la falla tipo peladura con severidad media/alta.
6. Las fallas más comunes de las 121 unidades de muestreo evaluadas en el pavimento flexible son: **Peladura y efecto de la intemperie** causado por el desprendimiento de agregados y pérdida de la capacidad ligante del asfalto, **parcheo** originado por el reemplazo de pavimento, **piel de cocodrilo** a causa de las tensiones y deformación por efecto de la carga transmitidas por las ruedas de la aeronave, **Ahuellamiento** producido por la depresión de la superficie del

pavimento en la zona de tránsito de los aeronaves debido a que la capa de subrasante se deformó, **depresión** es causado por el asentamiento del terreno de fundación y **grietas longitudinales y transversales** originado por fallas en las fajas constructivas de la pavimentación, contracción de las superficie de asfalto debido a los cambios de temperatura.

7. El material predominante encontrado en el terreno de fundación son las arcillas de baja plasticidad (CL) con presencia de arenas mal graduadas y arenas arcillosas (SP-SC), con humedades naturales entre 18.73 % y 20.38 %, siendo estas mayores a la humedad óptima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado cuyos rangos se encuentran entre 8.40 % y 11.20 %.
8. Se acepta la segunda hipótesis específica porque además de la comprobación de la hipótesis mediante el modelo de distribución normal, se ha demostrado que el promedio de los resultados del C.B.R. (California Bearing Ratio) obtenido mediante las deflexiones y el modelo de Hogg es de 13.6 %, por lo tanto según los rangos de resistencia del terreno de fundación para pavimento flexible que señala la Administración Federal de Aviación (FAA) nos indica que el suelo de la sub-rasante del área de movimiento de aeronaves se encuentra en una categoría alta de resistencia de suelo.
9. Se rechaza parcialmente la tercera hipótesis específica, pues que, se ha demostrado que el valor numérico y la presión de los neumáticos del PCN (Número Clasificador de Pavimento) obtenido mediante evaluación técnica no son iguales a los parámetros del PCN que fue establecido por CORPAC para el aeródromo de Atalaya. El PCN obtenido y el PCN establecido por CORPAC se muestra a continuación:

Tabla 72*PCN obtenido y el establecido por CORPAC*

Parámetros	PCN obtenido	PCN establecido por CORPAC
Valor numérico	23	27
Tipo de pavimento	F	F
Capacidad de soporte del suelo	A	A
Presión en los neumáticos	Y	X
Método de evaluación	T	T

Fuente: Elaboración propia.

10. Se concluye que el origen de las fallas es porque la pavimentación cumplió con su vida útil (en total tiene 29 años desde su construcción) y no se realizan mantenimientos periódicamente, el último realizado fue en el año 2010, además de que según la evaluación estructural, la subrasante tiene un CBR de 13.6 % el cual indica que con lo justo alcanza una categoría de resistencia alta, sin embargo, con el transcurso de los años y el incremento del tráfico aéreo, el CBR pasará a estar en una categoría de resistencia mediana o baja; para la exploración geotécnica se realizaron 5 calicatas donde se encontraron variaciones en los espesores de los estratos de cada tipo de suelo. Se debe recalcar que por motivos de estricta seguridad la administración del aeródromo no autorizó la excavación de calicatas en la pavimentación efectuándose las mismas en los bordes externos, además de que no se tiene los datos de diseño de la estructura del pavimento de aquel tiempo, por lo mencionado anteriormente es esencial tener en cuenta las limitaciones para determinar la estructura del pavimento, sin embargo mediante las deflexiones y la metodología de Hogg se determinó un espesor de base equivalente (HEQ) de 24.82 cm.

RECOMENDACIONES

Con todo lo desarrollado para la presente investigación se formula las siguientes recomendaciones:

1. Se recomienda realizar trabajos de mejoramiento del espesor de la carpeta asfáltica porque ha sufrido el desgaste generado en el transcurso de los años por el tráfico de aeronaves, así mismo, rediseñar toda la estructura del pavimento, considerando como mínimo, un espesor de carpeta asfáltica de 4" (10 cm).
2. Se sugiere a la Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial S.A. (CORPAC) y al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) tomar en cuenta los resultados de la presente tesis porque de acuerdo los resultados del Índice de Condición del Pavimento (PCI) el pavimento está en su mayoría en estado muy malo.
3. El presente trabajo de investigación servirá como referente para la evaluación del mantenimiento y/o reparación del pavimento aeroportuario con la finalidad de ampliar su vida útil o mejorar la capacidad estructural.
4. Se recomienda realizar más investigaciones sobre deflectometría en pavimentos aeroportuarios de la región Ucayali y de todo el Perú para poder estimar la deflexión máxima admisible en pavimentos aeroportuarios, así como se tiene la deflexión máxima en pavimentos de carreteras.
5. Se recomienda que se determinen las deflexiones mediante equipos dinámicos tales como el deflectómetro de peso ligero (LWD – Light Weight Deflectometer) o el deflectómetro de caída de peso (FWD – Falling Weight Deflectometer) y a la vez comparar la variación de las deflexiones obtenidas mediante la Viga Benkelman en pavimentos aeroportuarios.

6. Al tener la Aeronave Lockheed C-130 Hercules un ACN de 28 y siendo este mayor al PCN (sobrecarga) de 26, se recomienda la restricción de sus operaciones en el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya, porque no es el adecuado para la operación de ese tipo de aeronave lo que ocasiona que la vida útil del pavimento disminuya.
7. Se recomienda a la Municipalidad de Atalaya que gestione ante las autoridades pertinentes el proyecto de ampliación integral para el aeródromo de Atalaya.
8. Se recomienda tomar en cuenta nuestra investigación para los aeródromos de la región Ucayali que sean de pavimento flexible en su área de movimiento de aeronaves, además, sugerimos que las futuras investigaciones en aeródromos sean realizadas en aquellos que su área de movimiento de aeronaves sea no pavimentada, en otras palabras, que sea afirmado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administración Federal De Aviación (FAA). (2019). *Guía para recolectar, aplicar y mantener datos de condición de los pavimentos en Aeropuertos. [versión electrónica]*. Washintong DC, EU. Obtenido de: https://www.nap.edu/resource/25566/ACRP%20Report%2020203_spanish.pdf
- Advisory Circular (11 de octubre de 2016). *Airport Pavement Design and Evaluation*. Obtenido de: https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/150-5320-6f.pdf
- ASTM D5340-20. (2020). *Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys*. Obtenido de: <https://www.astm.org/d5340-20.html>
- Belmar M. (2013). Tema 2. *Concepto de aeropuerto*. [Blog Universitat Politècnica de Valencia]. Obtenido de: <https://ingenieriaaeroportuaria.blogs.upv.es/2013/02/08/tema-2-concepto-de-aeropuerto/>
- Benites Ascate, D. J. y Castillo Blas, A. P. (2020) *Investigación del índice de condición de pavimento flexible en la Av. San Luis, distrito de Viru – La Libertad 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Obtenido de: <https://keystonerealestateproperties.com/216016562-Investigacion-del-indice-decondicion-de-pavimento-flexible-en-la-av-san-luis-distrito-de-viru-provincia-de-viru-lalibertad-2019.html>
- Cano Lechón, J. A. (2017) *Gestión de pavimentos de aeropuertos mediante indicadores de fisuración superficial* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. Obtenido de: https://oa.upm.es/52690/1/TFM_ABEL_CANO_LECHON.pdf
- Coaquira Supo, W. L. y Coanza Huarachi, B. (2020) *Diseño de pavimentos de la pista de aterrizaje del aeropuerto internacional de la Joya* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. Obtenido de:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/11353/ICcohub%26cosuwl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

García Pérez L. y Quevedo Sotolongo, G. (2008). *Interpretación geotécnica del método ACN – PCN. Revista de la Construcción. Volumen 7*. Obtenido de: <https://docplayer.es/77653361-Interpretacion-geotecnica-del-metodo-acn-pcn.html>

García Silva, H. W. (2011) *Estudio de ingeniería mejoramiento del aeródromo de Breu - Ucayali* [Tesis de pregrado, Ricardo Palma]. Obtenido de: http://repositorio.urp.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/URP/2154/silva_hw.pdf

Guzmán D. y Ulloa J. (2015). *Evaluación estructural, superficial y funcional del pavimento de la pista principal aeropuerto de Pisco: Renan Elias Olivera. (Tesis de pregrado)*. Obtenido de: https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2215/guzman_dj-ulloa_cj.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Hernández R. (2010). *Metodología de la investigación. Quinta edición*. CD. México, México: Editorial MC Graw Hill.

Leguía Loarte, P. B. y Pacheco Risco, H. F. (2016) *Evaluación superficial del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima)* [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres]. Obtenido de: <https://hdl.handle.net/20.500.12727/2311>

Llosa Grau, J. (2006) *Propuesta alternativa para la distribución racional del presupuesto anual municipal para el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos (aplicación: Municipio de La Molina)* [Proyecto profesional, Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas]. Obtenido de: <http://hdl.handle.net/10757/273573>

Martínez Fajardo, W. y Moyano Buitrago, C. A. (2014) *Evaluación estructural del pavimento en las plataformas norte y sur del aeropuerto internacional El Dorado* [Tesis de grado,

- Universidad Católica de Colombia]. Obtenido de:
[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2571/1/Evaluaci%
 c3%b3n-estructural-pavimento-plataformas-norte-y-sur-El-Dorado.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2571/1/Evaluaci%c3%b3n-estructural-pavimento-plataformas-norte-y-sur-El-Dorado.pdf)
- Martínez Ismodes, J. C. y Ventocilla Alva, J. C. (2009) *Rehabilitación de pavimentos del aeropuerto del cusco usando modificadores de asfalto* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Obtenido de: <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/114>
- Muñoz Salazar, L. A. (2018) *Evaluación superficial del pavimento flexible del tramo 3 de la carretera interoceánica norte Perú – Brasil aplicando el método PCI* [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Privada del Norte]. Obtenido de:
<https://docplayer.es/134846618-Facultad-de-ingenieria.html>
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2016). *Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional - Aeródromos*. Obtenido de:
<https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/anexos-oaci/anexo-14-vol-i.pdf>
- Pernús Santiago, L. D. (2016) *Evaluación de la pista de la pista aérea del aeropuerto internacional “Abel Santamaría” de la ciudad de Santa Clara empleando el método ACN-PCN* [Tesis de pregrado, Universidad Central Marta Abreu de las Villas]. Obtenido de:
[https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7106/2016_Pern%
 c3%bas%2cLuis%20Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7106/2016_Pern%20Luis%20Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Regulaciones Aeronáuticas del Perú. (2018) *Aeródromos. Diseño y operaciones de aeródromos. Volumen I*. Obtenido de:
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/390298/Texto%20de%20Regulaci%C3%B3n%20Volumen%20I%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20Operaciones%20de%20Aer%C3%B3dromos.pdf>

Román W. G. (2018). *Pautas para elaborar proyecto de tesis y trabajos de investigación en ingeniería*. Lima, Perú: Editorial San Marcos.

Sachiko. Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (12 de marzo de 2016).

Glossary-Aircraft. Obtenido de:

<https://www.icao.int/cybersecurity/Lists/Glossary/DispForm.aspx?ID=9&ContentTypeId=0x0100E07A723B0BB568479D83EC18DA93FBCE>

Siviruro Enriquez, D. A. (2019) *Relación entre el diseño estructural de pavimentos aeroportuarios y el costo – efectividad de construcción* [Tesis de pregrado, Universidad

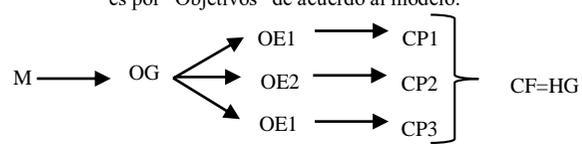
Peruana Los Andes]. Obtenido de:

<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/925>

Vásquez Varela, L. R. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos de concreto en carreteras*. Ingepav. Ingeniería de pavimentos. Obtenido de:

<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTO	METODOLOGÍA
<p>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cuál es la evaluación de la condición estructural y superficial del pavimento del área de movimiento de aeronaves del Aeródromo de Atalaya, localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Ucayali, en relación a las normas establecidas por la FAA y OACI?</p> <p>FORMULACIÓN DE PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son los tipos de fallas que influyen en la condición superficial del pavimento? • ¿Cuánto será el C.B.R. (California Bearing Ratio) obtenido por la deflectometría y en que categoría de resistencia de suelo se encontrará? • ¿Cuál será el PCN (Número Clasificador de Pavimento) mediante la metodología del Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C? 	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar la condición estructural y superficial del pavimento asfáltico del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya y verificar si cumple con las normas establecidas por la FAA y OACI.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los tipos de fallas que influyen en la condición superficial del pavimento del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya, localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Atalaya en la región de Ucayali. • Determinar la deflectometría del pavimento asfáltico mediante el ensayo con la Viga Benkelman; y el C.B.R. (California Bearing Ratio) por medio de la deflectometría y el modelo de Hogg. • Determinar el PCN (Número Clasificador de Pavimento) siguiendo la metodología del Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C. 	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Los parámetros de la condición estructural y superficial del pavimento asfáltico del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya, localizado en el distrito de Antonio Raymondi, provincia de Atalaya en la región de Ucayali, están dentro de los parámetros que exige las normas establecidas por la Administración Federal de Aviación (FAA) y Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las fallas encontradas demuestran una condición superficial del pavimento colapsado ($PCI \leq 10$) en el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya. • El C.B.R. (California Bearing Ratio) de la subrasante obtenido mediante la deflectometría y el modelo de Hogg se encuentra en una categoría de resistencia de suelo alta (C.B.R. ≥ 13 %). • El PCN (Número Clasificador de Pavimento) obtenido mediante el Circular de Asesoramiento N° 150/5335-5C es igual al PCN: 27/F/A/X/T que fue establecido por CORPAC (Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación comercial) para el aeródromo de Atalaya. 	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variable Independiente de Hipótesis específica 1: Los tipos de fallas encontradas. • Variable Independiente de Hipótesis específica 2: Deflectometría. • Variable Independiente de Hipótesis específica 3: Tráfico de Aeronaves. <p>VARIABLE DEPENDIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variable Dependiente de Hipótesis específica 1: Índice de condición de pavimento en aeropuertos (PCI). • Variable Dependiente de Hipótesis específica 2: El C.B.R. (California Bearing Ratio). • Variable Dependiente de Hipótesis específica 3: PCN (Número Clasificador de Pavimento). 	<p>INDICADORES</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ PCI. ✚ Severidad, largo, ancho y profundidad por cada tipo de falla. ✚ Deflexiones. ✚ Aeronaves. ✚ C.B.R. ✚ PCN. 	<p>INSTRUMENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ Procedimiento para la identificación de fallas. ✚ Procedimiento para la obtención de las deflexiones mediante el ensayo con Viga Benkelman. ✚ Procedimiento para la obtención del PCN / ACN (Condición estructural del pavimento) 	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> • De acuerdo al fin que se persigue la presente investigación es aplicada, porque se busca conocer el estado superficial y estructural actual del pavimento del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya y además se desarrolla mediante la aplicación del conocimiento que se tiene sobre pavimentos aeroportuarios. • De acuerdo a los tipos de datos analizados la investigación es cuantitativa, porque se realiza la recolección y análisis de datos numéricos de cada una de las fallas encontradas y de las deflexiones del pavimento que se obtienen mediante el ensayo de deflectometría con Viga Benkelman. • De acuerdo a la metodología para demostrar la hipótesis la investigación es no experimental de tipo transversal, porque las mediciones de las fallas y las deflexiones del pavimento se realizan en una sola ocasión. <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descriptiva. La investigación es descriptiva porque se analizan las fallas superficiales del pavimento para conocer el PCI del pavimento aeroportuario y las deflexiones del pavimento para obtener el CBR y PCN del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya. • Explicativo. La investigación es de nivel explicativo debido a que se determina como las deflexiones del pavimento influyen en la determinación del CBR del suelo de fundación y el PCN del pavimento del área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya. <p>POBLACIÓN</p> <p>La población son todas las áreas de movimiento de aeronaves de los aeródromos del departamento de Ucayali.</p> <p>MUESTRA</p> <p>Nuestra muestra es el área de movimiento de aeronaves del aeródromo de Atalaya.</p> <p>MODELO MATEMÁTICO DE DISEÑO</p> <p>El diseño de la investigación conforme a los resultados que se obtienen es por "Objetivos" de acuerdo al modelo:</p>  <pre> graph LR M --> OG OG --> OE1_1[OE1] OG --> OE2[OE2] OG --> OE1_2[OE1] OE1_1 --> CP1[CP1] OE2 --> CP2[CP2] OE1_2 --> CP3[CP3] CP1 --> CF[CF=HG] CP2 --> CF CP3 --> CF </pre>

ANEXOS

Anexo N° 01

Memoria de cálculo de cálculo del PCI (Indicé de Condición del Pavimento) con la norma ASTM D5340 de la Unidad de Muestreo – 01

De la inspección visual de la UM-01 se obtuvieron los siguientes resultados de largo y ancho de cada falla, con estos resultados se calcula el sub-total que depende de la unidad de medida, para unidades de área se multiplica, y para unidades de longitud solo se copia el mismo valor de ancho o largo:

Tabla 73

Datos de campo – UM 01

UM - 01				
Inventario de Fallas Existentes				
Daño	Severidad	Medidas		Sub-Total
		Largo	Ancho	
8	M	-	15.33	15.33
1	L	30.00	15.00	450.00
13	M	30.00	1.50	45.00
5	M	3.40	3.60	12.24

Fuente: Elaboración propia.

En la presente UM-01 se tienen 4 diferentes tipos de fallas con su respectiva severidad que se digitaron según lo obtenido en campo y en el orden que se encontró, para mayor practicidad al procesar los datos se recomienda ordenarlo de menor a mayor según la numeración del tipo de daño.

Tabla 74*Datos de campo ordenados – UM 01*

UM 01				
Inventario de Fallas Existentes				
Daño	Severidad	Medidas		Sub-Total
		Largo	Ancho	
1	L	30.00	15.00	450.00
5	M	3.40	3.60	12.24
8	M	-	15.33	15.33
13	M	30.00	1.50	45.00

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo de la densidad del daño**

A continuación, se calcula las densidades de cada falla con respecto al área total de la unidad de muestreo, para ello se utilizó la siguiente fórmula:

$$\delta = \frac{ST}{T}$$

Donde:

$\bar{\delta}$ = Densidad de cada falla.

ST = Sub-total de cada falla.

T = Área total de la unidad de muestreo.

$$\delta_{1-L} = \frac{450}{450} = \mathbf{100\%}$$

$$\delta_{5-M} = \frac{12.24}{450} = \mathbf{2.72\%}$$

$$\delta_{8-M} = \frac{15.33}{450} = \mathbf{3.41\%}$$

$$\delta_{13-M} = \frac{45}{450} = \mathbf{10\%}$$

Tabla 75

Densidad del daño – UM 01

UM 01				
Densidad del Daño				
Daño	Severidad	Sub-Total	Total	Densidad
1	L	450.00	450.00	100.00%
5	M	12.24	450.00	2.72%
8	M	15.33	450.00	3.41%
13	M	45.00	450.00	10.00%

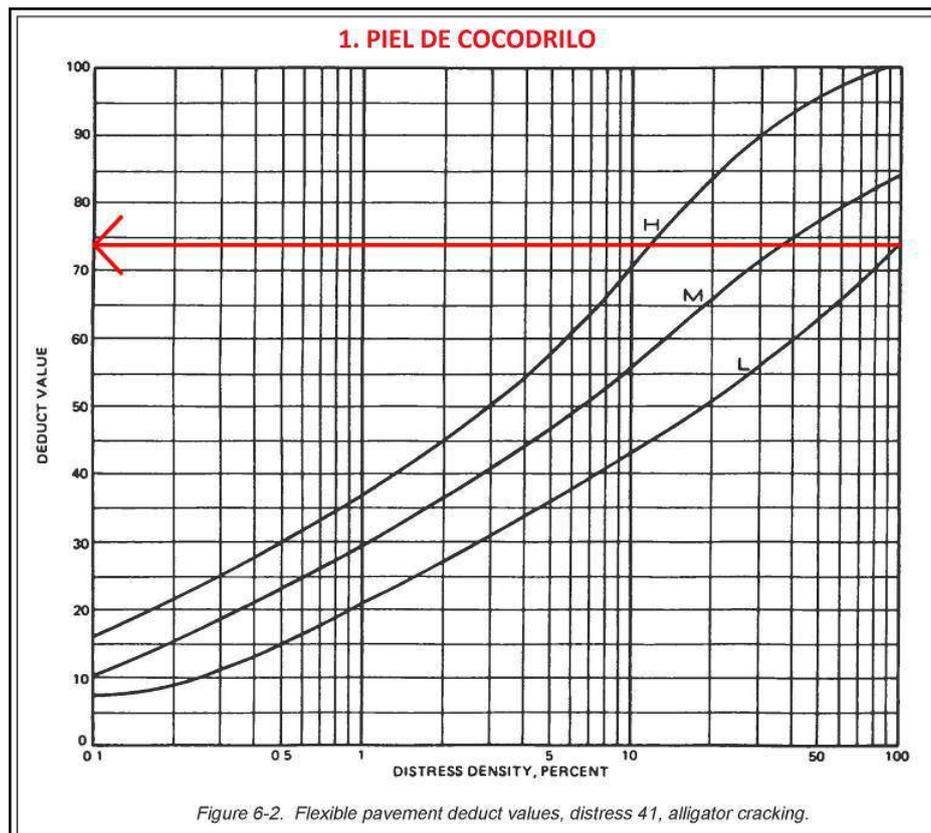
Fuente: Elaboración propia.

- **Determinar el valor deducido (VD)**

Mediante el uso de nomogramas se determina el valor deducido de daño relacionando el tipo de falla, severidad y su densidad, para su mayor precisión se utilizó el software Autocad.

Figura 63

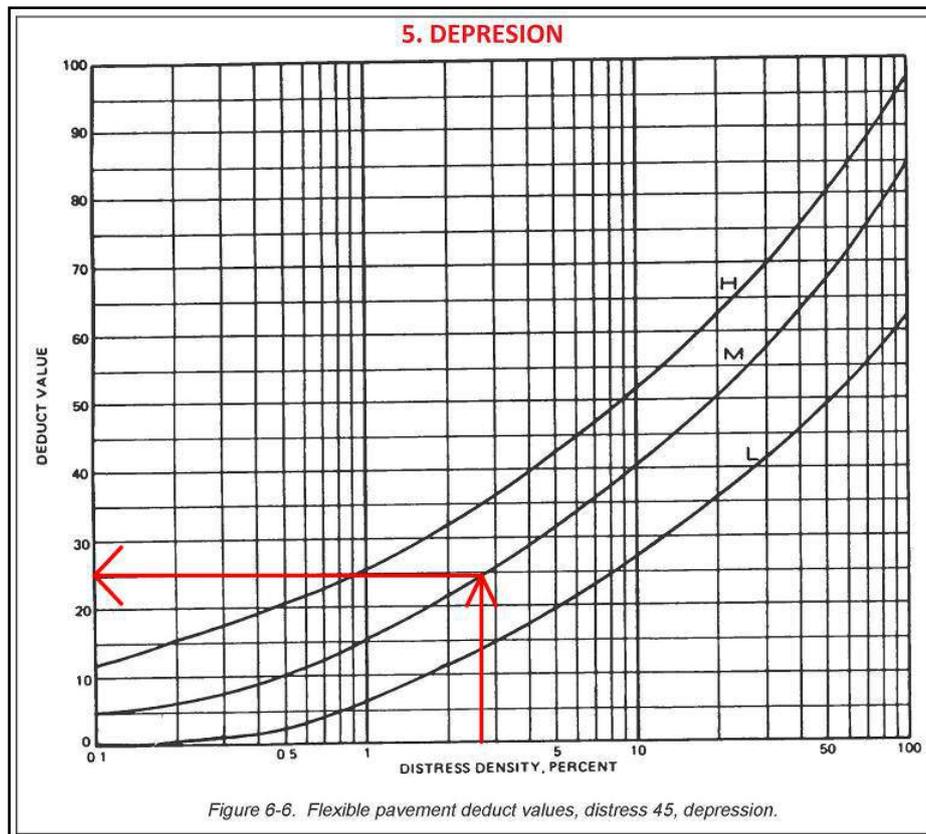
Nomograma de la falla 1-Piel de cocodrilo



Fuente: Elaboración propia - Norma ASTM D-5340.

Figura 64

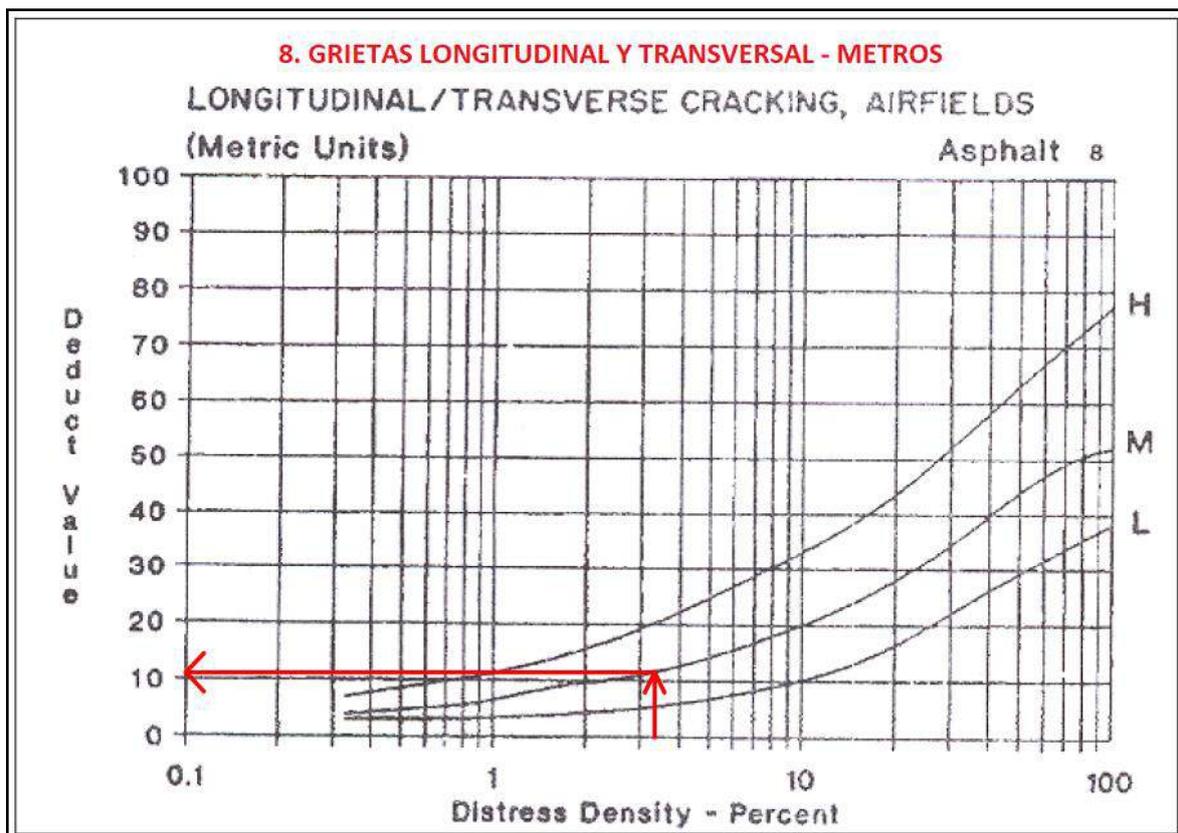
Nomograma de la falla 5-Depresión



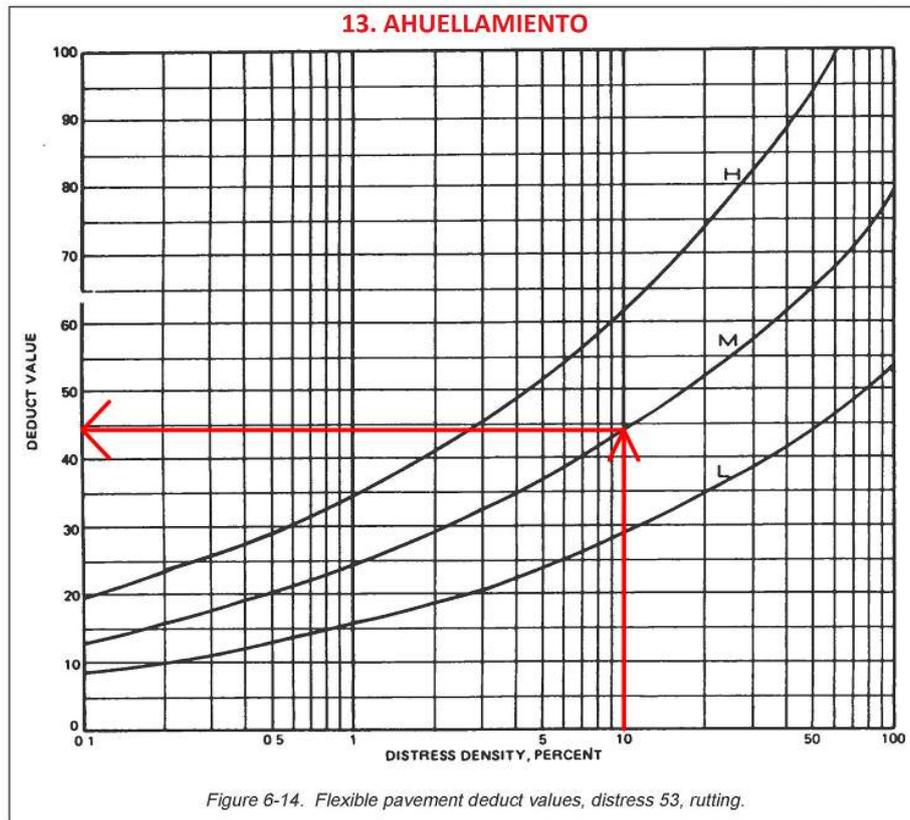
Fuente: Elaboración propia - Norma ASTM D-5340.

Figura 65

Nomograma de la falla 8-Grietas longitudinales y transversales



Fuente: Elaboración propia - Norma ASTM D-5340.

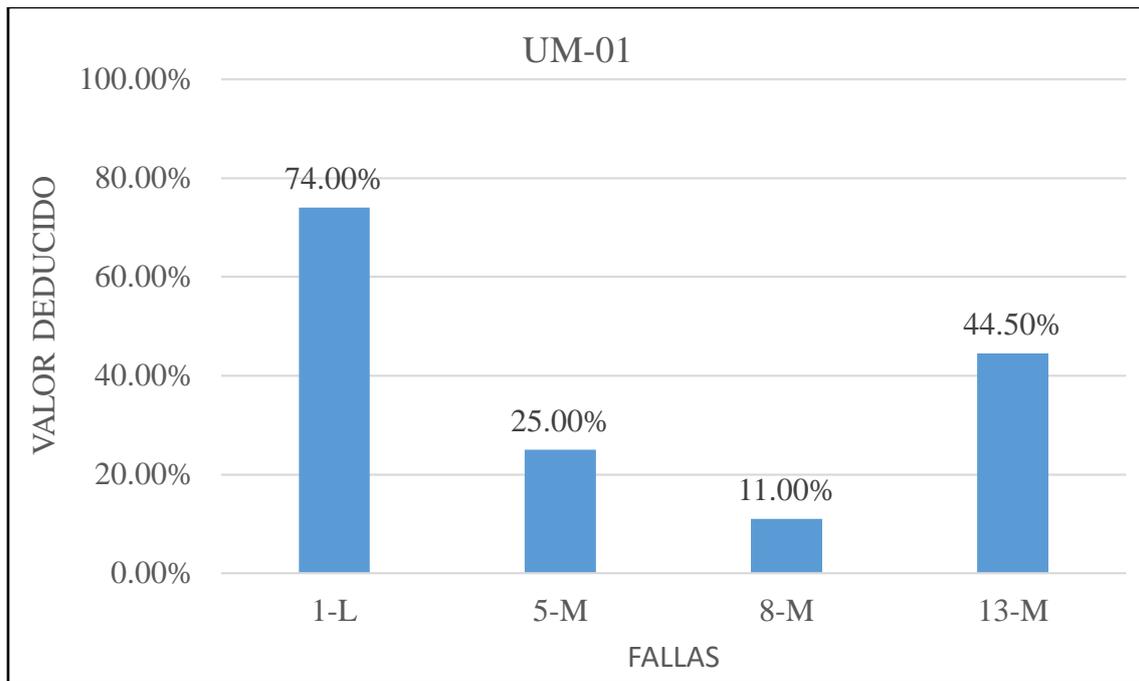
Figura 66*Nomograma de la falla 13-Ahuellamiento***Fuente:** Elaboración propia - Norma ASTM D-5340.**Tabla 76***Valor deducido de daño – UM 01*

UM 01			
Valor Deducido			
Daño	Severidad	Densidad	Valor Deducido
1	L	100.00%	74.00
5	M	2.72%	25.00
8	M	3.41%	11.00
13	M	10.00%	44.50

Fuente: Elaboración propia.

Figura 67

Valor deducido de daño – UM 01



Fuente: Elaboración propia.

De los resultados se conoce que el mayor valor deducido individual (HDV) es **74.00**.

- **Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)**

El número máximo admisible de valores deducidos es la cantidad que se puede analizar de los valores deducidos previamente analizados, en la presente UM-01 se tienen 4 valores deducidos. A continuación, se muestra la fórmula del número máximo admisible según la norma ASTM D-5340:

$$m = 1.00 + \frac{9}{95} (100 - HDV)$$

Donde:

m = Número máximo admisible de valores deducidos.

HDV = Mayor valor deducido individual.

$$m = 1.00 + \frac{9}{95} (100 - 74.00) = \mathbf{3.46}$$

El resultado quiere decir que se tendrá 3 valores enteros al 100% y 46% del último valor de lo VDs.

A continuación, se muestra los VDs ordenados de mayor a menor multiplicándolos por el porcentaje que le corresponde.

Tabla 77

Número máximo admisible de valores deducidos – UM 01

UM 01				
Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m)				
Daño	Severidad	Valor Deducido	Porcentaje	Valor Deducido Final
1	L	74.00	100.00%	74.00
5	M	25.00	100.00%	25.00
8	M	11.00	100.00%	11.00
13	M	44.50	46.00%	20.47

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo del valor deducido corregido (CDV)**

Si solo uno o ninguno de los VDs finales es mayor que 5, se usará la suma total de los VDs finales en lugar del máximo CDV. En este caso no corresponde lo anterior por lo tanto se realiza lo siguiente:

- Sumar la cantidad de VDs finales que sean mayores que 5, este valor será “q”.
- Sumar los valores de los VDs finales, este valor será el Valor Deducido Total.
- De los valores anteriormente encontrados se usará el nomograma para el cálculo del CDV.
- Después el último o menor valor (que sea mayor que 5) se reemplazará por el número 5.
- Y se repite el primer paso donde se calcula el nuevo valor de “q” y seguimos con la iteración hasta que solo quede un único valor deducido mayor que 5 y “q” sea igual a 1.

A continuación, se tiene la tabla N° 78 donde se muestra las iteraciones:

Tabla 78

Iteraciones para el cálculo del valor deducido total y "q" - UM 01

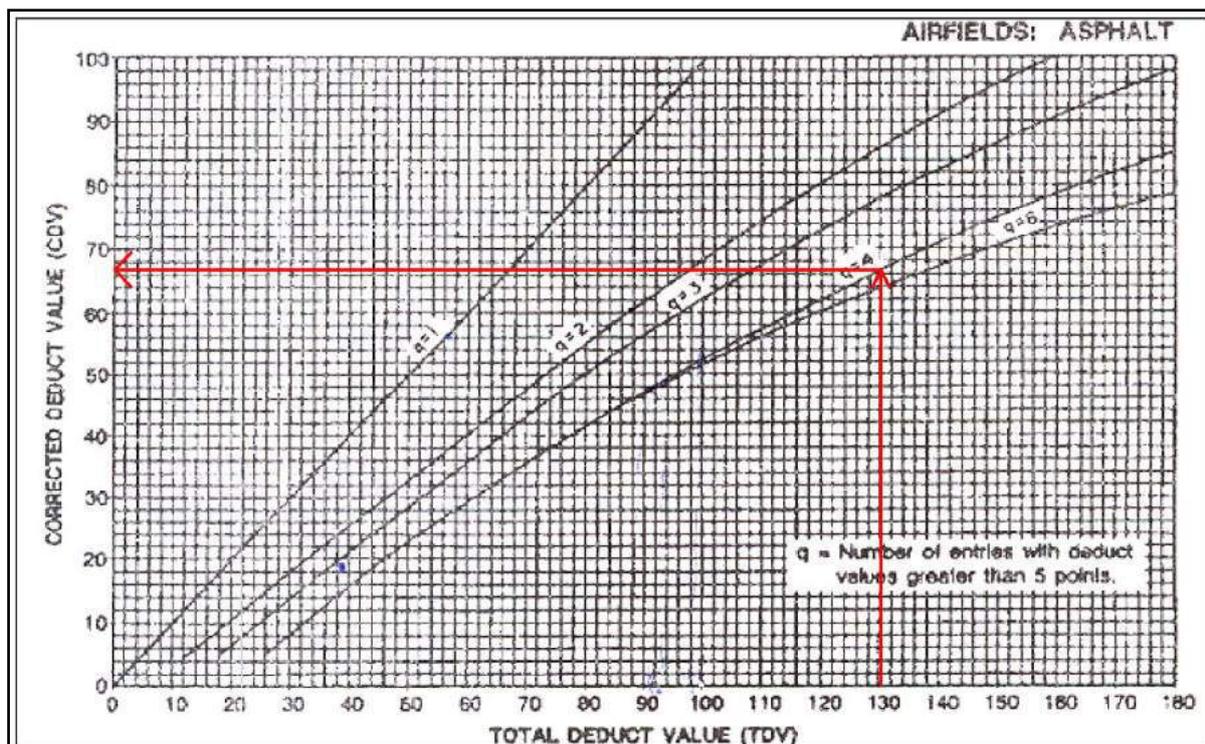
UM 01						
Iteraciones para el cálculo del Valor Deducido Total y "q"						
N°	Valor Deducido Final				Valor Deducido Total	q
1	74.00	25.00	11.00	20.47	130.47	4
2	74.00	25.00	11.00	5.00	115.00	3
3	74.00	25.00	5.00	5.00	109.00	2
4	74.00	5.00	5.00	5.00	89.00	1

Fuente: Elaboración propia.

Posterior se calcula el CDV mediante el uso del nomograma.

Figura 68

Valor deducido corregido (1) – UM 01

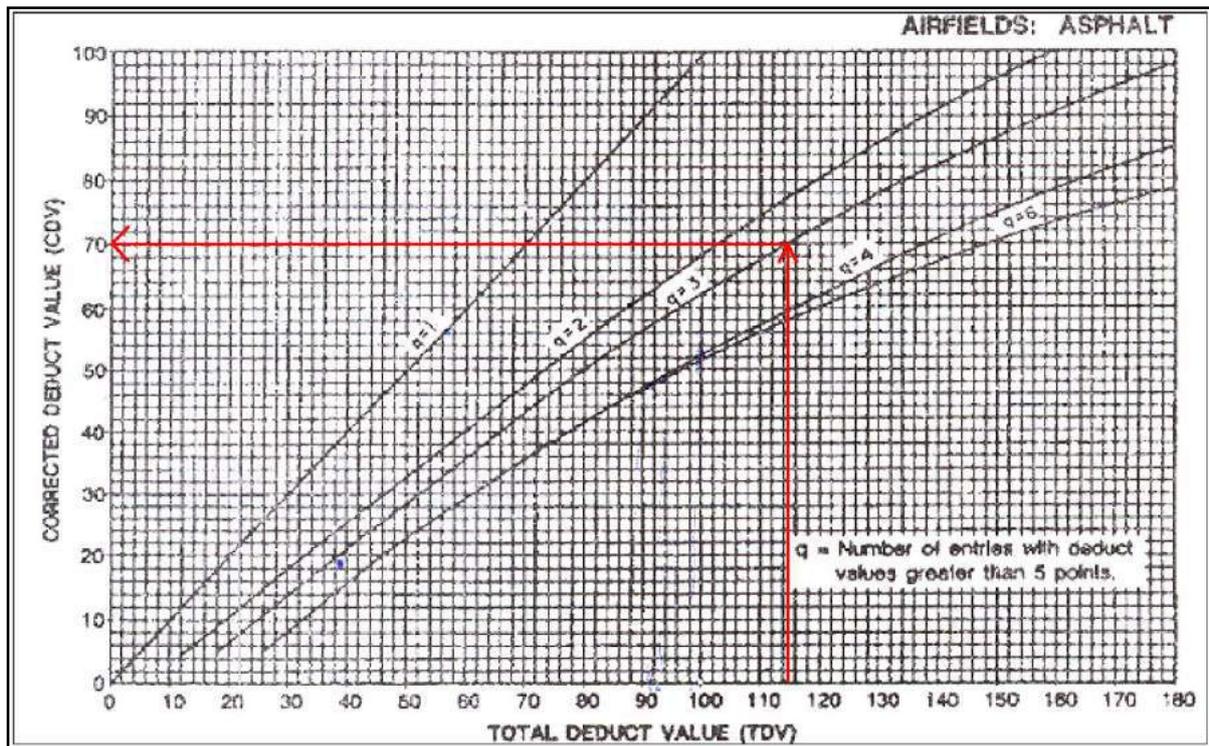


Fuente: Elaboración propia - Norma ASTM D-5340.

Para el valor deducido total 130.47 y "q" igual a 4, se encontró el CDV igual a 67.00.

Figura 69

Valor deducido corregido (2) – UM 01

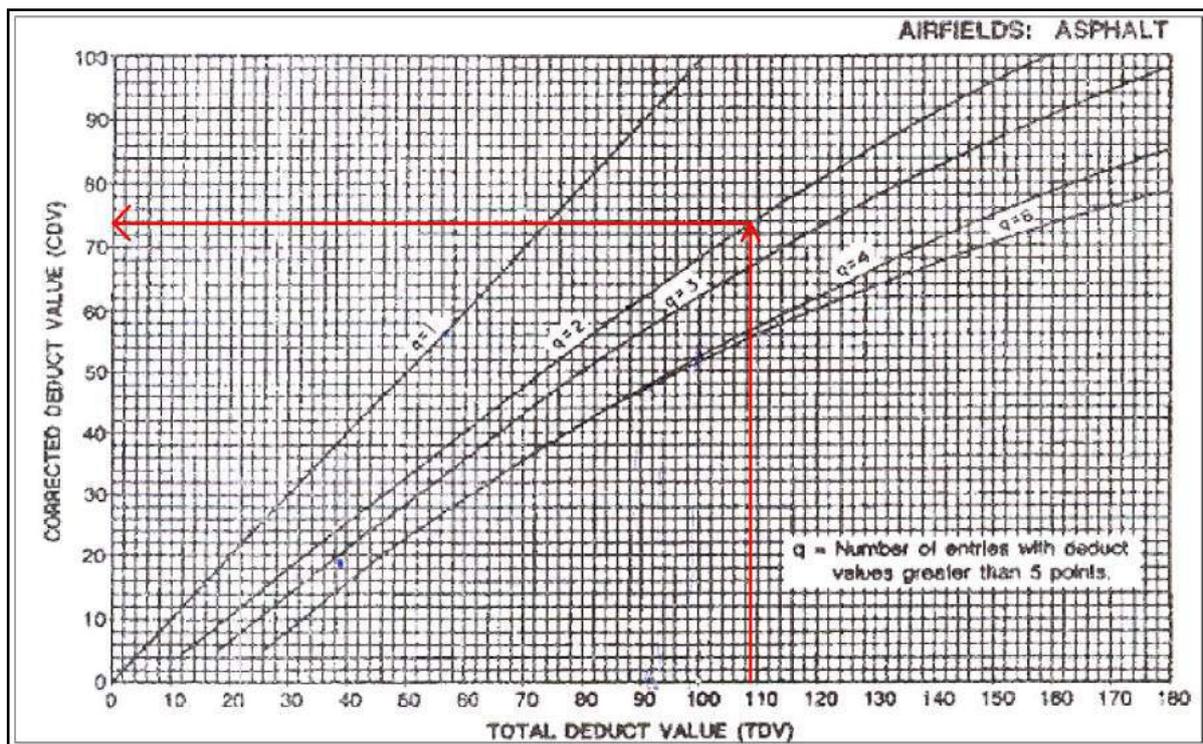


Fuente: Elaboración propia - Norma ASTM D-5340.

Para el valor deducido total 115.00 y "q" igual a 3, se encontró el CDV igual a 70.00.

Figura 70

Valor deducido corregido (3) – UM 01

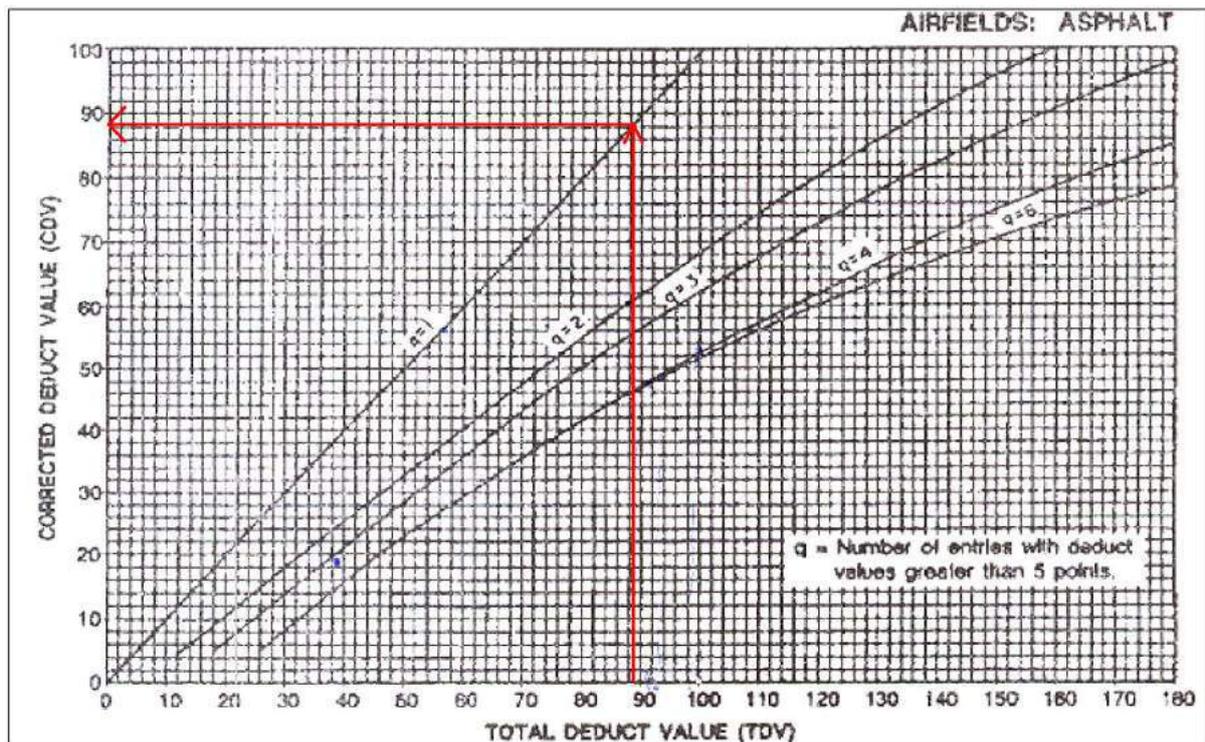


Fuente: Elaboración propia - Norma ASTM D-5340.

Para el valor deducido total 109.00 y "q" igual a 2, se encontró el CDV igual a 74.00.

Figura 71

Valor deducido corregido (4) – UM 01



Fuente: Elaboración propia - Norma ASTM D-5340.

Para el valor deducido total 89.00 y “q” igual a 1, se encontró el CDV igual a 88.50.

Se obtuvo el siguiente resumen de Valores Deducidos Corregidos (CDVs).

Tabla 79

Valores deducidos corregidos - UM 01

UM 01			
Valor Deducido Corregido			
N°	Valor Deducido Total	q	CDV
1	130.47	4	67.00
2	115.00	3	70.00
3	109.00	2	74.00
4	89.00	1	88.50

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo del Índice de Condición del Pavimento (PCI)**

El cálculo del PCI se realiza con la siguiente fórmula:

$$PCI = 100 - \text{max. } CDV$$

Donde:

PCI = Índice de Condición del Pavimento.

max. CDV = Máximo Valor Deducido Corregido.

$$PCI = 100 - 88.50 = \mathbf{11.50}$$

Este resultado se clasifica como **Muy Malo**.

Para todas las Unidades de Muestreo se realizó el mismo procedimiento de cálculo.

Anexo N° 02

Memoria de cálculo del ensayo de deflectometría y determinación de los parámetros del modelo matemático de Hogg del punto ensayado en la progresiva Km. 0+040.00 ubicado al lado derecho de la pista de aterrizaje.

Tabla 80

Datos de campo Km. 0+040 – Lado derecho (Pista de aterrizaje)

Datos de campo Km. 0+040 – Lado derecho (Pista de aterrizaje).								
Lecturas de campo (10^{-2} mm)						Espesor de asfalto (cm)	Temp. Amb. (°C)	Temp. Asfalto (°C)
L₀	L₂₅	L₅₀	L₇₅	L₁₀₀	L₅₀₀			
0	5	9.5	10	10.5	11	5.00	29.9	35.1

Fuente: Elaboración propia.

El punto ensayado pertenece al lado derecho de la pista de aterrizaje en la progresiva Km. 0+040. Los datos de L₂₅, L₇₅ y L₅₀₀ son lecturas que se tomaron mediante la Viga Benkelman de 2 brazos con una relación de brazo de 4:1, las demás deflexiones se las asumió con un valor entre las anteriores, siendo estas últimas deflexiones no importantes en el cálculo de la deflectometría.

- **Cálculo de deflexiones sin correcciones (10^{-2} mm).**

Este cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$D_i = (L_{500} - L_i) * RB$$

Donde:

D_i = Es la deflexión obtenida a 0, 25, 50, 75, 100 y 500 cm de distancia del punto ensayado.

L₅₀₀ = Es la lectura de campo a una distancia de 5 m.

L_i = Es la lectura de campo que varía entre las distancias de 0, 25, 50, 75, 100 y 500 cm de distancia según la deflexión que se quiere calcular.

RB = La relación de brazo de la Viga Benkelman el cual es 4.

Obtención de las deflexiones (10^{-2} mm) sin corregir por temperatura, estacionalidad y espesor del pavimento.

$$D_{0=m\acute{a}x} = (L_{500} - L_0) * RB = (11 - 0) * 4 = \mathbf{44 (10^{-2}mm)}$$

$$D_{25} = (L_{500} - L_{25}) * RB = (11 - 5) * 4 = \mathbf{24 (10^{-2}mm)}$$

$$D_{50} = (L_{500} - L_{50}) * RB = (11 - 9.50) * 4 = \mathbf{6 (10^{-2}mm)}$$

$$D_{75} = (L_{500} - L_{75}) * RB = (11 - 10) * 4 = \mathbf{4 (10^{-2}mm)}$$

$$D_{100} = (L_{500} - L_{100}) * RB = (11 - 10.5) * 4 = \mathbf{2 (10^{-2}mm)}$$

$$D_{500} = (L_{500} - L_{500}) * RB = (11 - 11) * 4 = \mathbf{0 (10^{-2}mm)}$$

- **Cálculo de deflexiones corregidas por temperatura, estacionalidad y espesor del pavimento (10^{-2} mm)**

Tabla 81

Factores de corrección por estacionalidad

Factores de corrección por estacionalidad		
Tipo de suelo de la sub-rasante	Estación lluviosa	Estación seca
Arenosa - permeable	1.00	1.1 a 1.3
Arcillosa – sensible al agua	1.00	1.2 a 1.4

Fuente: Conreval (1983).

Siendo el suelo de le sub-rasante de tipo arcilloso y además de realizar el ensayo en época de estación lluviosa se obtiene el factor por estacionalidad (F_e) de 1.

Para realizar la corrección de las deflexiones se realiza mediante la siguiente ecuación según el criterio usa.

$$D_i^c = \frac{D_i * F_e}{[10^{-3} * e * (t - 20^\circ C)] + 1}$$

Donde:

D_i = Es la deflexión obtenida a 0, 25, 50, 75, 100 y 500 cm de distancia del punto ensayado.

F_e = Factor por estacionalidad.

t = Temperatura del asfalto.

e = Espesor de la carpeta asfáltica.

Obtención de las deflexiones (10^{-2} mm) con la corrección por temperatura, estacionalidad y espesor del pavimento.

$$D_{0=máx}^c = \frac{D_0 * F_e}{[10^{-3} * e * (t - 20^\circ C)] + 1} = \frac{44 * 1}{[10^{-3} * 5 * (35.10 - 20)] + 1}$$

$$= \mathbf{40.91 (10^{-2}mm)}$$

$$D_{25}^c = \frac{D_{25} * F_e}{[10^{-3} * e * (t - 20^\circ C)] + 1} = \frac{24 * 1}{[10^{-3} * 5 * (35.10 - 20)] + 1}$$

$$= \mathbf{22.32 (10^{-2}mm)}$$

$$D_{50}^c = \frac{D_{50} * F_e}{[10^{-3} * e * (t - 20^\circ C)] + 1} = \frac{6 * 1}{[10^{-3} * 5 * (35.10 - 20)] + 1}$$

$$= \mathbf{5.58 (10^{-2}mm)}$$

$$D_{75}^c = \frac{D_{75} * F_e}{[10^{-3} * e * (t - 20^\circ C)] + 1} = \frac{4 * 1}{[10^{-3} * 5 * (35.10 - 20)] + 1}$$

$$= \mathbf{3.72 (10^{-2}mm)}$$

$$D_{100}^c = \frac{D_{100} * F_e}{[10^{-3} * e * (t - 20^\circ C)] + 1} = \frac{2 * 1}{[10^{-3} * 5 * (35.10 - 20)] + 1}$$

$$= \mathbf{1.86 (10^{-2}mm)}$$

$$D_{500}^c = \frac{D_{500} * F_e}{[10^{-3} * e * (t - 20^\circ C)] + 1} = \frac{0 * 1}{[10^{-3} * 5 * (35.10 - 20)] + 1}$$

$$= \mathbf{0 (10^{-2}mm)}$$

- **Cálculo del radio de curvatura.**

Para el cálculo del radio de curvatura se realiza mediante la fórmula que está en la Norma MTC E 1002, la cual es:

$$RC = \frac{3125}{(D_0^c - D_{25}^c)}$$

Donde:

RC = Radio de curvatura.

D₀ = Deflexión máxima.

D₂₅ = Deflexión a 25 cm.

Al aplicar la fórmula antes mencionada, se obtiene:

$$RC = \frac{3125}{(D_0^c - D_{25}^c)} = \frac{3125}{(40.91 - 22.32)} = \mathbf{168.05\ m}$$

A continuación, se presenta todas las lecturas de campo, las deflexiones corregidas por temperatura, estacionalidad y espesor de la carpeta asfáltica de cada uno de los puntos analizados al lado derecho de la pista de aterrizaje, lado izquierdo de la pista de aterrizaje, calle de rodaje y plataforma.

Tabla 82

Deflexiones corregidas – Lado derecho de la pista de aterrizaje

Ensayo N°	Progresiva (Km)	Deflexiones Corregidas por T°C, Estacionalidad & Espesor del Pavimento						
		D0	D25	D50	D75	D100	D500	RC
1.00	0+040.00	40.91	22.32	5.58	3.72	1.86	0.00	168.05
2.00	0+140.00	37.19	18.60	14.88	11.16	7.44	0.00	168.05
3.00	0+240.00	44.63	26.03	18.60	3.72	1.86	0.00	168.05
4.00	0+340.00	37.21	18.60	14.88	11.16	7.44	0.00	167.97
5.00	0+440.00	81.86	44.65	26.05	7.44	3.72	0.00	83.98
6.00	0+540.00	52.02	37.16	26.01	11.15	7.43	0.00	210.25
7.00	0+640.00	29.73	14.86	11.15	3.72	1.86	0.00	210.25
8.00	0+740.00	63.46	29.86	22.40	18.67	14.93	0.00	93.01
9.00	0+840.00	74.66	37.33	22.40	7.47	3.73	0.00	83.71
10.00	0+940.00	29.77	14.88	13.02	11.16	7.44	0.00	209.96
11.00	1+040.00	48.37	22.33	18.60	11.16	9.30	0.00	119.98

12.00	1+140.00	48.04	22.17	18.48	14.78	11.09	0.00	120.81
13.00	1+240.00	48.04	29.56	18.48	3.70	1.85	0.00	169.14
14.00	1+340.00	77.99	40.85	26.00	11.14	7.43	0.00	84.14
15.00	1+440.00	33.43	18.57	14.86	7.43	3.71	0.00	210.35

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83

Deflexiones corregidas – Lado izquierdo de la pista de aterrizaje

Ensayo N°	Progresiva (Km)	Deflexiones Corregidas por T°C, Estacionalidad & Espesor del Pavimento						
		D0	D25	D50	D75	D100	D500	RC
16.00	1+480.00	44.32	22.16	14.77	11.08	9.23	0.00	141.02
17.00	1+390.00	29.55	14.77	11.08	3.69	1.85	0.00	211.52
18.00	1+290.00	33.32	18.51	11.11	7.40	3.70	0.00	211.04
19.00	1+190.00	29.62	14.81	11.11	7.40	3.70	0.00	211.04
20.00	1+090.00	29.77	14.88	11.16	7.44	5.58	0.00	209.96
21.00	0+990.00	29.77	14.88	13.02	11.16	9.30	0.00	209.96
22.00	0+890.00	22.44	11.22	9.35	7.48	3.74	0.00	278.52
23.00	0+790.00	48.62	33.66	26.18	18.70	11.22	0.00	208.89
24.00	0+690.00	30.09	15.04	11.28	7.52	3.76	0.00	207.71
25.00	0+590.00	30.09	15.04	11.28	7.52	5.64	0.00	207.71
26.00	0+490.00	90.57	52.83	33.96	15.09	7.55	0.00	82.81
27.00	0+390.00	139.62	64.15	56.60	45.28	22.64	0.00	41.41
28.00	0+290.00	52.58	26.29	18.78	15.02	11.27	0.00	118.86
29.00	0+190.00	41.31	22.54	15.02	7.51	5.63	0.00	166.41
30.00	0+090.00	22.58	11.29	7.53	3.76	1.88	0.00	276.82

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84

Deflexiones corregidas – Calle de rodaje

Ensayo N°	Progresiva (Km)	Deflexiones Corregidas por T°C, Estacionalidad & Espesor del Pavimento						
		D0	D25	D50	D75	D100	D500	RC
31.00	0+020.00	30.37	15.19	11.39	7.59	5.70	0.00	205.76
32.00	0+070.00	37.97	22.78	15.19	11.39	7.59	0.00	205.76

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85*Deflexiones corregidas – Plataforma*

Ensayo N°	Progresiva (Km)	Deflexiones Corregidas por T°C, Estacionalidad & Espesor del Pavimento						
		D0	D25	D50	D75	D100	D500	RC
33.00	0+005.00	37.90	26.53	18.95	11.37	7.58	0.00	274.87
34.00	0+005.00	90.95	41.69	26.53	15.16	7.58	0.00	63.43
35.00	0+022.50	34.12	18.96	15.17	7.58	3.79	0.00	206.05
36.00	0+022.50	30.33	15.17	13.27	11.37	9.48	0.00	206.05
37.00	0+045.00	76.19	38.10	30.48	19.05	11.43	0.00	82.03
38.00	0+045.00	121.90	57.14	41.90	38.10	19.05	0.00	48.25
39.00	0+067.50	84.21	53.59	45.93	38.28	19.14	0.00	102.05
40.00	0+067.50	72.73	42.11	38.28	30.62	15.31	0.00	102.05
41.00	0+085.00	41.83	22.81	19.01	15.21	7.60	0.00	164.38
42.00	0+085.00	159.70	83.65	64.64	45.63	22.81	0.00	41.09

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo de los parámetros del modelo matemático de Hogg.**

Se calcula el radio de huella circular de contacto mediante la siguiente fórmula:

$$A = \sqrt{\frac{P^*}{\pi * p}}$$

Donde:

A = Radio de huella circular de contacto.

P* = Carga sobre una llanta (4500 lbs)

p = Presión de inflado (80 psi)

Se reemplaza todos los datos mencionados teniendo como resultado:

$$A = \sqrt{\frac{P^*}{\pi * p}} = \sqrt{\frac{4500}{\pi * 80}} = \mathbf{10.75 \text{ cm}}$$

Se prosigue con el cálculo de R5 mediante la siguiente fórmula:

$$R5 = R * \frac{A^c - B}{[A * \left(\frac{D\phi}{DR} - 1\right)]^c - B}$$

Donde:

R5 = Distancia "R" donde se produce la mitad de la deflexión máxima.

DØ = Deflexión máxima.

DR = Deflexión a la distancia R.

A, B y C = Coeficientes de correlación.

Para el modelo se recomienda usar el valor de 0.4 para el coeficiente de Poisson (μ), con un valor de H/L0 igual a 10 para la relación DR/D0. Se muestra la tabla de los coeficientes de correlación.

Tabla 86

Coefficientes de correlación para el cálculo de R5 en el modelo de Hogg

Coefficientes de correlación para el cálculo de R5 en el modelo de Hogg					
N°	H/L0	μ	A	B	C
1	Infinito	C.V.	3.12	0.00	0.584
2	DR/D0 > 0.70	0.50	2.46	0.00	0.592
3	DR/D0 < 0.70	0.50	371.10	2.00	0.219
4	DR/D0 > 0.43	0.40	2.63	0.00	0.548
5	DR/D0 > 0.43	0.40	2283.40	3.00	0.2004

Fuente: Modelo de Hogg.

El valor más próximo a DR/D0 = 0.50 suele ser la distancia de 25 cm, a continuación, se realiza el cálculo:

$$\frac{DR_{25}}{D0} = \frac{22.32}{40.91} = \mathbf{0.55}$$

Teniendo que el DR/D0 es 0.55 se determina los coeficientes de correlación los cuales son: A = 2.63, B = 0.00 y C = 0.55. Se reemplaza los valores obtenidos en la fórmula para el cálculo de R5 y se tiene como resultado:

$$R5 = R * \frac{A^C - B}{\left[A * \left(\frac{DØ}{DR} - 1 \right) \right]^C - B} = 25 * \frac{2.63^{0.55} - 0}{\left[2.63 * \left(\frac{40.91}{22.32} - 1 \right) \right]^{0.55} - 0} = \mathbf{27.63 \text{ cm}}$$

Se continua con la determinación de la longitud elástica ($L\emptyset$) mediante la siguiente fórmula:

$$L\emptyset = \frac{Y * R5 + \sqrt{(Y * R5)^2 - 4 * A * X * R5}}{2}$$

Donde:

R5 = Ya calculado en la fórmula anterior.

A = Radio de la huella circular de carga.

X, Y = Coeficientes de correlación para la longitud elástica.

Para determinar los valores de X, Y se usa la siguiente tabla:

Tabla 87

Coeficientes de correlación para el cálculo de L0 en el Modelo de Hogg

Coeficientes de correlación para determinar L0 en el modelo de Hogg			
H/L0	μ	X	Y
10.00	0.50	0.18	0.62
10.00	0.40	0.19	0.60
Infinito	CV	0.18	0.53

Fuente: Modelo de Hogg.

Para un coeficiente de Poisson de 0.40 se tiene los valores de 0.19 y 0.60 para X y Y respectivamente. Con los valores ya obtenidos se reemplazan en la fórmula para determinar el L0:

$$L\emptyset = \frac{0.60 * 27.63 + \sqrt{(0.60 * 27.63)^2 - 4 * 10.75 * 0.19 * 27.63}}{2} = \mathbf{11.80\ cm}$$

Se calcula el módulo de elasticidad de la subrasante (E0)

Lo primero es establecer la relación entre la rigidez para carga puntual y la rigidez para carga distribuida sobre un área, para un cociente dado del valor A/L0. La rigidez se define como el cociente entre la carga y la deflexión ($S=P/D0$) (Hoffman y Del águila, 1985).

Esa relación se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{S_o}{S} = 1 - M \left(\frac{A}{L\phi} - 0.10 \right)$$

Donde:

S_o = Rigidez para la carga puntual.

S = Rigidez para la carga de área.

A = Radio de huella circular de contacto.

M = Coeficiente numérico que tiene los siguientes valores.

$H/L0 = 10$; $\mu = 0.50$; $M = 0.52$

$H/L0 = 10$; $\mu = 0.40$; $M = 0.48$

Para un valor de $\mu = 0.40$ se tiene un valor M de 0.48, a continuación, se reemplazan los datos en la fórmula para el cálculo de la relación S_o/S .

$$\frac{S_o}{S} = 1 - M \left(\frac{A}{L0} - 0.10 \right) = 1 - 0.48 \left(\frac{10.75}{11.80} - 0.10 \right) = \mathbf{0.61}$$

Se determina el módulo de elasticidad de la sub-rasante con la siguiente fórmula:

$$E0 = \frac{K * I * P}{L0 * D0} * \frac{S_o}{S}$$

Donde:

$E0$ = Módulo de elasticidad de la sub-rasante.

S_o/S = Valor calculado con la fórmula anterior.

$L0$ = Longitud elástica.

$D0$ = Deflexión máxima.

P = Carga total en las llantas traseras.

K, I = Coeficiente numérico que tiene los siguientes valores:

$\mu = 0.50$; $K = 1.50$

$H/L0 = 10$; $\mu = 0.50$; $I = 0.1614$

$\mu = 0.40$; $K = 1.63$

$H/L0 = 10$; $\mu = 0.40$; $I = 0.1689$

Reemplazando todos los valores en la fórmula para el módulo de elasticidad de la subrasante se tiene como resultado:

$$E0 = \frac{K * I * P}{L\emptyset * D\emptyset} * \frac{S0}{S} = \frac{1.63 * 0.1689 * \frac{8.2}{2} * 1000}{11.80 * \frac{40.91}{1000}} * 0.52 = \mathbf{1430.79 \text{ kg/cm}^2}$$

Seguidamente determinamos el módulo de elasticidad equivalente del pavimento (E^*) para eso se utiliza la relación entre la deflexión máxima ($D0$), el módulo de elasticidad de la subrasante ($E0$) y el módulo de elasticidad del pavimento (E^*) y esta relación se expresa por la siguiente ecuación:

$$D0 = \frac{(1 + \mu) * P}{2 * \pi} * \left[\frac{1}{E^*} * \left[\frac{2 * (1 - \mu)}{r} - \frac{1}{R1} * \left(2 * (1 - \mu) + \left(\frac{Z1}{R1} \right)^2 \right) \right] + \frac{1}{E0} * \left[\frac{1}{R2} * \left(2 * (1 - \mu) + \left(\frac{Z2}{R2} \right)^2 \right) - \frac{1}{R3} * \left(2 * (1 - \mu) + \left(\frac{Z3}{R3} \right)^2 \right) \right] \right]$$

Donde:

$$r = 1.5 * A$$

$$z1 = HC + 0.6 * A^2 / HC$$

$$R1 = \sqrt{Z1^2 + (1.5 * A)^2}$$

$$Z2 = HE + 0.6 * A^2 / HE$$

$$R2 = \sqrt{Z2^2 + (1.5 * A)^2}$$

$$Z3 = (HE + (N) * (L0)) + 0.6 * A^2 / (HE + (N) * (L0))$$

$$R3 = \sqrt{Z3^2 + (1.5 * A)^2}$$

$N = 10$ para base en roca a espesor finito ($H/L0=10$)

$N = 10$ para base en roca a espesor infinito ($H/L0=infinito$)

$P =$ Carga de ensayo: $\pi * A^2 * p$ ($p =$ presión de inflado)

Se sigue con el cálculo de cada uno de los parámetros:

$$r = 1.5 * A = 1.5 * 10.75 = 16.125 \text{ cm}$$

Se asume como dato inicial para $HC = 30$ cm.

$$Z1 = HC + \frac{0.6 * A^2}{HC} = 30 + \frac{0.6 * 10.75^2}{30} = 32.31$$

$$R1 = \sqrt{Z1^2 + (1.5 * A)^2} = \sqrt{32.31^2 + (1.5 * 10.75)^2} = 36.11$$

HE se obtiene de la iteración para nuestro caso nos sale: 23.26 cm.

$$Z2 = HE + 0.6 * \frac{A^2}{HE} = 23.26 + 0.6 * \frac{10.75^2}{23.26} = 26.24$$

$$R2 = \sqrt{Z2^2 + (1.5 * A)^2} = \sqrt{26.24^2 + (1.5 * 10.75)^2} = 30.80$$

$$Z3 = (23.26 + (100) * (11.80)) + 0.6 * \frac{10.75^2}{23.26 + (100) * (11.80)} = 1203.31$$

$$R3 = \sqrt{Z3^2 + (1.5 * A)^2} = \sqrt{1203.31^2 + (1.5 * 10.75)^2} = 1203.42$$

$$E^* = E0 * \left(\frac{HE}{0.90 * HC} \right)^3 = 1430.79 * \left(\frac{23.26}{0.90 * 30} \right)^3 = 914.54 \text{ kg/cm}^2$$

$$i = \frac{1}{E^*} * \left[\frac{2 * (1 - \mu)}{r} - \frac{1}{R1} * \left(2 * (1 - \mu) + \left(\frac{Z1}{R1} \right)^2 \right) \right]$$

$$= \frac{1}{914.54} * \left[\frac{2 * (1 - 0.40)}{16.125} - \frac{1}{36.11} * \left(2 * (1 - 0.40) + \left(\frac{32.31}{36.11} \right)^2 \right) \right]$$

$$= 2.08 * 10^{-5}$$

$$ii = \left[\frac{1}{R2} * \left(2 * (1 - \mu) + \left(\frac{Z2}{R2} \right)^2 \right) - \frac{1}{R3} * \left(2 * (1 - \mu) + \left(\frac{Z3}{R3} \right)^2 \right) \right]$$

$$= \left[\frac{1}{30.80} * \left(2 * (1 - 0.40) + \left(\frac{26.24}{30.80} \right)^2 \right) - \frac{1}{1203.42} \right.$$

$$\left. * \left(2 * (1 - 0.40) + \left(\frac{1203.31}{1203.42} \right)^2 \right) \right]$$

$$= 4.24 * 10^{-5}$$

Se calcula la deflexión máxima con los datos anteriores que se reemplazan en la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 D_0 &= \frac{(1 + \mu) * P}{2 * \pi} * [i + ii] \\
 &= \frac{(1 + 0.40) * \pi * 80 * 10.75^2}{2 * \pi} * [2.08 * 10^{-5} + 4.24 * 10^{-5}] \\
 &= \mathbf{0.4091 \text{ mm}} \approx \mathbf{40.91 * 10^{-2} \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

La deflexión máxima que se acaba de determinar se compara con la deflexión máxima corregida obtenida de las lecturas de campo.

$$\text{Se observa que: } D_0^c = 40.91 * 10^{-2} = D_0$$

Por lo tanto, el valor de HE pasa a ser el **HEQ = 23.26 cm** y el **E* = 914.54 * 100 = 91453.66 kg/cm²**.

Finalmente se realiza el cálculo del C.B.R. mediante la siguiente fórmula:

$$CBR (\%) = \frac{E_0}{(100 \text{ a } 160)}$$

Por criterio nuestro asumimos el valor de división de 105, por lo tanto, el C.B.R. que obtenemos es el siguiente:

$$CBR (\%) = \frac{1430.79}{105} = \mathbf{13.63 \%}$$

También se determina el módulo de resiliencia (Mr) en función del C.B.R. utilizando las siguientes fórmulas:

Tabla 88

Fórmulas para determinar el módulo de resiliencia (Mr) en función del C.B.R

ECUACIÓN	OBSERVACIONES
Mr (psi) = 1500*CBR	Para CBR menor a 10%
Mr (psi) = 3000*CBR ^{0.65}	Para CBR de 10 a 20%
Mr (psi) 4326*ln (CBR)+241	Para suelo granulares con CBR mayor al 20%

Fuente: AASTHO 1993.

Para este caso el C.B.R. esta entre 10 a 20% por lo tanto se obtiene:

$$Mr (\text{psi}) = 3000 * CBR^{0.65} = 3000 * 13.63^{0.65} = \mathbf{16388.66 \text{ psi}} \approx \mathbf{16.39 \text{ Kpsi}}$$

A continuación, se presenta todos los parámetros del modelo de Hogg de cada uno de los puntos analizados al lado derecho de la pista de aterrizaje, lado izquierdo de la pista de aterrizaje, calle de rodaje y plataforma.

Tabla 89

Parámetros del Modelo de Hogg – Lado derecho de la pista de aterrizaje

Ensayo N°	Progresiva (Km)	R5 (cm)	L0 (cm)	E0 (kg/cm ²)	E* (kg/cm ²)	Mr kpsi	CBR %	HEQ (cm)
1.00	0+040.00	27.63	11.80	1430.79	91453.66	16.39	13.63	23.26
2.00	0+140.00	25.00	9.77	1618.17	95973.22	17.75	15.41	22.69
3.00	0+240.00	41.94	21.16	963.00	142673.30	13.76	9.17	30.78
4.00	0+340.00	25.00	9.77	1617.42	95915.91	17.75	15.40	22.68
5.00	0+440.00	27.63	11.80	715.06	45699.68	10.22	6.81	23.26
6.00	0+540.00	50.00	26.16	707.09	167634.16	10.10	6.73	36.00
7.00	0+640.00	25.00	9.77	2024.60	120062.19	20.53	19.28	22.68
8.00	0+740.00	23.44	8.24	912.34	58632.05	13.03	8.69	23.30
9.00	0+840.00	25.00	9.77	806.08	47814.46	11.52	7.68	22.69
10.00	0+940.00	25.00	9.77	2021.78	119926.61	20.52	19.26	22.69
11.00	1+040.00	22.97	7.56	1130.28	82845.58	14.06	10.76	24.34
12.00	1+140.00	22.97	7.56	1138.16	83382.46	14.12	10.84	24.34
13.00	1+240.00	39.31	19.50	945.64	119294.62	13.51	9.01	29.17
14.00	1+340.00	26.34	10.84	765.13	46535.20	10.93	7.29	22.88
15.00	1+440.00	44.24	22.59	1227.30	208756.52	14.83	11.69	32.23

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 90

Parámetros del Modelo de Hogg – Lado Izquierdo de la Pista de Aterrizaje

Ensayo N°	Progresiva (Km)	R5 (cm)	L0 (cm)	E0 (kg/cm ²)	E* (kg/cm ²)	Mr kpsi	CBR %	HEQ (cm)
16.00	1+480.00	25.00	9.77	1357.88	80556.71	15.84	12.93	22.69
17.00	1+390.00	25.00	9.77	2036.82	120835.06	20.61	19.40	22.69
18.00	1+290.00	28.25	12.25	1736.95	114232.63	18.59	16.54	23.48
19.00	1+190.00	25.00	9.77	2032.12	120540.18	20.58	19.35	22.69
20.00	1+090.00	25.00	9.77	2021.78	119926.61	20.52	19.26	22.69
21.00	0+990.00	25.00	9.77	2021.78	119926.61	20.52	19.26	22.69
22.00	0+890.00	25.00	9.77	2681.91	159084.04	24.65	25.54	22.69
23.00	0+790.00	54.41	28.86	700.46	211098.11	10.01	6.67	39.00
24.00	0+690.00	25.00	9.77	2000.15	118643.67	20.37	19.05	22.69
25.00	0+590.00	25.00	9.77	2000.15	118643.67	20.37	19.05	22.69
26.00	0+490.00	30.06	13.50	615.80	44504.65	8.80	5.86	24.23
27.00	0+390.00	22.87	7.32	379.94	29908.10	5.43	3.62	24.93

28.00	0+290.00	25.00	9.77	1144.55	67892.01	14.17	10.90	22.69
29.00	0+190.00	27.63	11.80	1416.82	90584.17	16.28	13.49	23.26
30.00	0+090.00	25.00	9.77	2665.61	158138.10	24.55	25.39	22.69

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 91

Parámetros del Modelo de Hogg – Calle de rodaje

Ensayo N°	Progresiva (Km)	R5 (cm)	L0 (cm)	E0 (kg/cm ²)	E* (kg/cm ²)	Mr kpsi	CBR %	HEQ (cm)
31.00	0+020.00	25.00	9.77	1981.34	117590.25	20.25	18.87	22.69
32.00	0+070.00	40.55	20.28	1165.32	158640.37	14.34	11.10	29.92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 92

Parámetros del Modelo de Hogg – Plataforma

Ensayo N°	Progresiva (Km)	R5 (cm)	L0 (cm)	E0 (kg/cm ²)	E* (kg/cm ²)	Mr kpsi	CBR %	HEQ (cm)
33.00	0+005.00	50.00	26.16	970.61	230071.26	13.87	9.24	36.00
34.00	0+005.00	22.81	7.14	566.84	47808.42	8.10	5.40	25.51
35.00	0+022.50	44.24	22.59	1202.23	204492.22	14.63	11.45	32.23
36.00	0+022.50	25.00	9.77	1984.16	117679.85	20.27	18.90	22.69
37.00	0+045.00	25.00	9.77	789.90	46855.05	11.28	7.52	22.69
38.00	0+045.00	23.34	8.12	471.44	30807.38	6.73	4.49	23.43
39.00	0+067.50	67.87	37.08	329.15	190495.51	4.70	3.13	48.48
40.00	0+067.50	52.97	27.98	479.89	133942.64	6.86	4.57	38.02
41.00	0+085.00	45.25	23.22	961.70	173470.90	13.74	9.16	32.87
42.00	0+085.00	26.34	10.84	373.68	22727.50	5.34	3.56	22.88

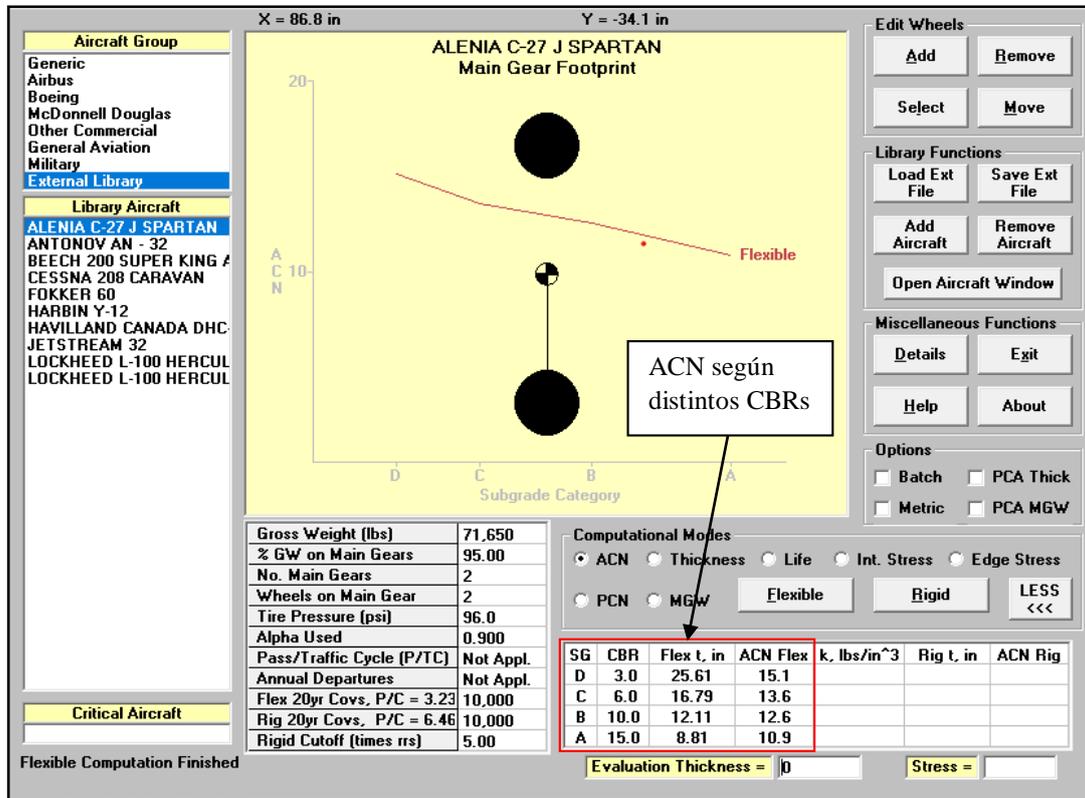
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 03

ACN e interpolación por cada tipo de aeronave

Figura 72

Resultado del ACN de la aeronave Alenia C-27 J Spartan



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

Tabla 93

Interpolación para la aeronave Alenia C-27 J Spartan

Interpolación para la aeronave Alenia C-27 J Spartan	
CBR (%)	ACN
10	12.6
13.6	X
15	10.9

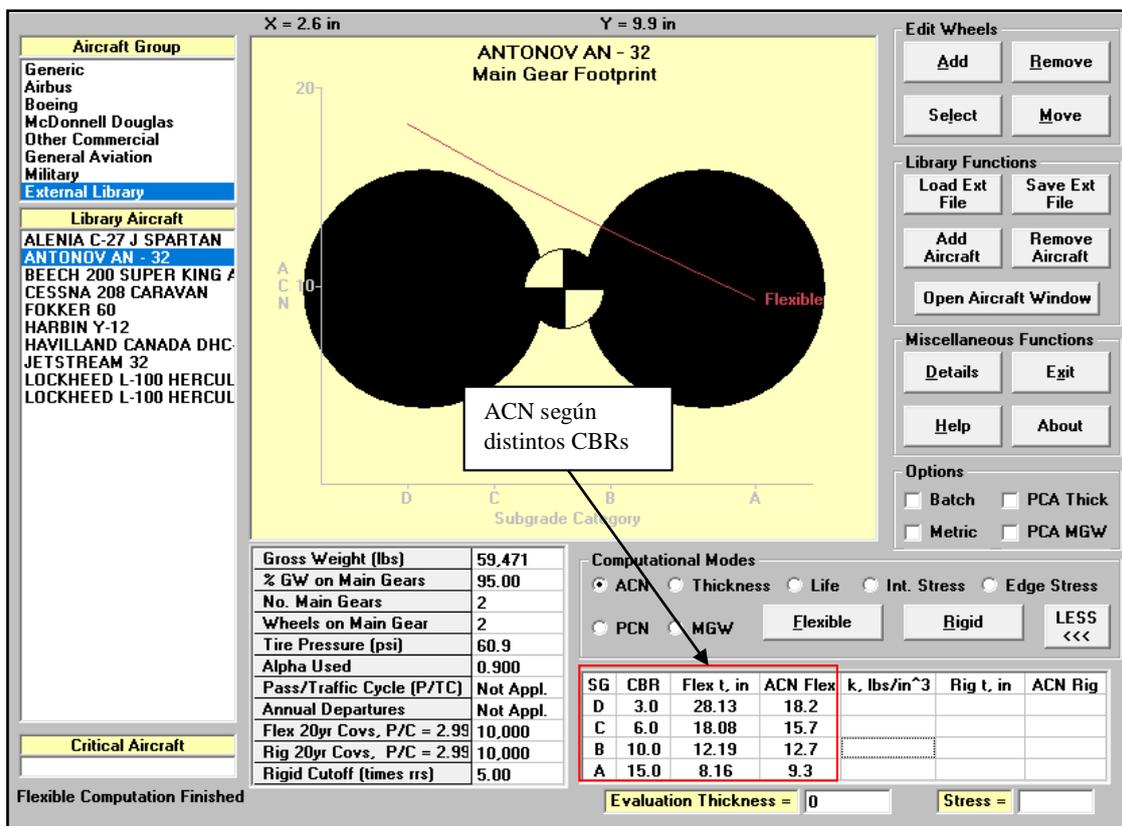
Fuente: Elaboración propia

De la interpolación para la aeronave Alenia C-27 J Spartan se obtiene el ACN para un C.B.R. de 13.6 % el cual es: **ACN = 11.38**

El ACN es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo como ACN para la aeronave Alenia C-27 J Spartan el valor numérico de **11**.

Figura 73

Resultado del ACN de la aeronave Antonov AN-32



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

Tabla 94

Interpolación para la aeronave Antonov AN-32

Interpolación para la aeronave Antonov AN-32	
CBR (%)	ACN
10	12.70
13.6	X
15	9.30

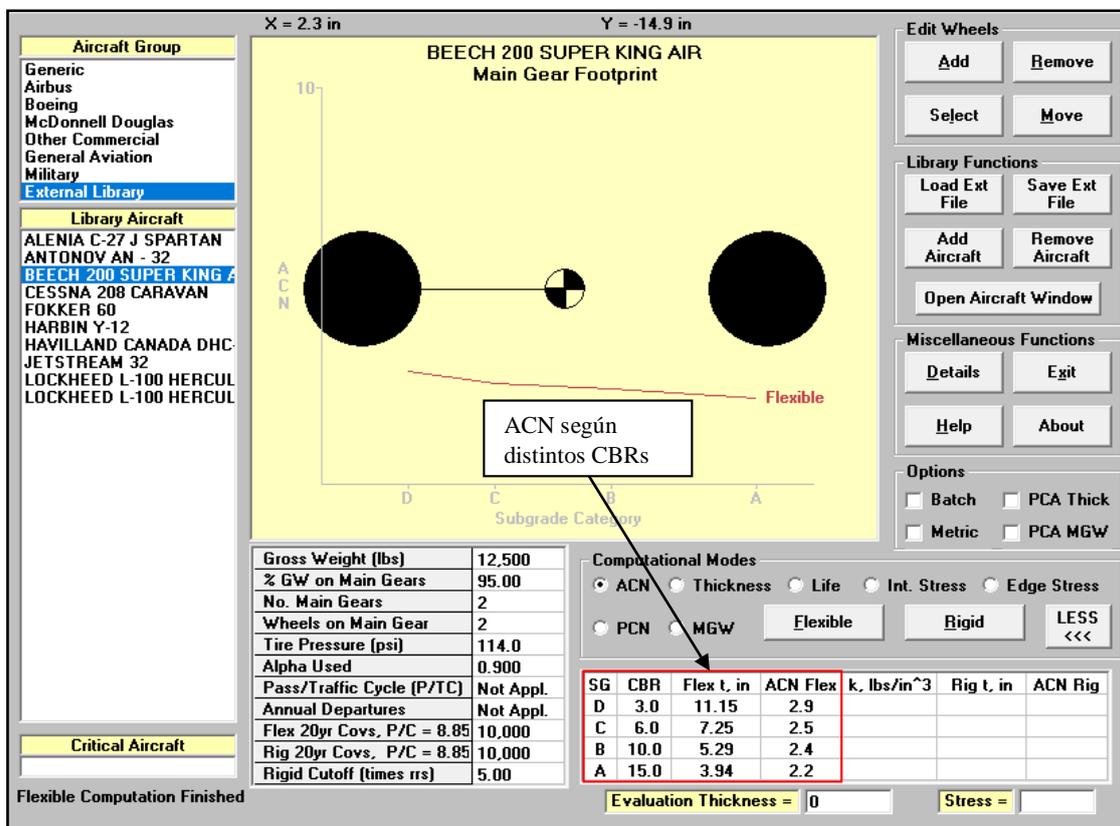
Fuente: Elaboración propia.

De la interpolación para la aeronave Antonov AN-32 se obtiene el ACN para un C.B.R. de 13.6 % el cual es: **ACN = 10.25**

El ACN es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo como ACN para la aeronave Antonov AN-32 el valor numérico de **10**.

Figura 74

Resultado del ACN de la aeronave Beech 200 Super King Air



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

Tabla 95

Interpolación para la aeronave Beech 200 Super King Air

Interpolación para la aeronave Beech 200 Super King Air	
CBR (%)	ACN
10	2.4
13.6	X
15	2.2

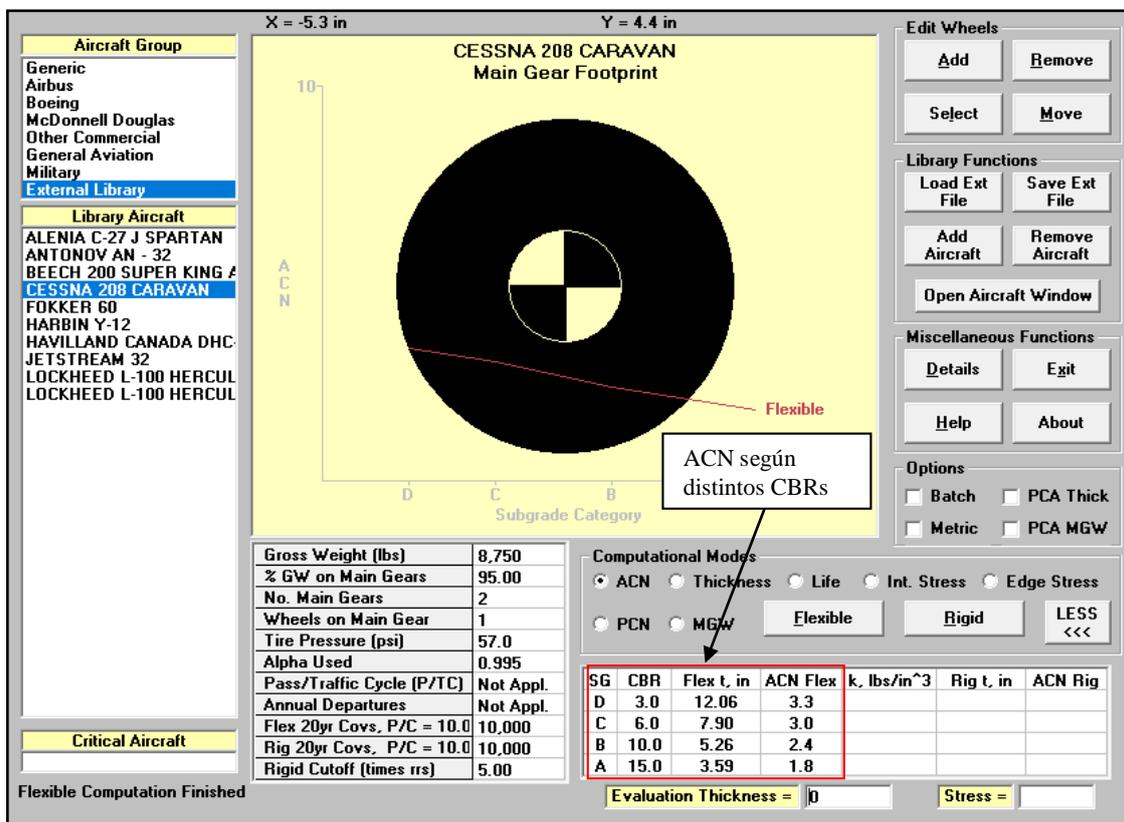
Fuente: Elaboración propia.

De la interpolación para la aeronave Beech 200 Super King Air se obtiene el ACN para un C.B.R. de 13.6 % el cual es: **ACN = 2.26**

El ACN es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo como ACN para la aeronave Beech 200 Super King Air el valor numérico de 2.

Figura 75

Resultado del ACN de la aeronave Cessna 208 Caravan



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

Tabla 96

Interpolación para la aeronave Cessna 208 Caravan

Interpolación para la aeronave Cessna 208 Caravan	
CBR (%)	ACN
10	2.4
13.6	X
15	1.8

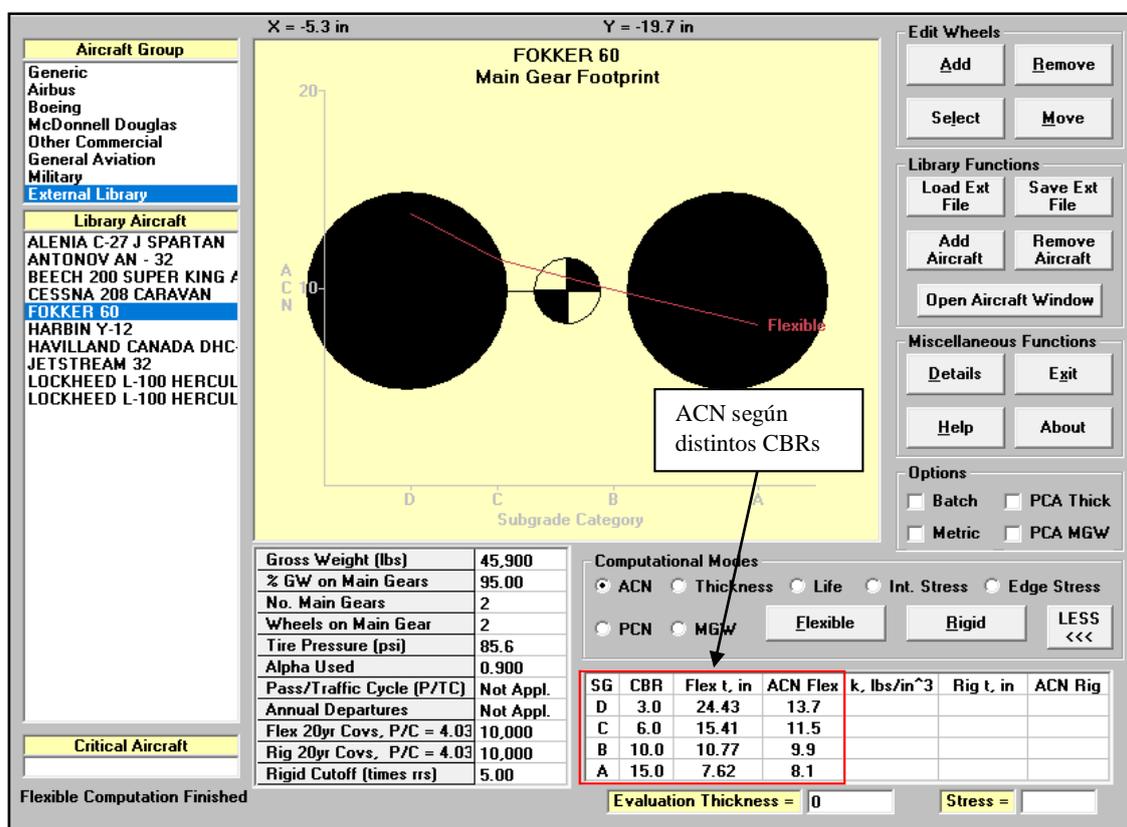
Fuente: Elaboración propia.

De la interpolación para la aeronave Cessna 208 Caravan se obtiene el ACN para un C.B.R. de 13.6 % el cual es: **ACN = 1.97**

El ACN es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo como ACN para la aeronave Cessna 208 Caravan el valor numérico de **2**.

Figura 76

Interpolación para la aeronave Cessna 208 Caravan



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

Tabla 97

Interpolación para la aeronave Fokker 60

Interpolación para la aeronave Fokker 60	
CBR (%)	ACN
10	9.9
13.6	X
15	8.1

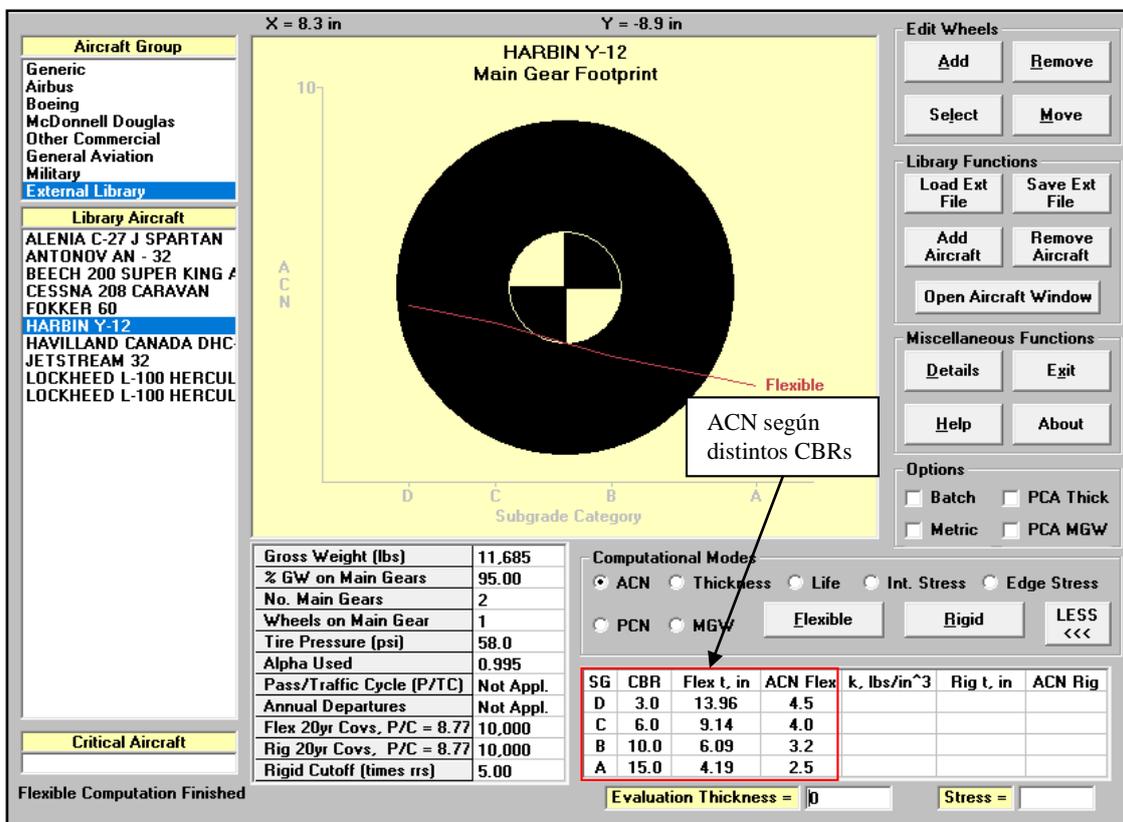
Fuente: Elaboración propia

De la interpolación para la aeronave Fokker 60 se obtiene el ACN para un C.B.R. de 13.6 % el cual es: **ACN = 8.60**

El ACN es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo como ACN para la aeronave Fokker 60 el valor numérico de **9**.

Figura 77

Resultado del ACN de la aeronave Harbin Y-12



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

Tabla 98

Interpolación para la aeronave Harbin Y-12

Interpolación para la aeronave Harbin Y-12	
CBR (%)	ACN
10	3.2
13.6	X
15	2.5

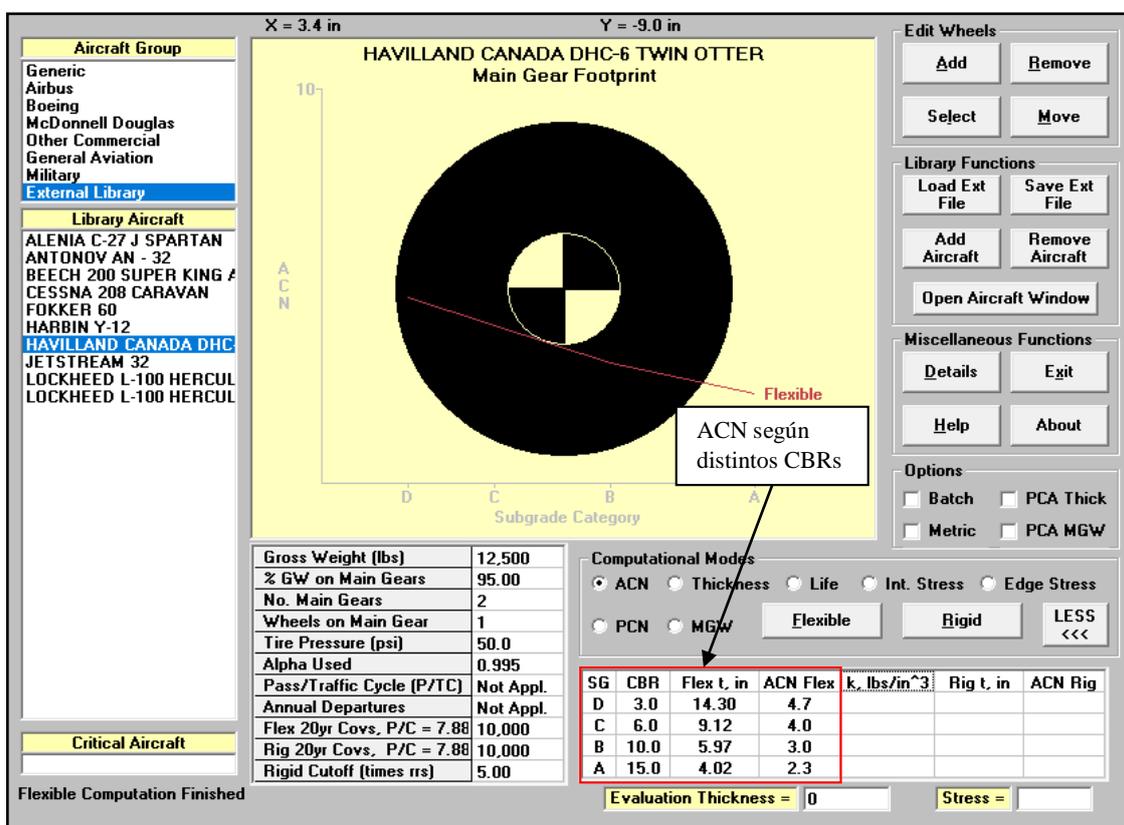
Fuente: Elaboración propia.

De la interpolación para la aeronave Harbin Y-12 se obtiene el ACN para un C.B.R. de 13.6 % el cual es: **ACN = 2.70**

El ACN es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo como ACN para la aeronave Harbin Y-12 el valor numérico de 3.

Figura 78

Resultado del ACN de la aeronave Havilland Canada DHC-6 Twin Otter



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

Tabla 99

Interpolación para la aeronave Havilland Canada DHC-6 Twin Otter

Interpolación para la aeronave Havilland Canada DHC-6 Twin Otter	
CBR (%)	ACN
10	3.0
13.6	X
15	2.3

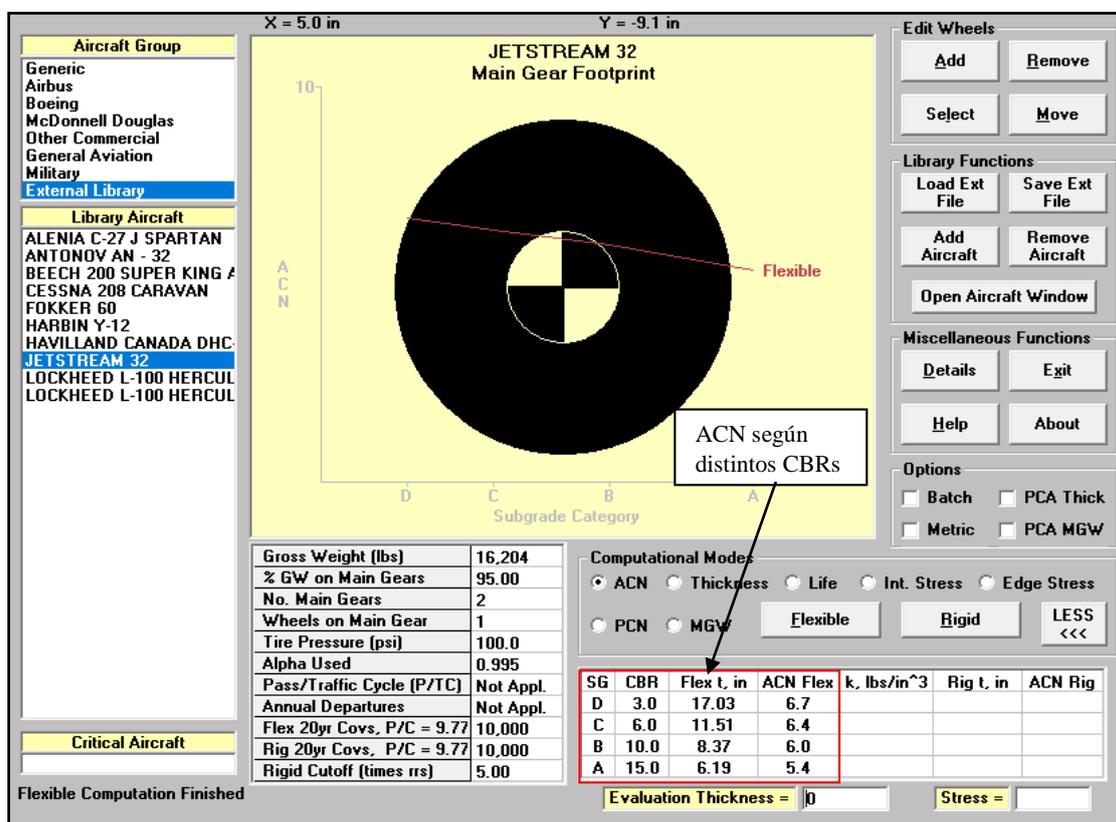
Fuente: Elaboración propia.

De la interpolación para la aeronave Havilland Canada DHC-6 Twin Otter se obtiene el ACN para un C.B.R. de 13.6 % el cual es: **ACN = 2.50**

El ACN es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo como ACN para la aeronave Havilland Canada DHC-6 Twin Otter el valor numérico de 3.

Figura 79

Resultado del ACN de la aeronave Jetstream 32



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

Tabla 100

Interpolación para la aeronave Jetstream 32

Interpolación para la aeronave Jetstream 32	
CBR (%)	ACN
10	6.0
13.6	X
15	5.4

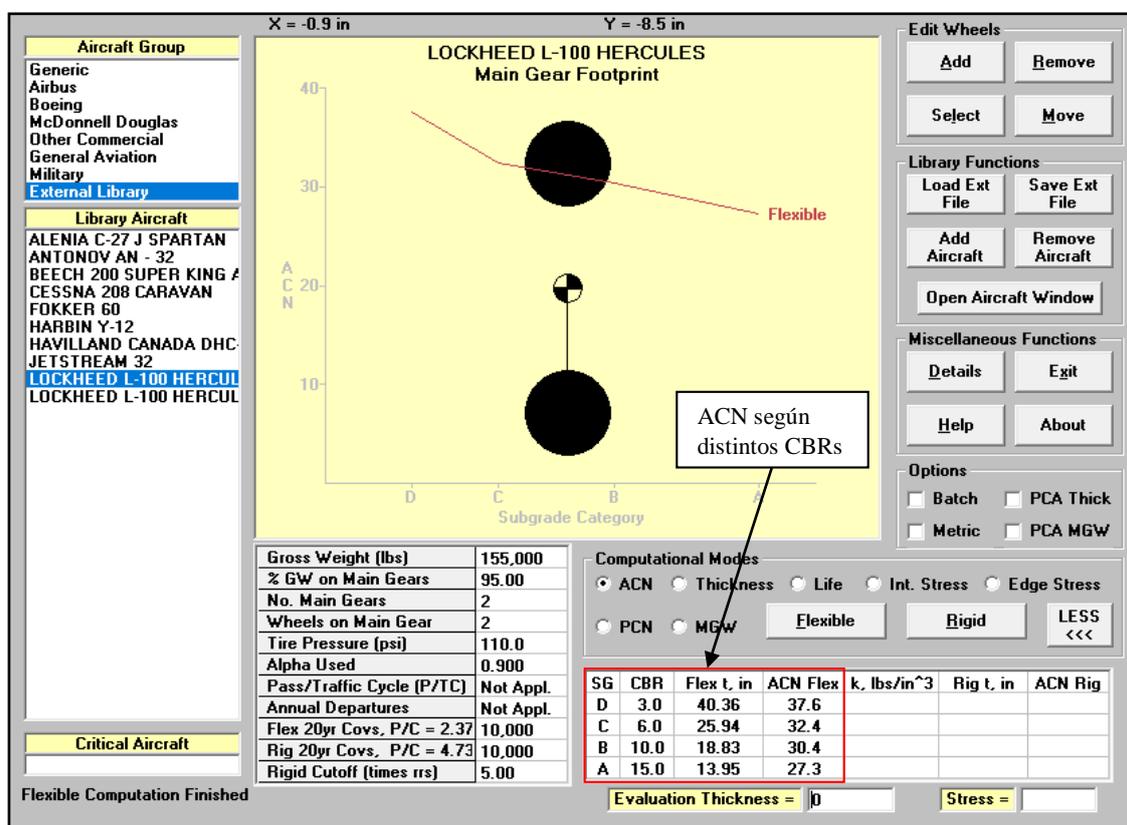
Fuente: Elaboración propia.

De la interpolación para la aeronave Jetstream 32 se obtiene el ACN para un C.B.R. de 13.6 % el cual es: **ACN = 5.57**

El ACN es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo como ACN para la aeronave Jetstream 32 el valor numérico de **6**.

Figura 80

Resultado del ACN de la aeronave Lockheed L-100 Hercules



Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

Tabla 101

Interpolación para la aeronave Lockheed L-100 Hercules

Interpolación para la aeronave Lockheed L-100 Hercules	
CBR (%)	ACN
10	30.4
13.6	X
15	27.3

Fuente: Elaboración propia.

De la interpolación para la aeronave Lockheed L-100 Hercules se obtiene el ACN para un C.B.R. de 13.6 % el cual es: **ACN = 28.17**

El ACN es un número adimensional y a la vez no decimal, por lo tanto, se lo redondea teniendo como ACN para la aeronave Lockheed L-100 Hercules el valor numérico de **28**.

Anexo N° 04

Figura 81

Valores obtenidos del Software COMFAA 3.0 (Modo Life) de cada una de las aeronaves

ICAO ACN Computation, Detailed Output

Unit Conversions Show Alpha Show Ext File Single Aircraft ACN Other Calculation Modes

Flexible Rigid PCN ACN Batch Thickness Life MGW Back

Save PCN Output to a Text File

This file name = Life Results Flexible 6-06-2022 11:50:05.txt
Library file name = C:\Users\jhosd\Desktop\TESIS - AEROPUERTO ATALAYA\AERÓDROMO DE ATALAYA-SOFTWARE\COMFAA 3_0 2014
Units = English

Evaluation pavement type is flexible and design procedure is CBR
Alpha Values are those approved by the ICAO in 2007.

CBR = 13.60
Evaluation pavement thickness = 9.84 in

Results Table: Life Computations

No.	Aircraft Name	Gross Weight	Percent Gross Wt	Tire Press	Annual Deps	6D Thick	20-yr Coverages	Life Thick	Coverages to Failure (Life)
1	ALENIA C-27 J SPARTAN	71,650	95.00	96.0	9	6.32	111	9.84	18,205
2	ANTONOV AN - 32	59,471	95.00	60.9	5	5.35	67	9.84	17,947
3	BEECH 200 SUPER KING	12,500	95.00	114.0	10	2.45	45	6.67	1,014,232.1E+298
4	CESSNA 208 CARAVAN	8,750	95.00	57.0	435	3.43	1,733	7.87	1,014,232.1E+298
5	FOKKER 60	45,900	95.00	85.6	3	4.28	30	9.84	251,443
6	HARBIN Y-12	11,685	95.00	58.0	7	2.33	32	9.19	1,014,232.1E+298
7	HAVILLAND CANADA DHC-	12,500	95.00	50.0	11	2.49	56	8.84	1,014,232.1E+298
8	JETSTREAM 32	16,204	95.00	100.0	317	5.63	1,297	9.84	1,264,856.1E+002
9	LOCKHEED L-100 HER.	155,000	95.00	110.0	3	8.83	51	9.84	101

Modo Life

Fuente: Elaboración propia - Software COMFAA 3.0.

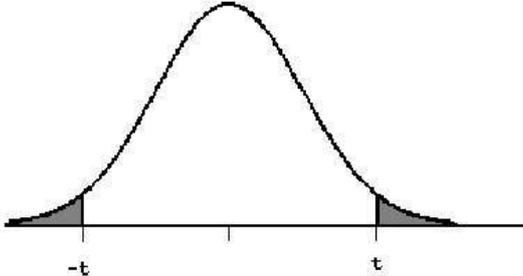
Anexo N° 05:

Tablas estadísticas para la prueba de t de Student

Figura 82

Tabla de cuantiles de la distribución t de Student de dos colas

Tabla de cuantiles de la distribución t de Student

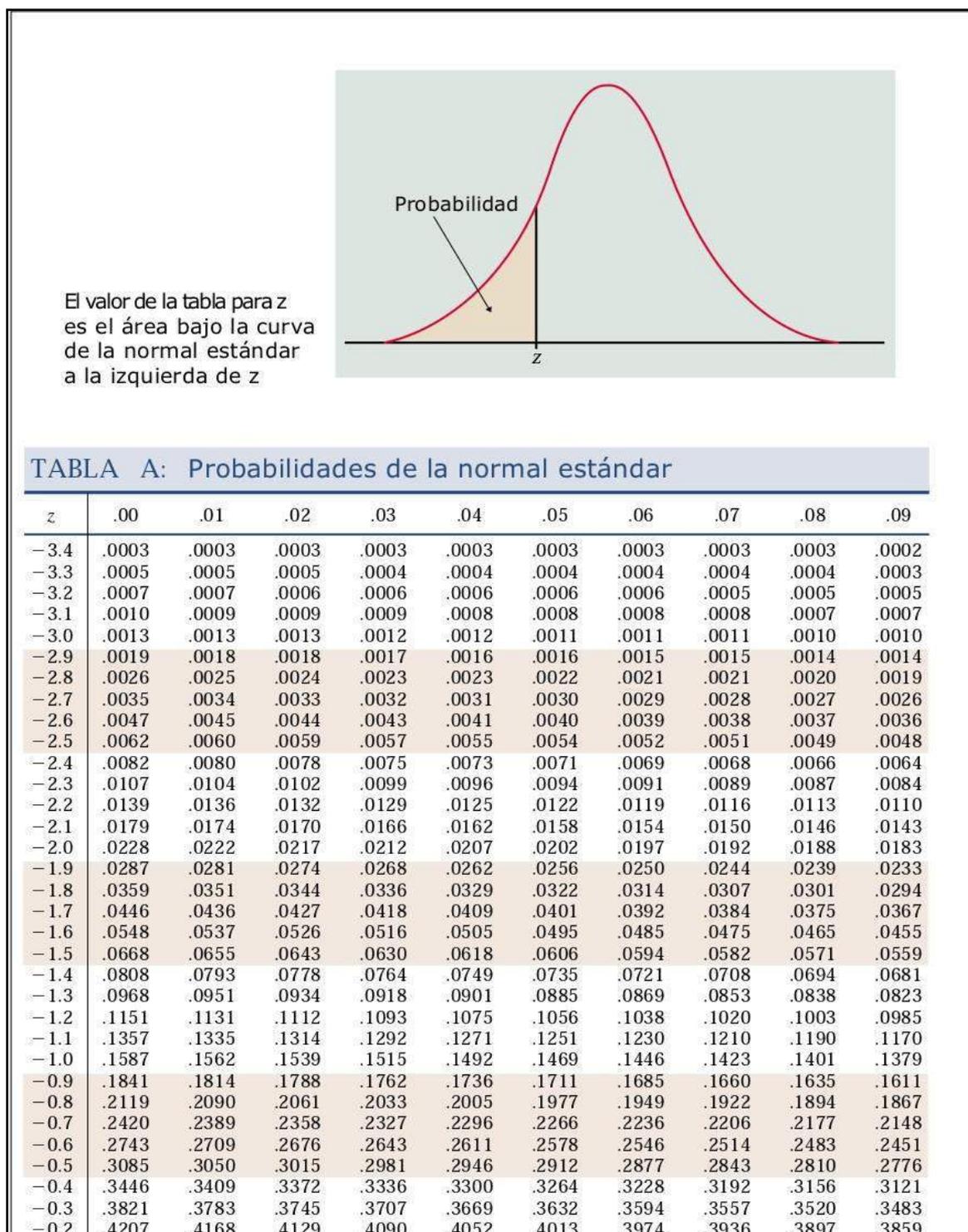


gl	ÁREA DE DOS COLAS						
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001	0,0001
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619	6366,198
2	1,886	2,920	4,303	6,695	9,925	31,598	99,992
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924	28,000
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610	15,544
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869	11,178
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959	9,082
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408	7,885
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041	7,120
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781	6,594
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587	6,211
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437	5,921
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318	5,694
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221	5,513
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140	5,363
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073	5,239
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015	5,134
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965	5,044
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922	4,966
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883	4,897
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850	4,837
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819	4,784
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792	4,736
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767	4,693
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745	4,654
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725	4,619
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707	4,587
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690	4,558
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674	4,530
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659	4,506
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646	4,482
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551	4,321
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460	4,169
100	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,390	4,053
140	1,288	1,656	1,977	2,353	2,611	3,361	4,006
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291	3,891

Fuente: Dpt. Estadística e Inv. Operativa Universitat de València.

Figura 83

Tabla de cuantiles de la distribución normal con cola a la izquierda



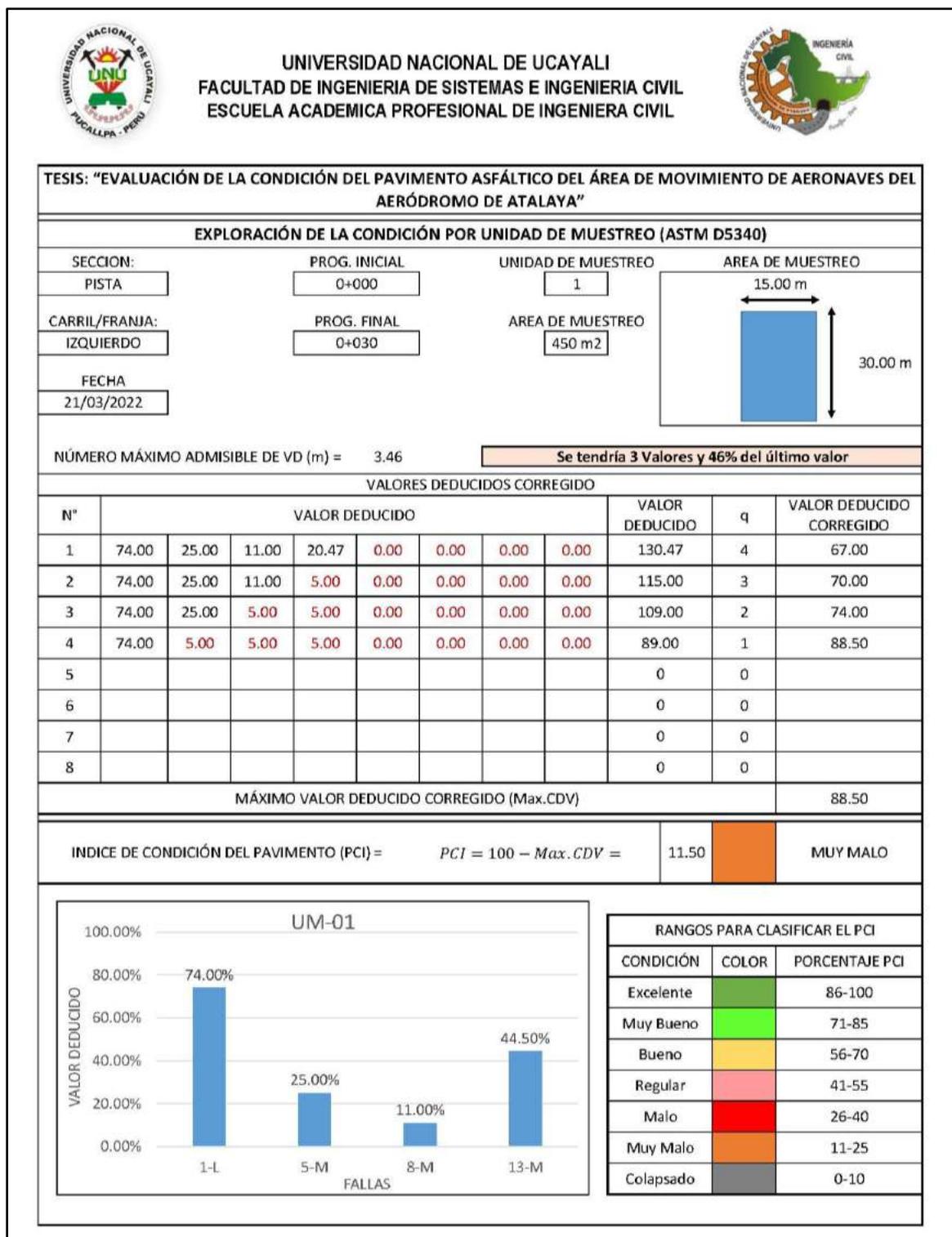
Fuente: Dpt. Estadística Universidad Carlos III de Madrid.

Anexo N° 06

Resultados PCI

Figura 84

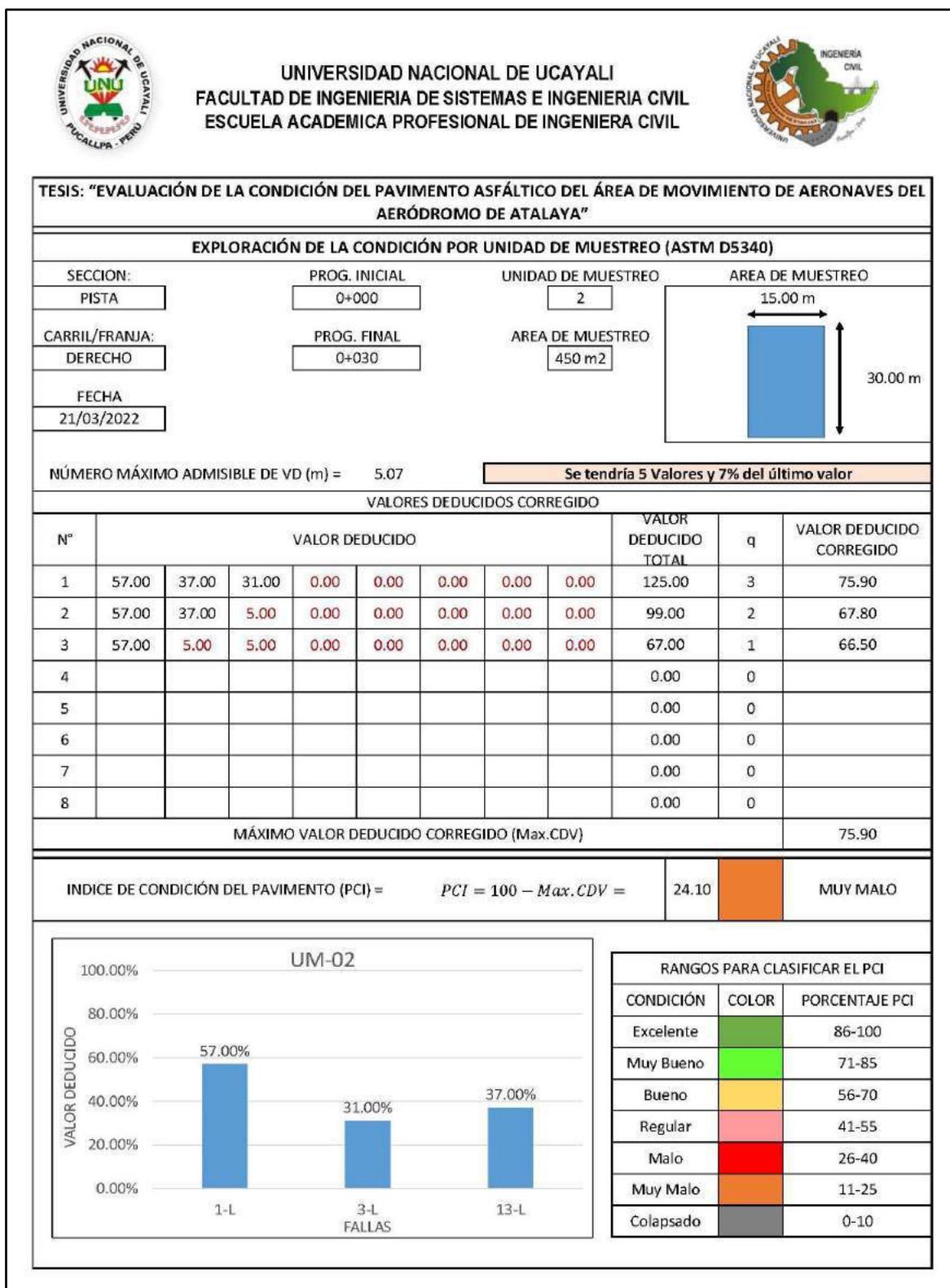
Memoria de cálculo – UM 01



Fuente: Elaboración propia.

Figura 85

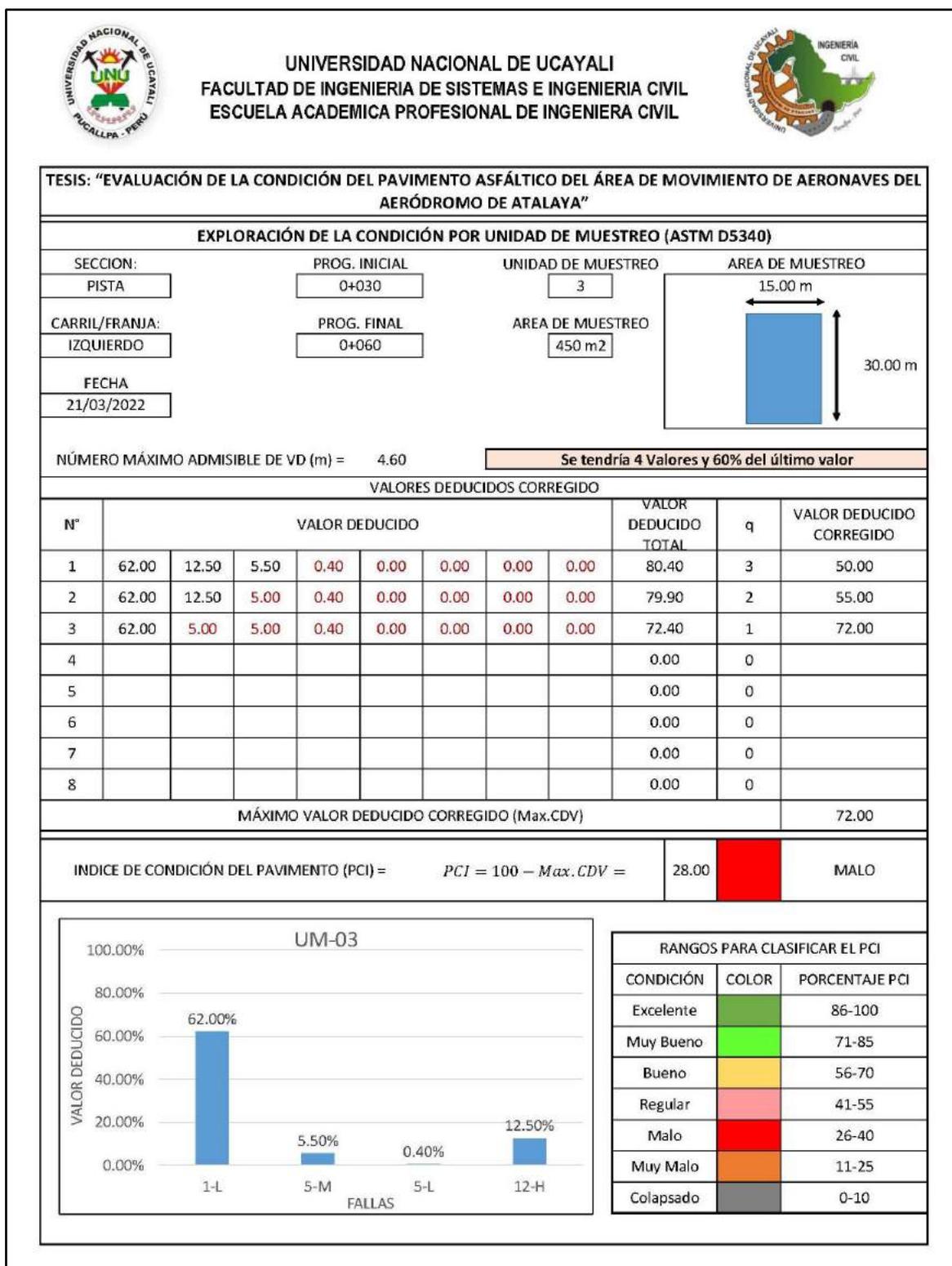
Memoria de cálculo – UM 02



Fuente: Elaboración propia.

Figura 86

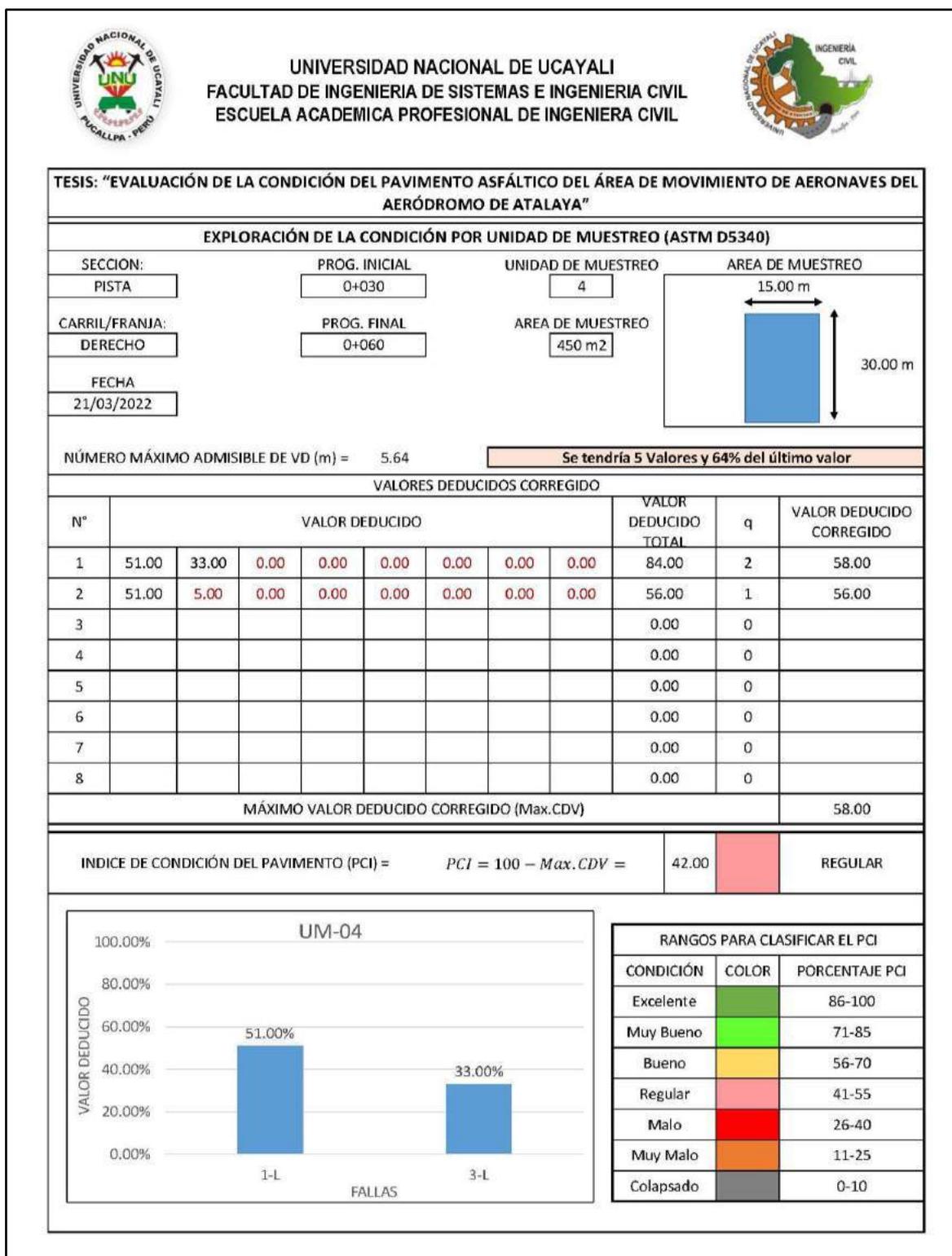
Memoria de cálculo – UM 03



Fuente: Elaboración propia.

Figura 87

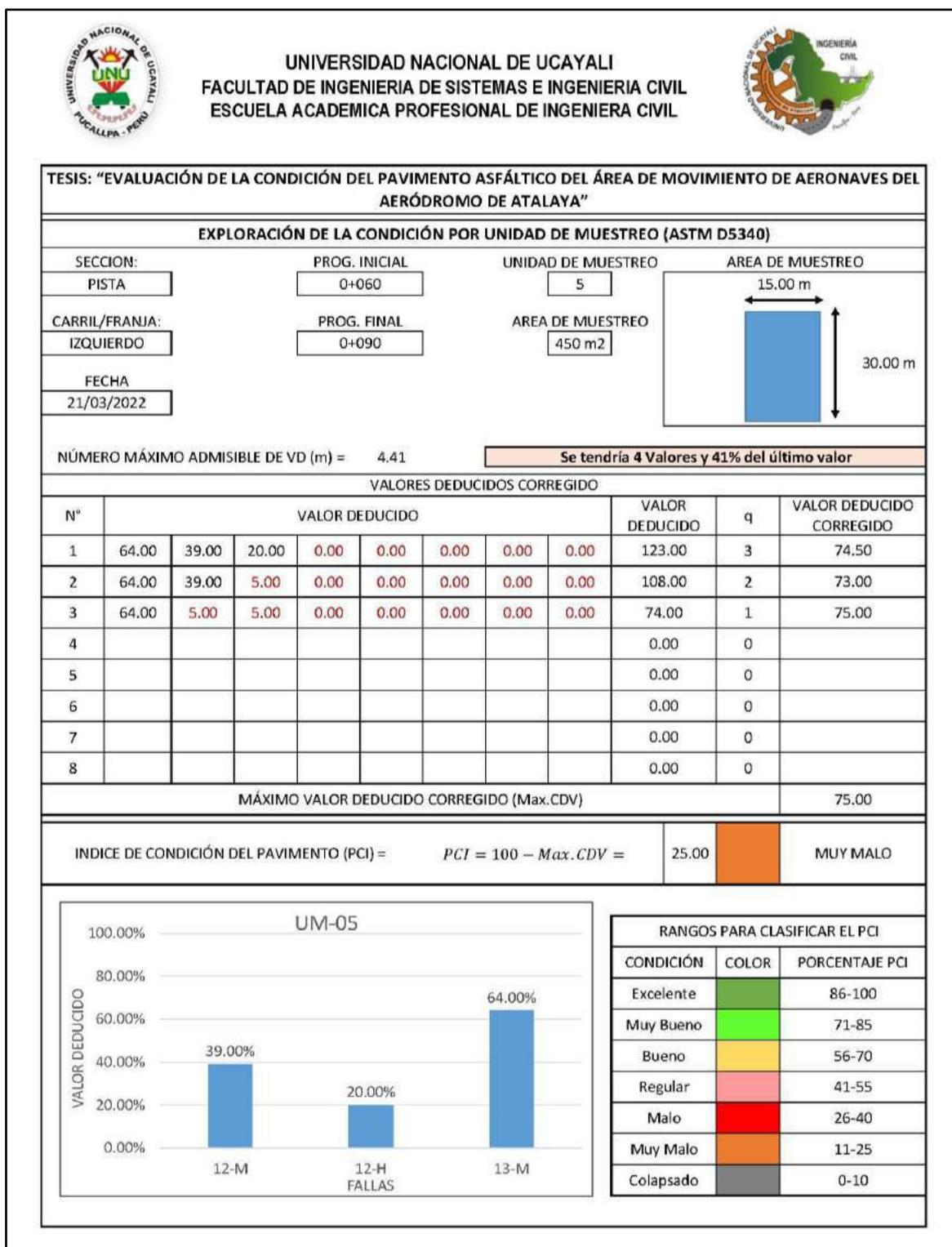
Memoria de cálculo – UM 04



Fuente: Elaboración propia.

Figura 88

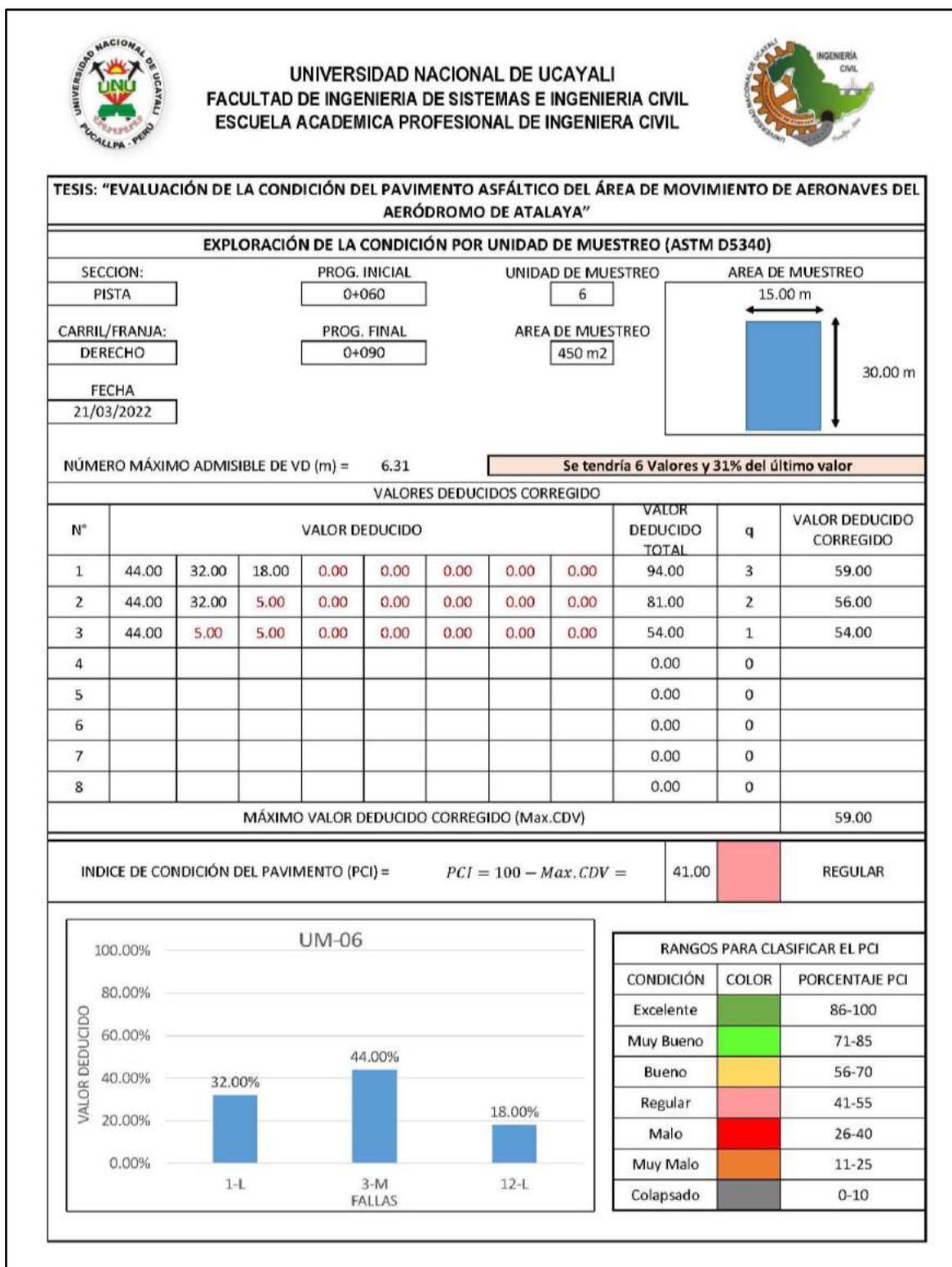
Memoria de cálculo – UM 05



Fuente: Elaboración propia.

Figura 89

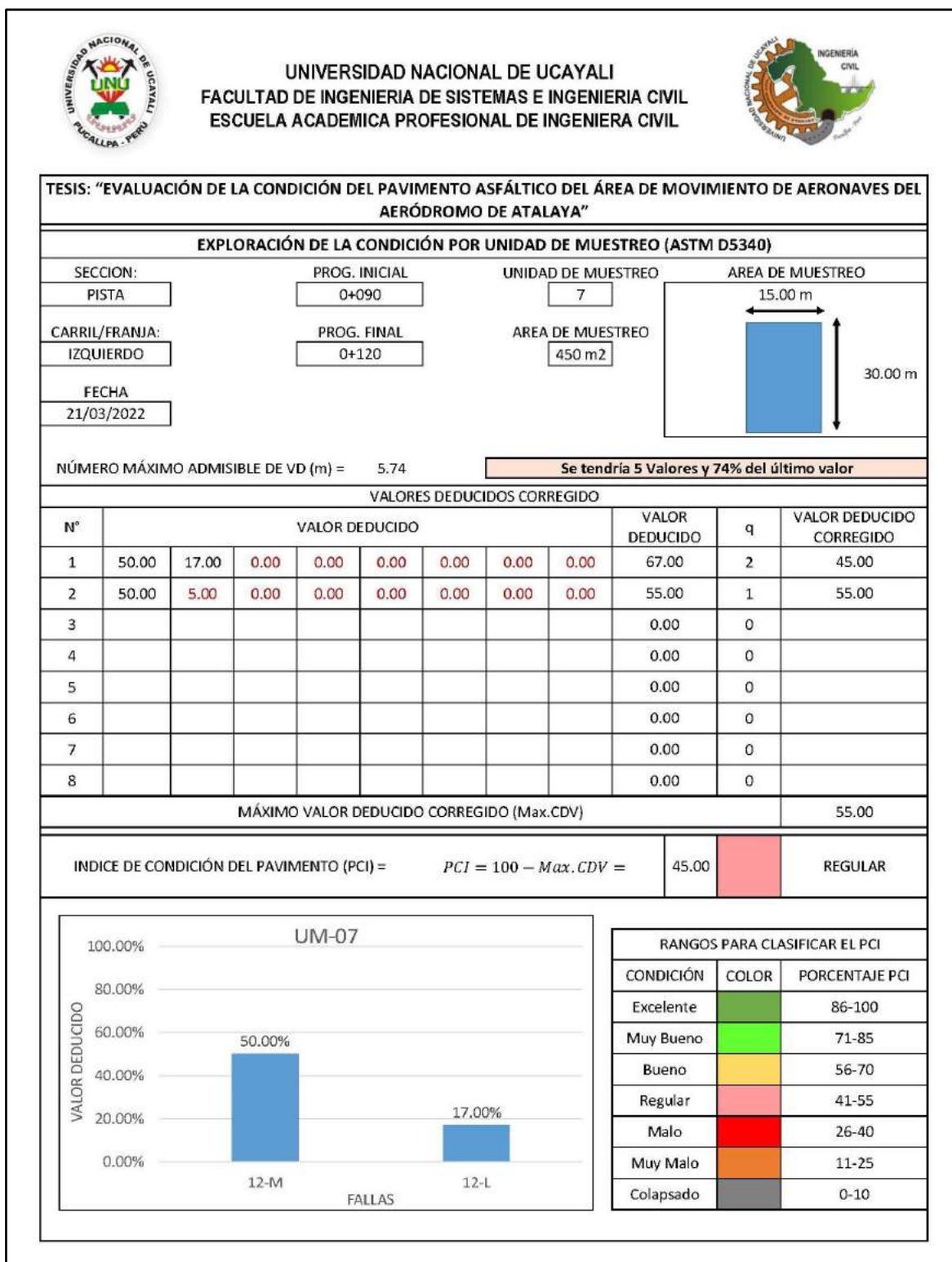
Memoria de cálculo – UM 06



Fuente: Elaboración propia.

Figura 90

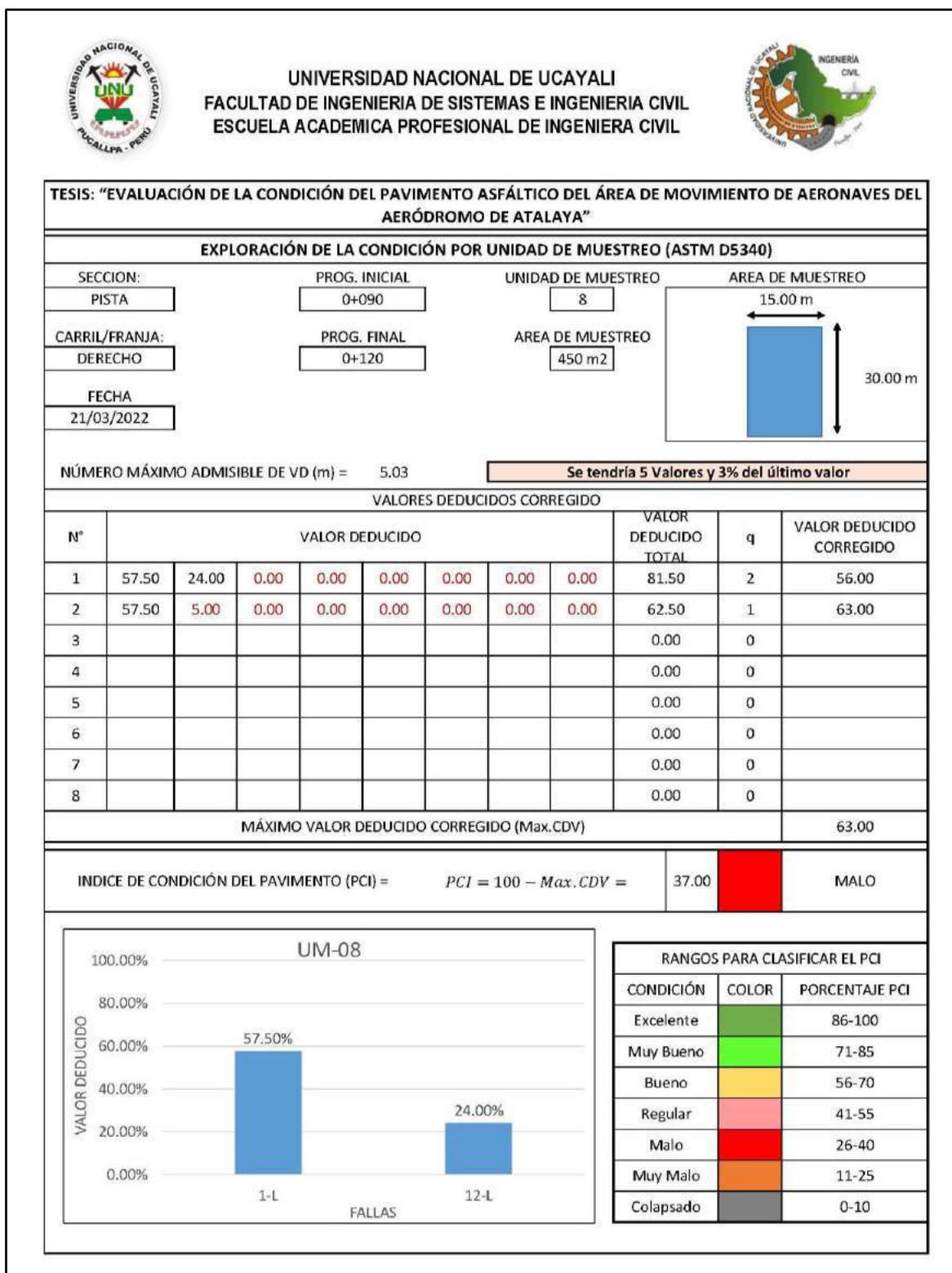
Memoria de cálculo – UM 07



Fuente: Elaboración propia.

Figura 91

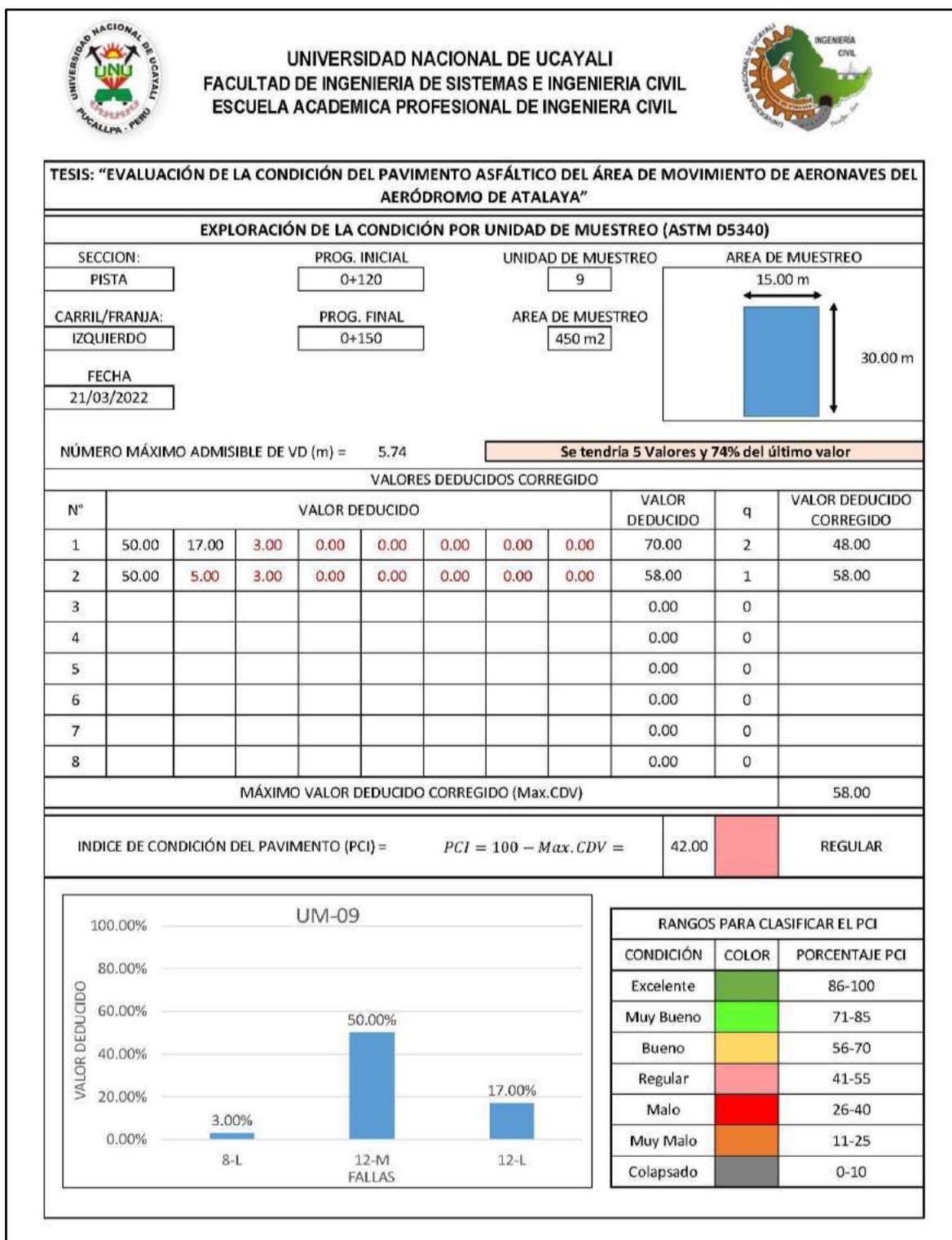
Memoria de cálculo – UM 08



Fuente: Elaboración propia.

Figura 92

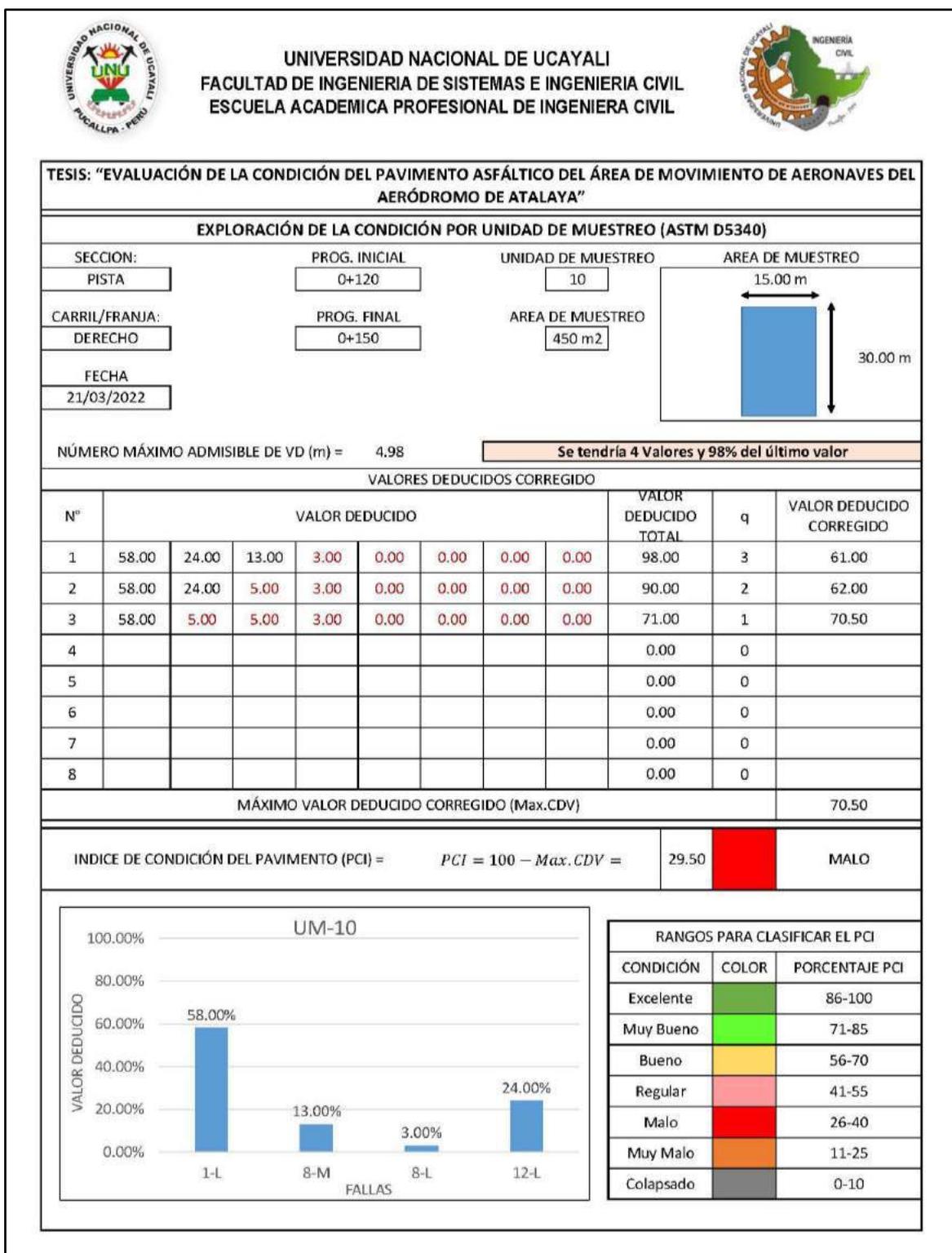
Memoria de cálculo – UM 09



Fuente: Elaboración propia.

Figura 93

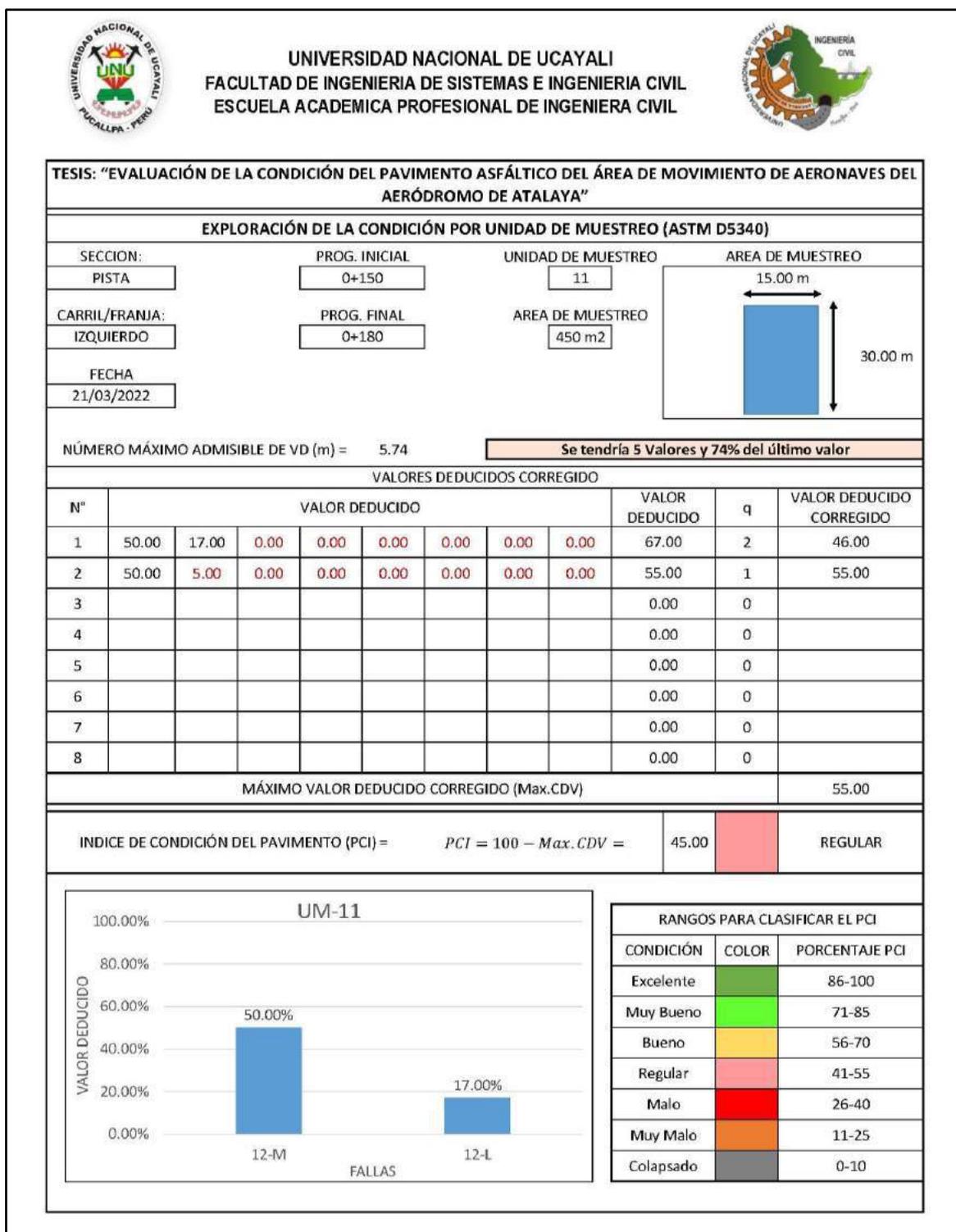
Memoria de cálculo – UM 10



Fuente: Elaboración propia.

Figura 94

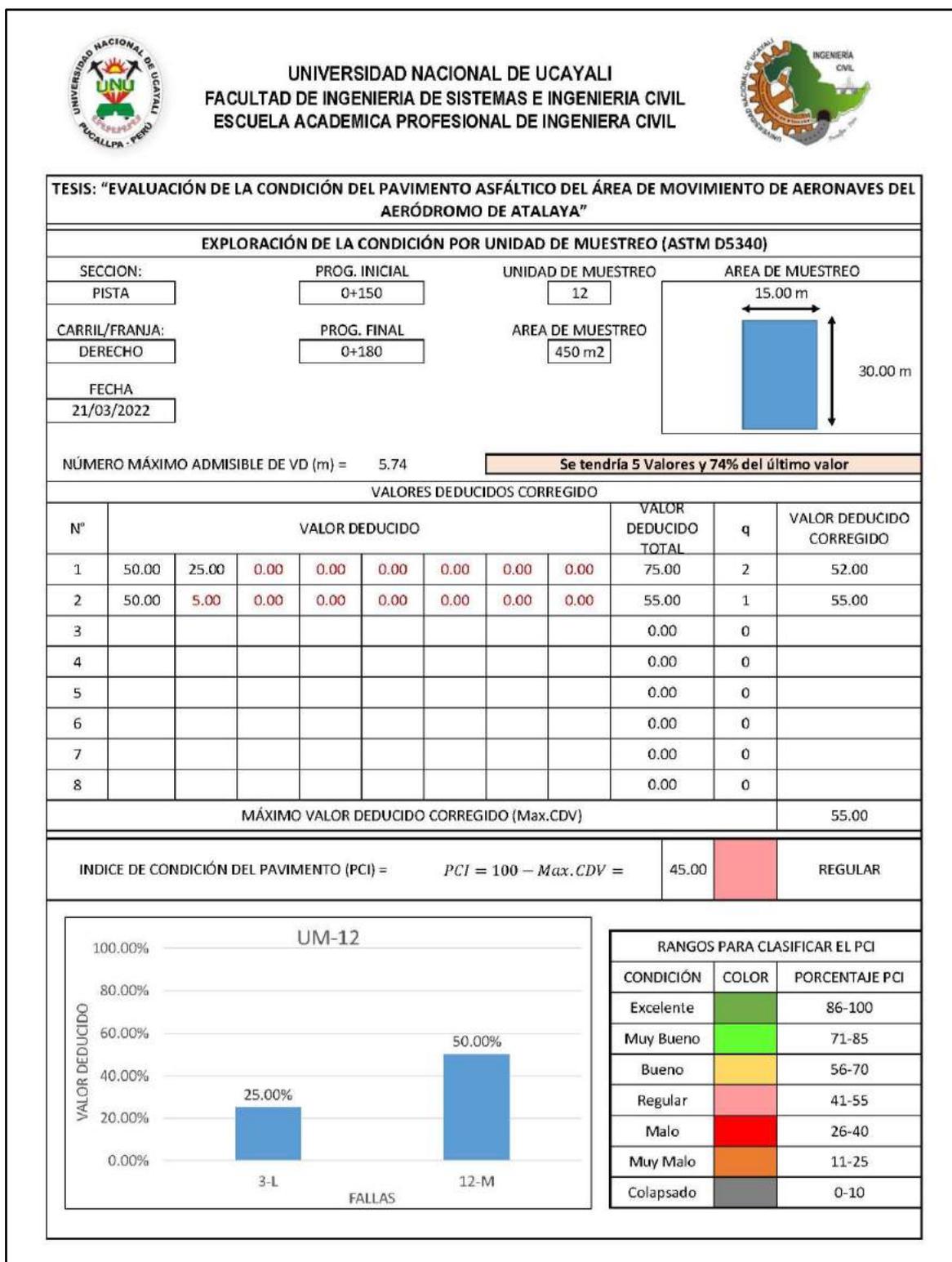
Memoria de cálculo – UM 11



Fuente: Elaboración propia.

Figura 95

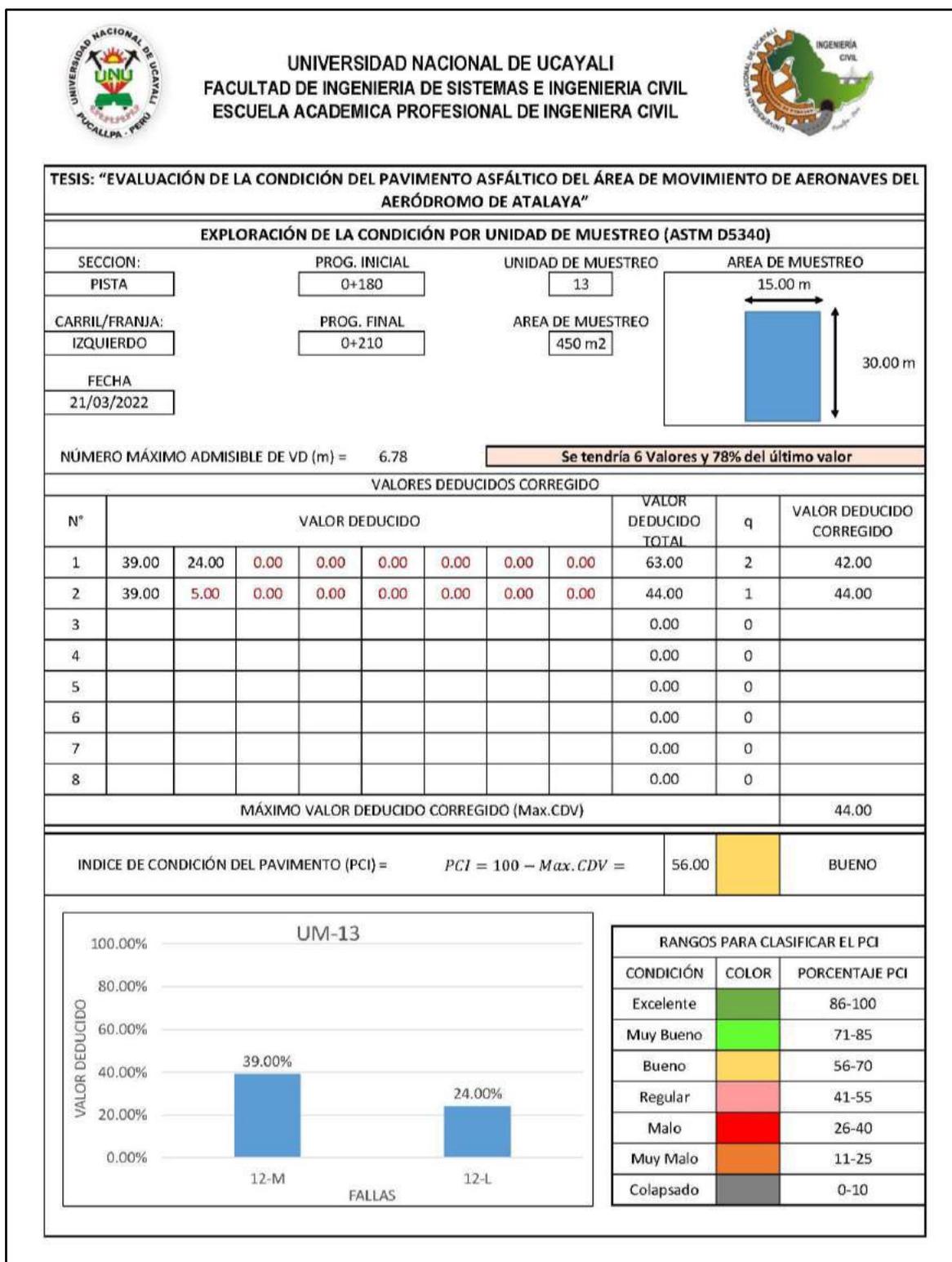
Memoria de cálculo – UM 12



Fuente: Elaboración propia.

Figura 96

Memoria de cálculo – UM 13



Fuente: Elaboración propia.

Figura 97

Memoria de cálculo – UM 14

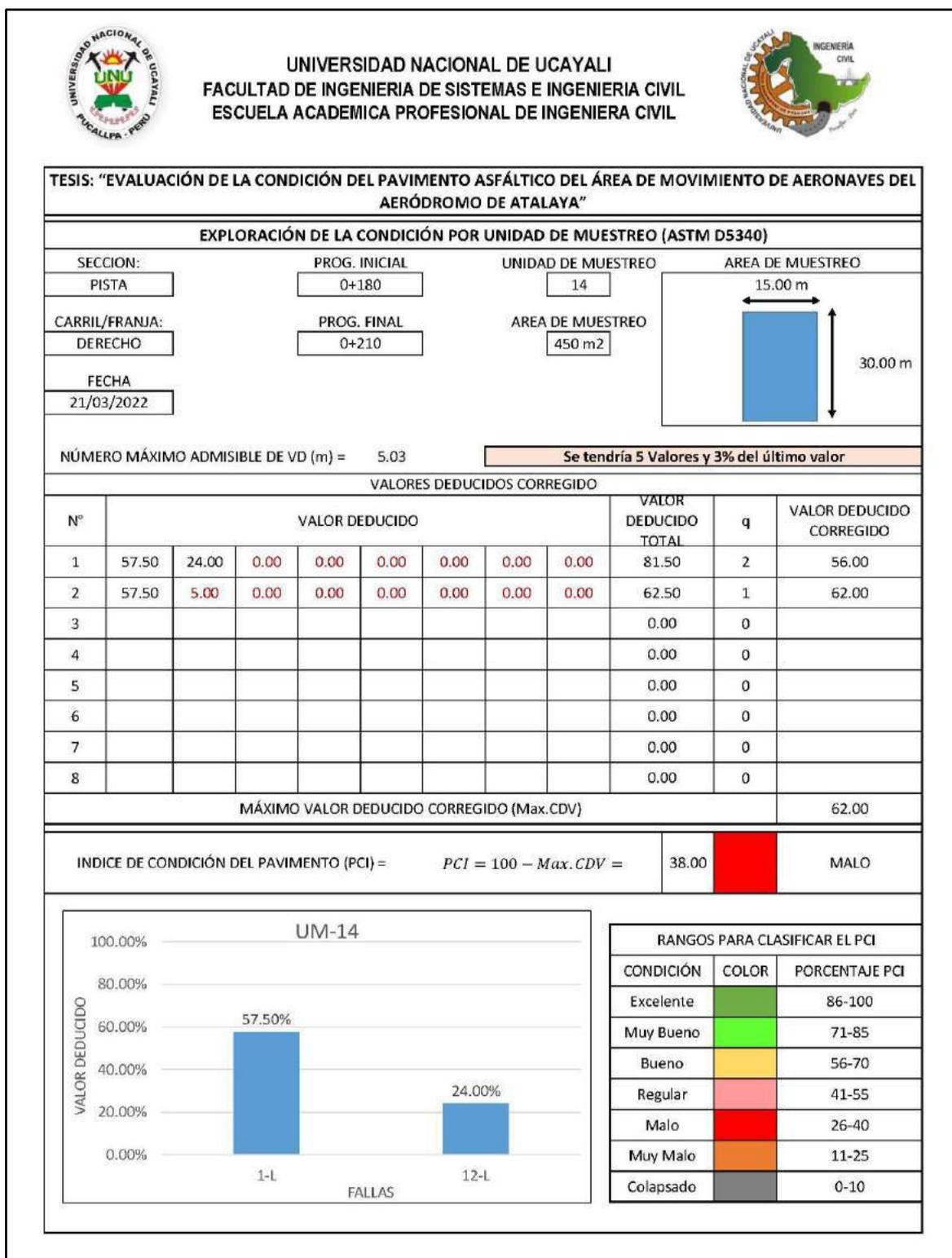
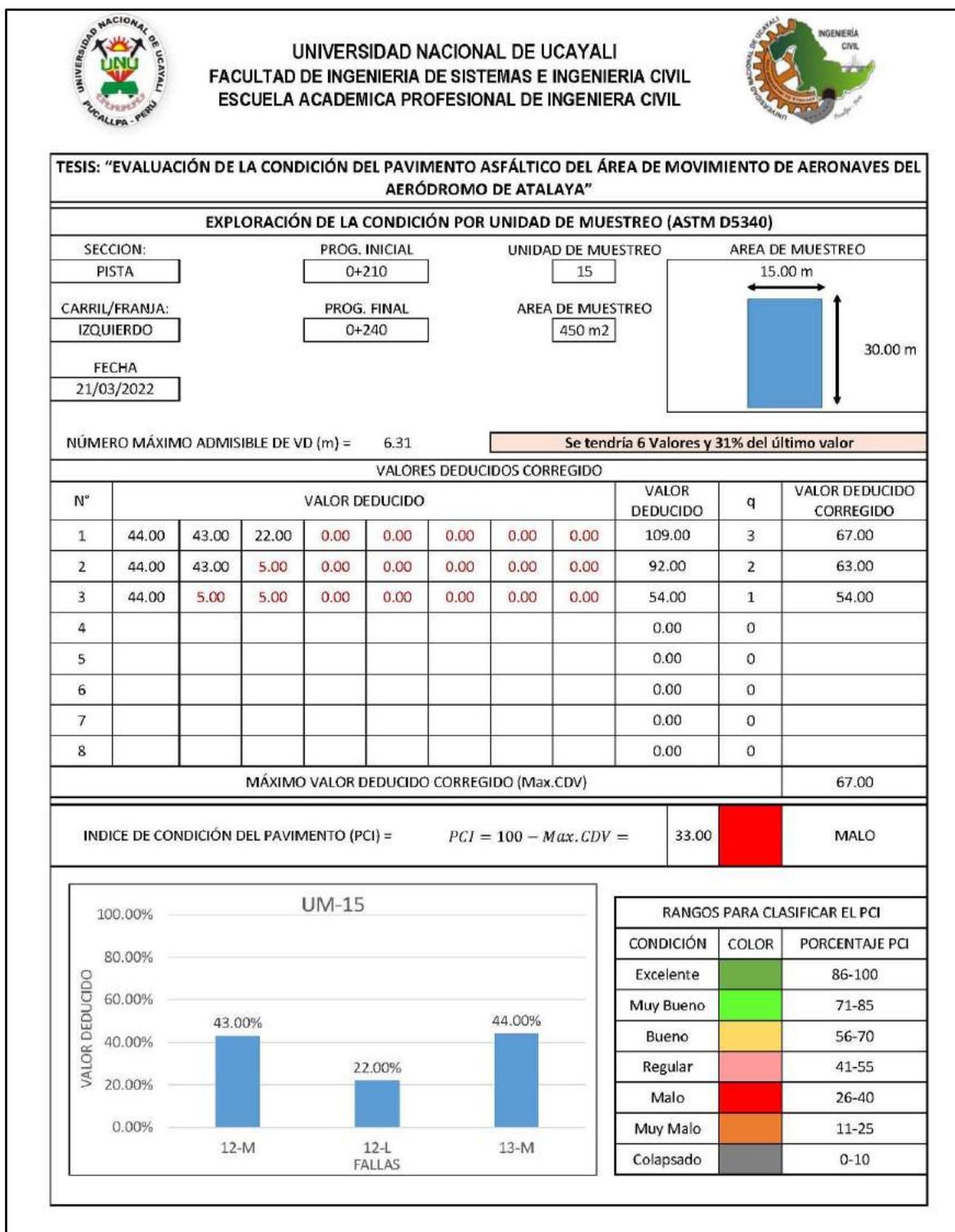


Figura 98

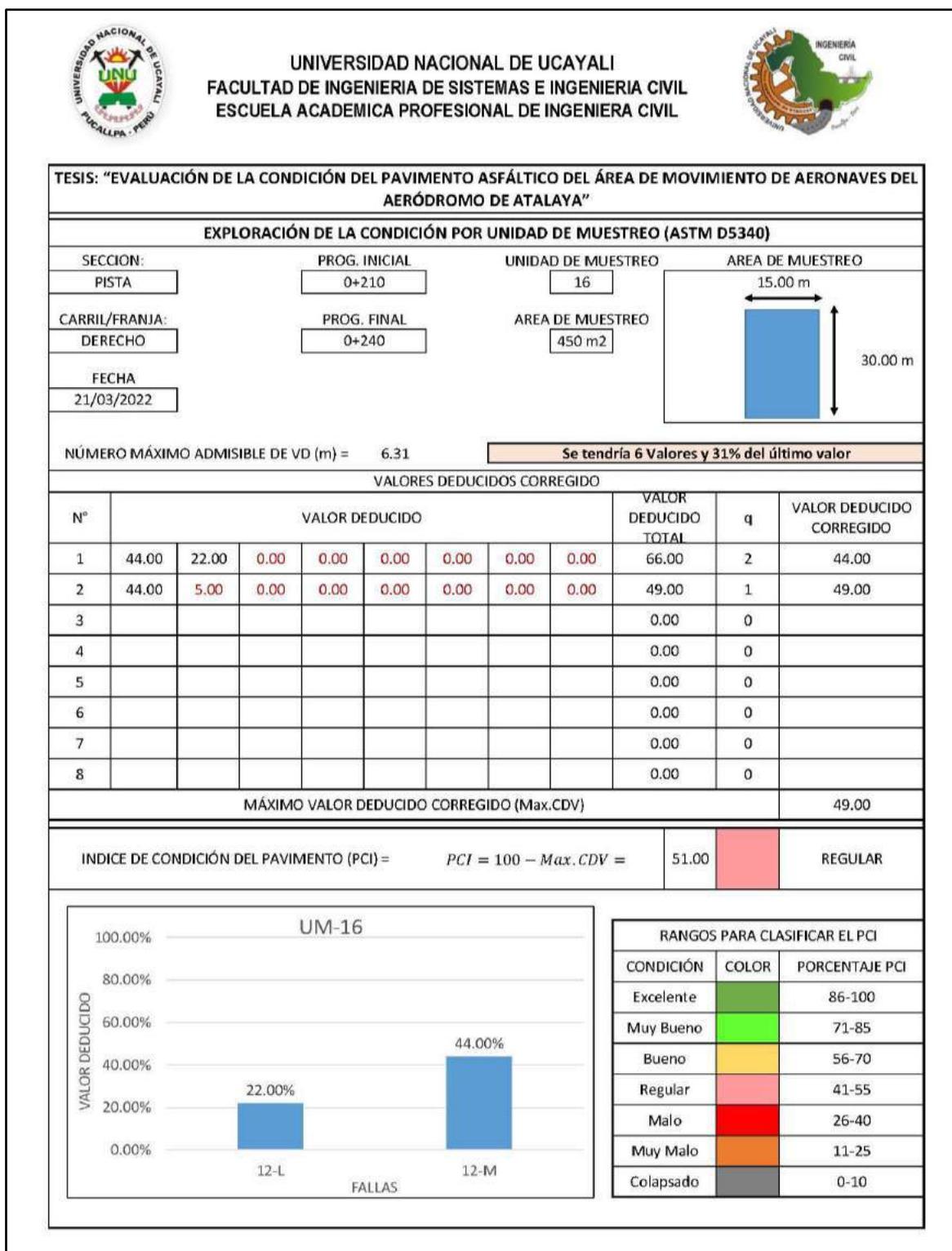
Memoria de cálculo – UM 15



Fuente: Elaboración propia.

Figura 99

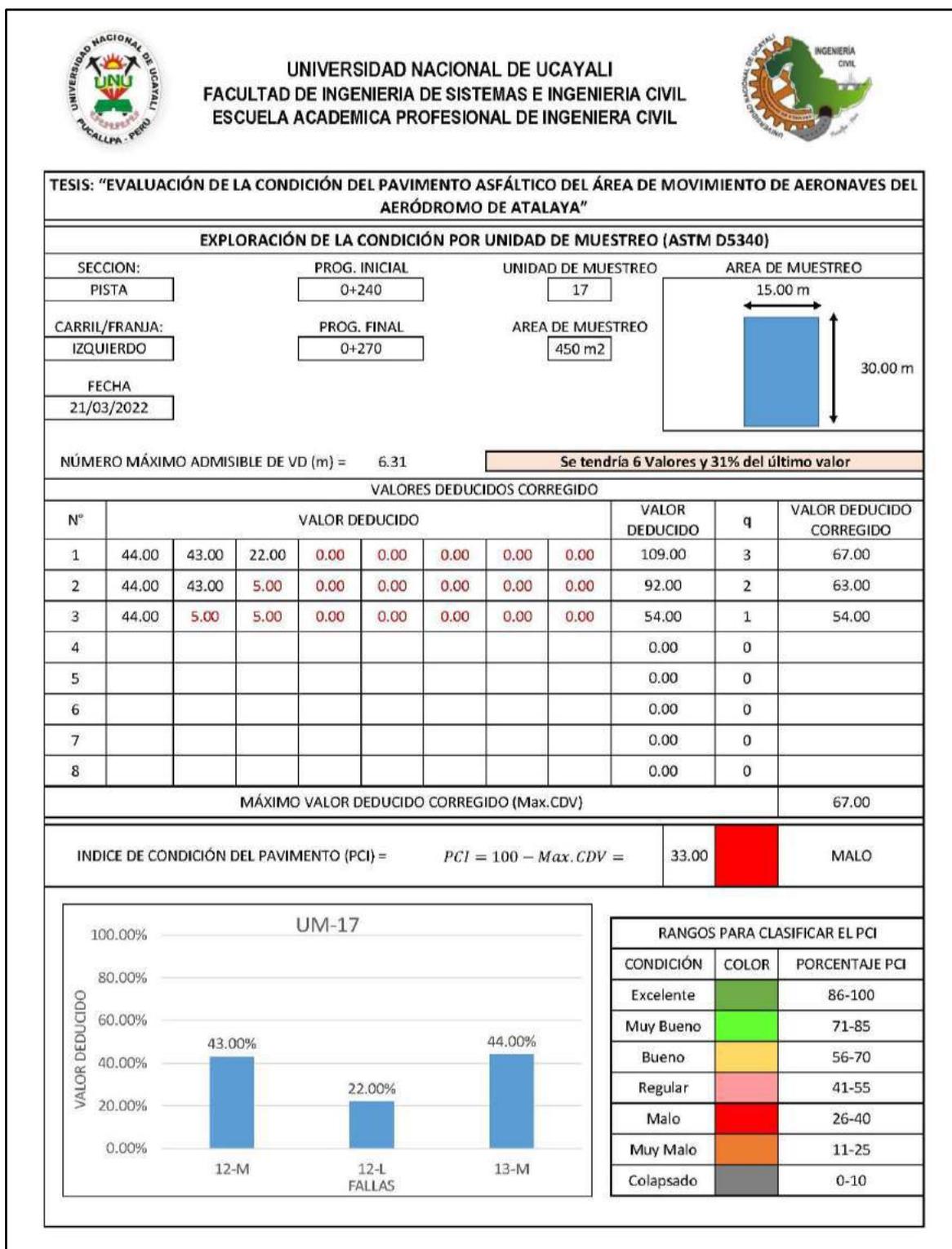
Memoria de cálculo – UM 16



Fuente: Elaboración propia.

Figura 100

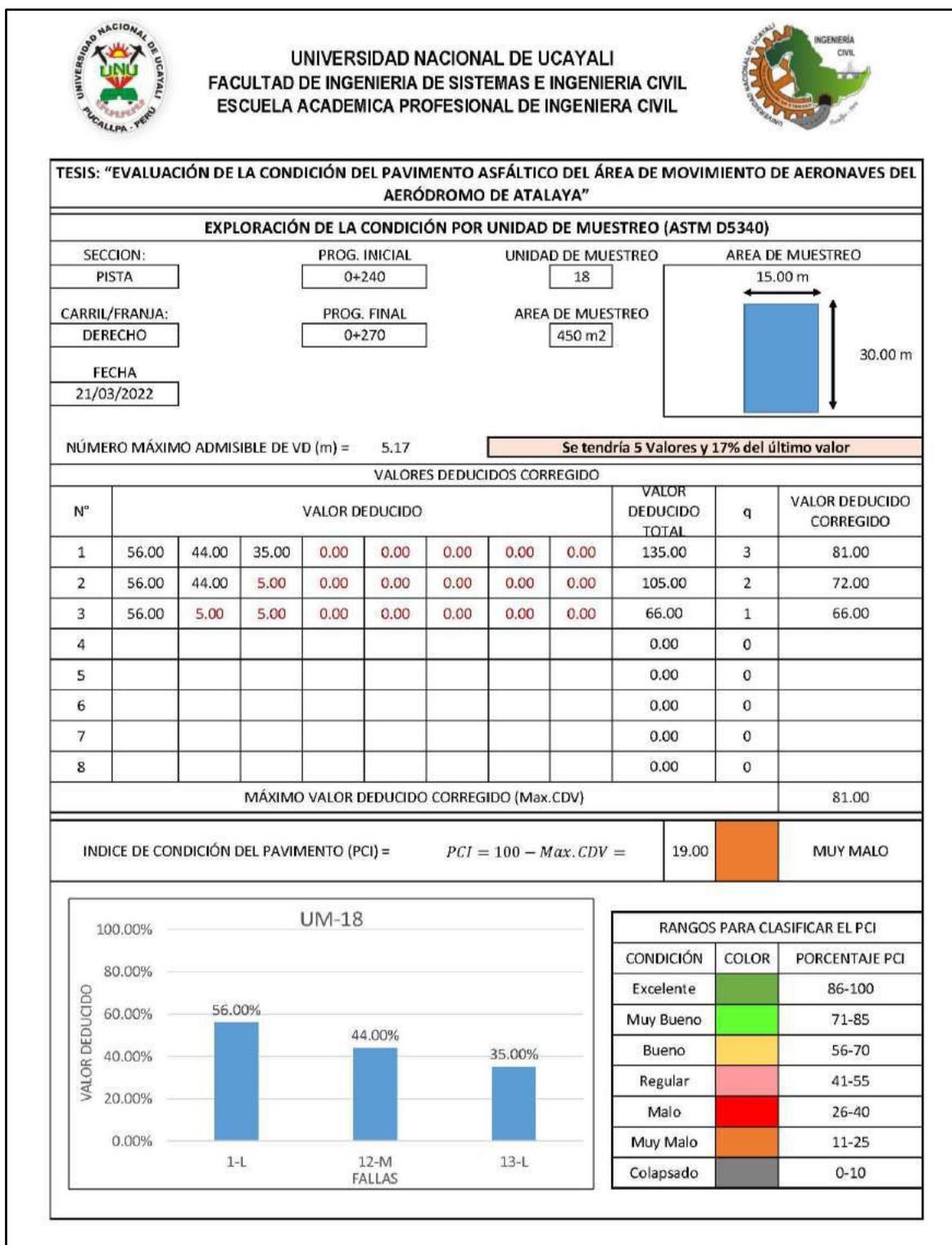
Memoria de cálculo – UM 17



Fuente: Elaboración propia.

Figura 101

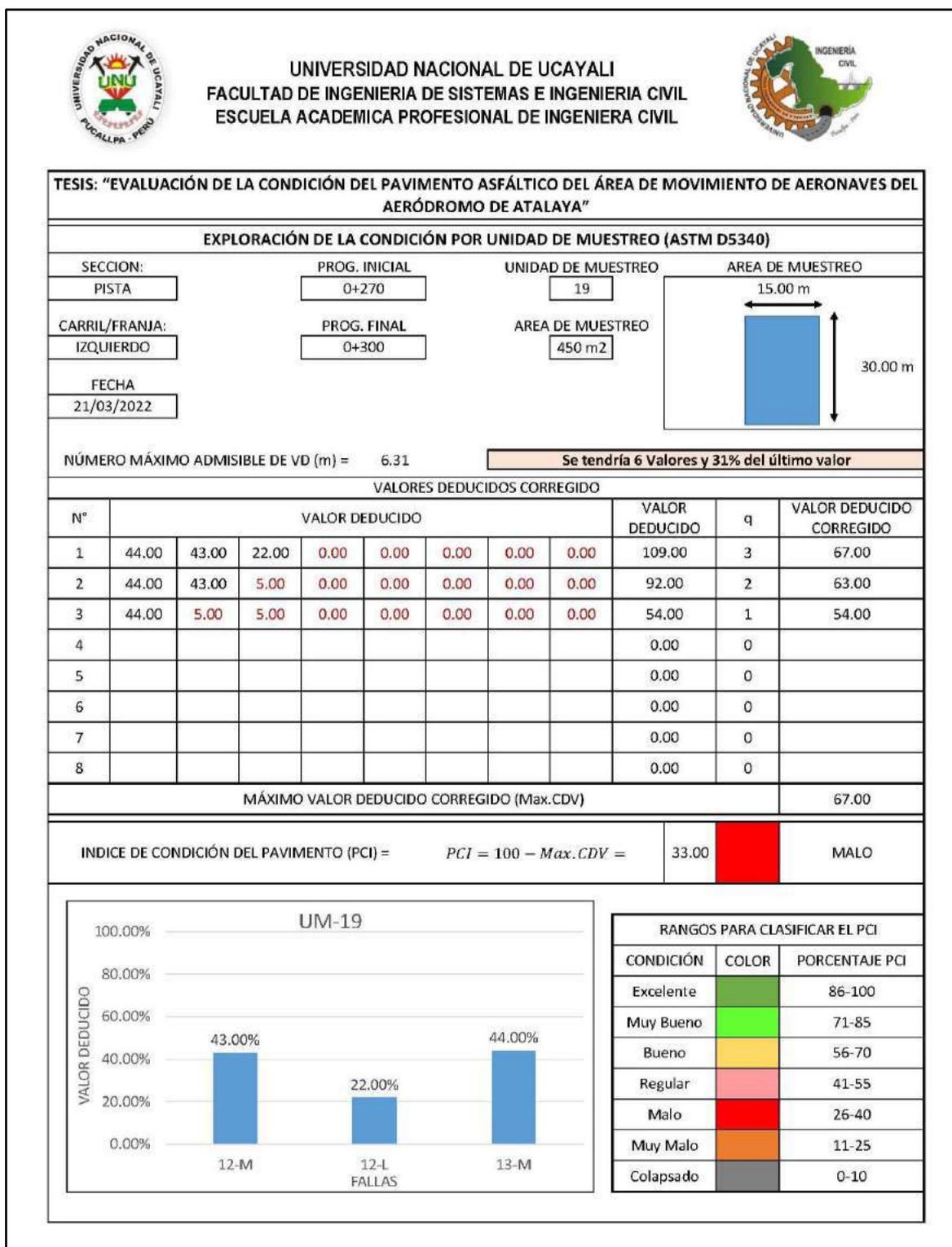
Memoria de cálculo – UM 18



Fuente: Elaboración propia.

Figura 102

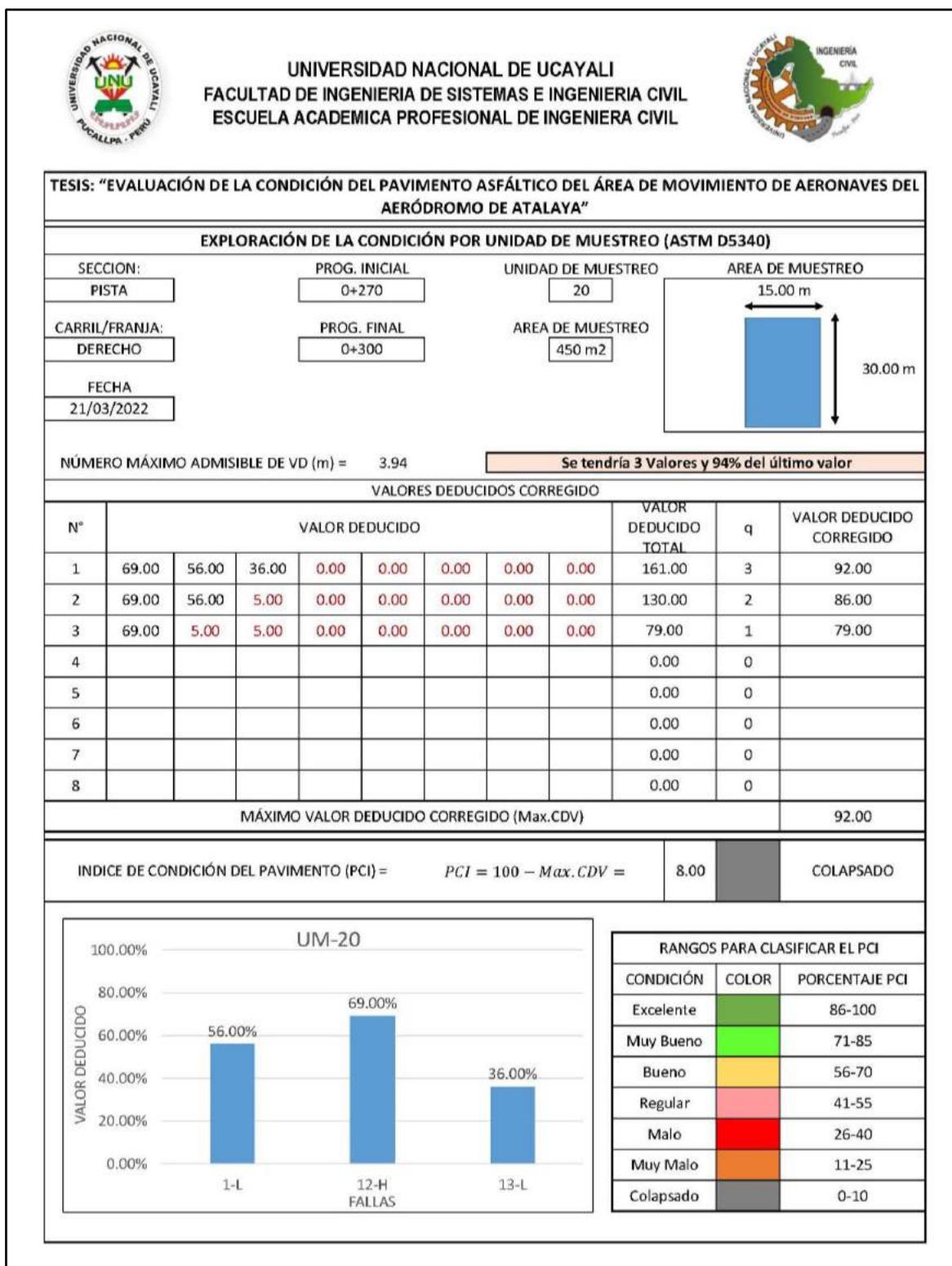
Memoria de cálculo – UM 19



Fuente: Elaboración propia.

Figura 103

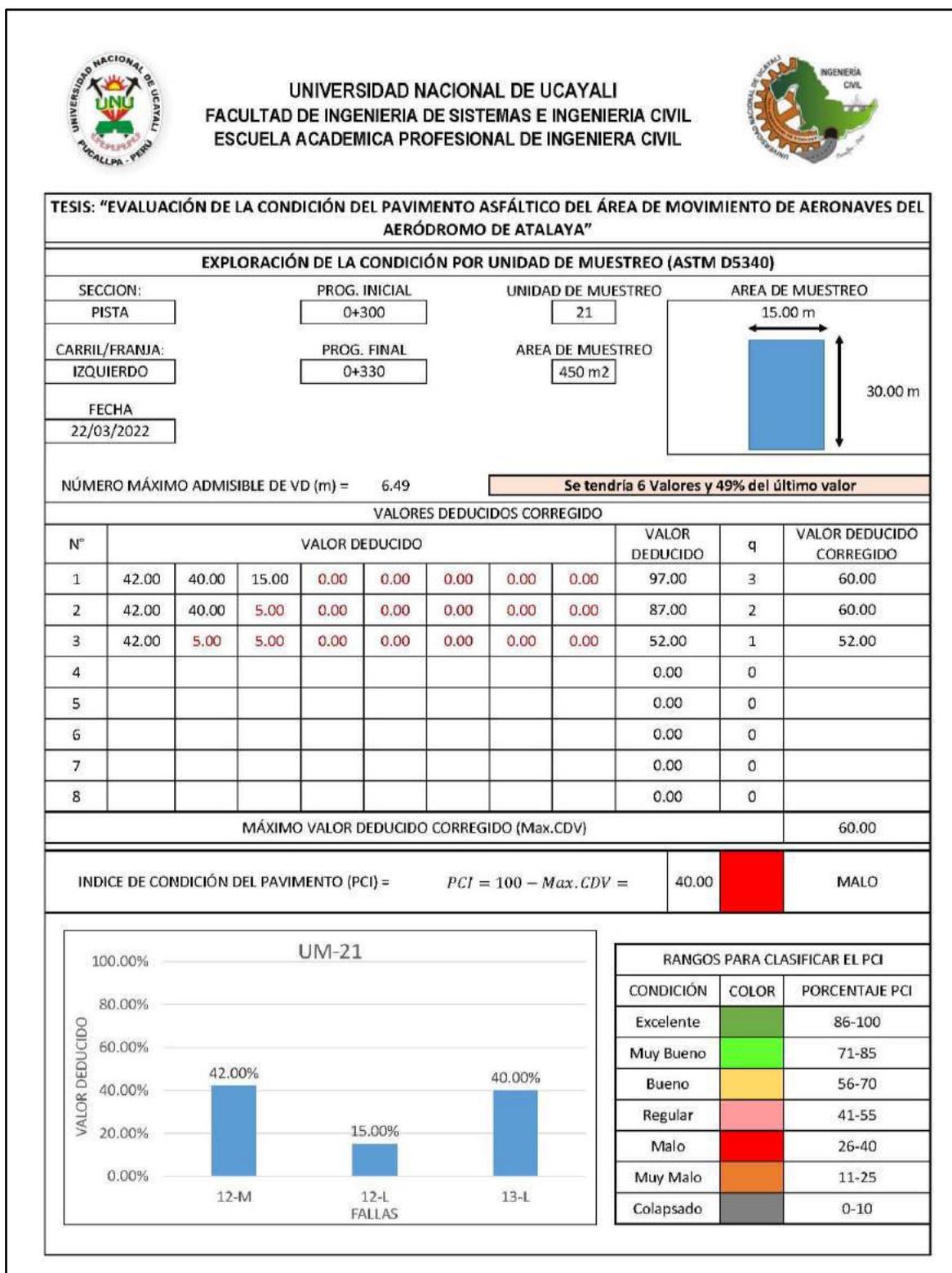
Memoria de cálculo – UM 20



Fuente: Elaboración propia.

Figura 104

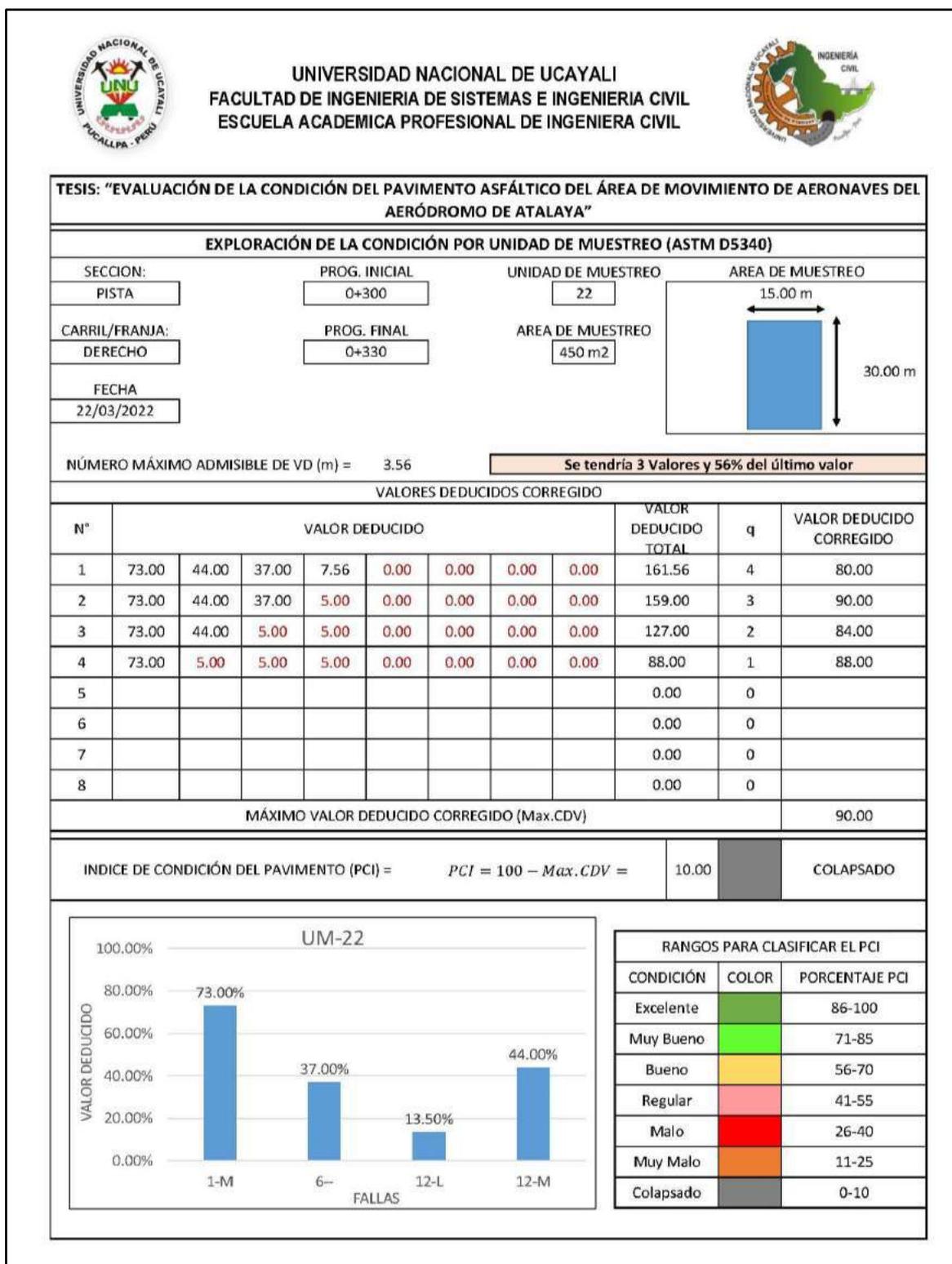
Memoria de cálculo – UM 21



Fuente: Elaboración propia.

Figura 105

Memoria de cálculo – UM 22



Fuente: Elaboración propia.

Figura 106

Memoria de cálculo – UM 23

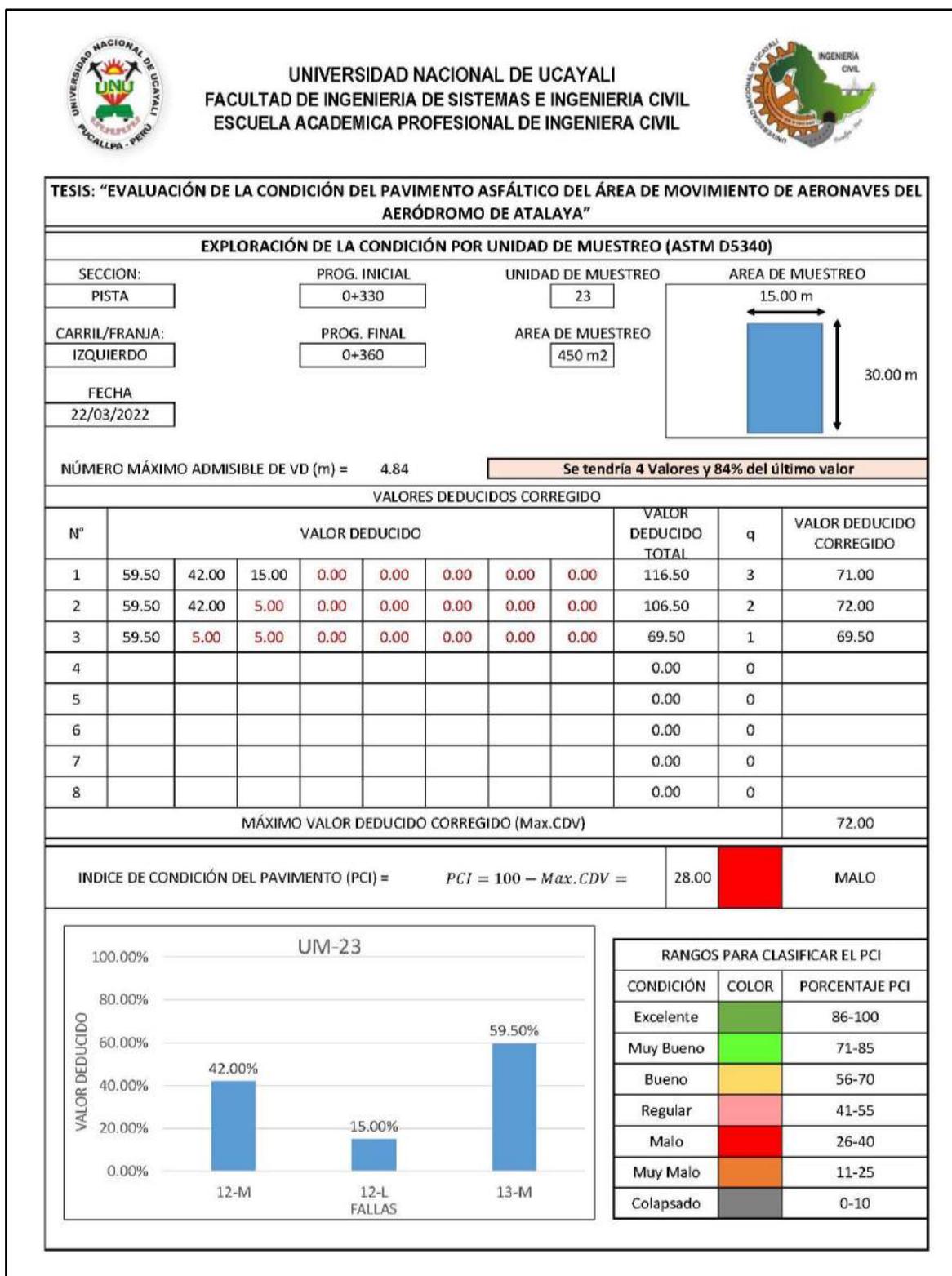
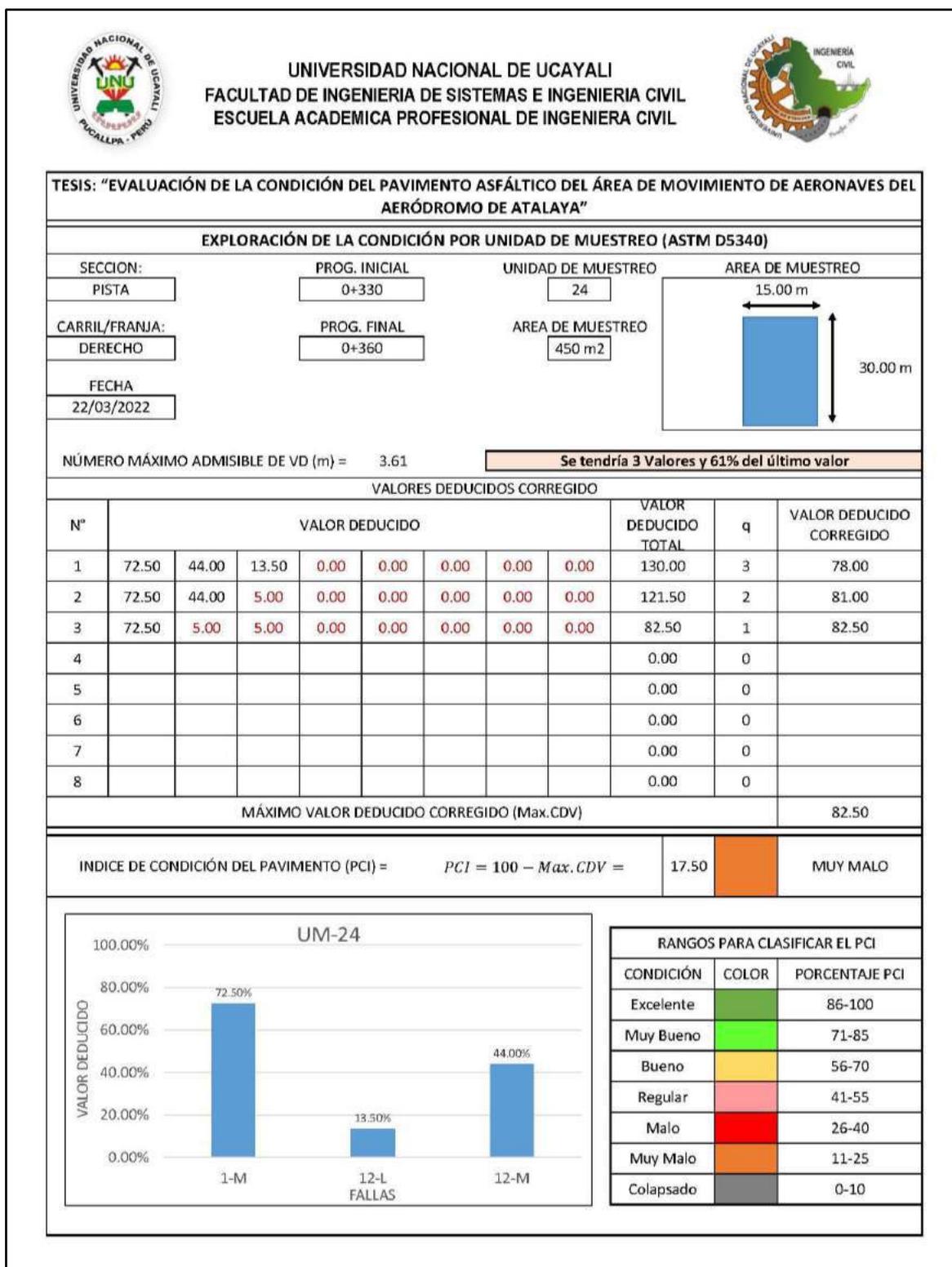


Figura 107

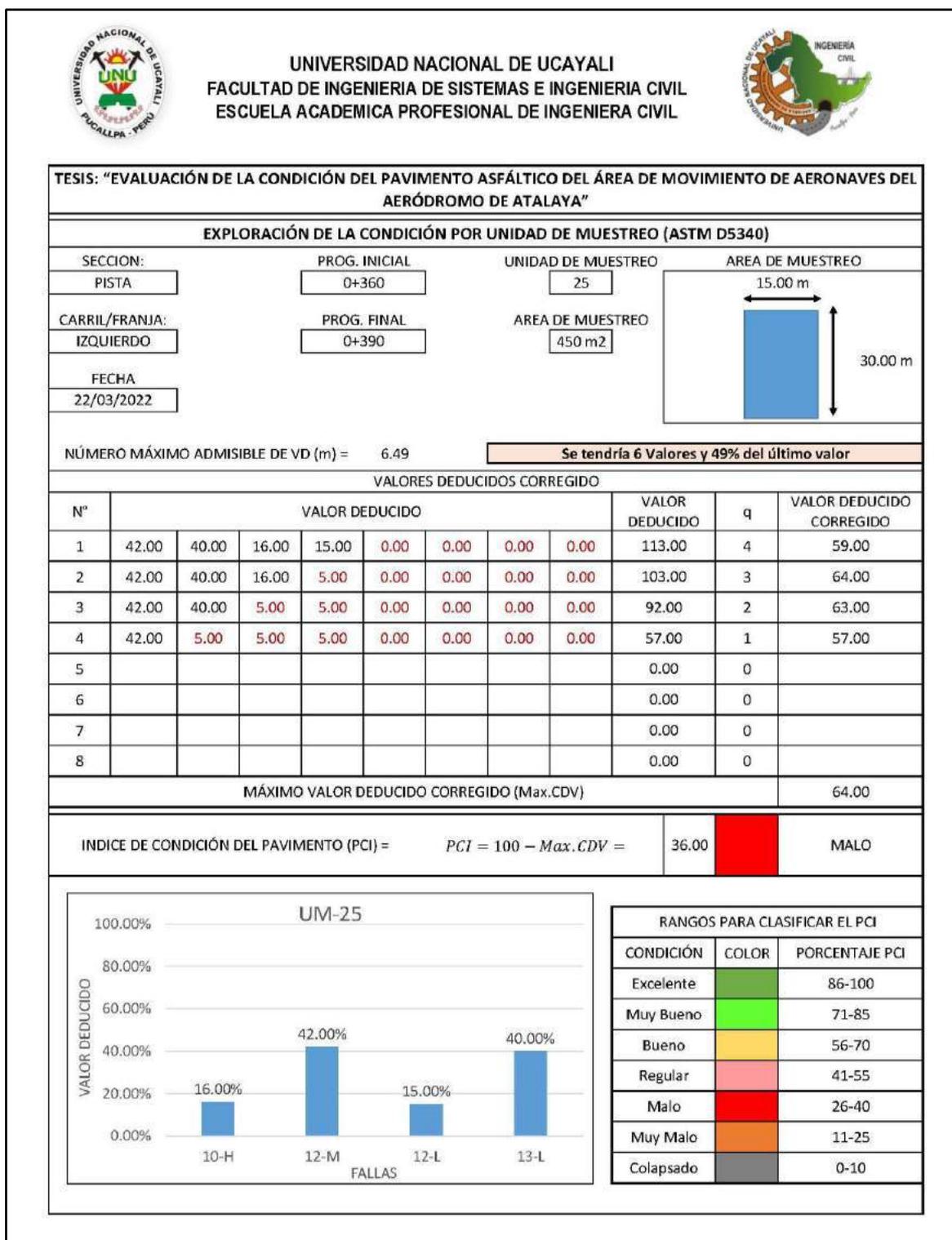
Memoria de cálculo – UM 24



Fuente: Elaboración propia.

Figura 108

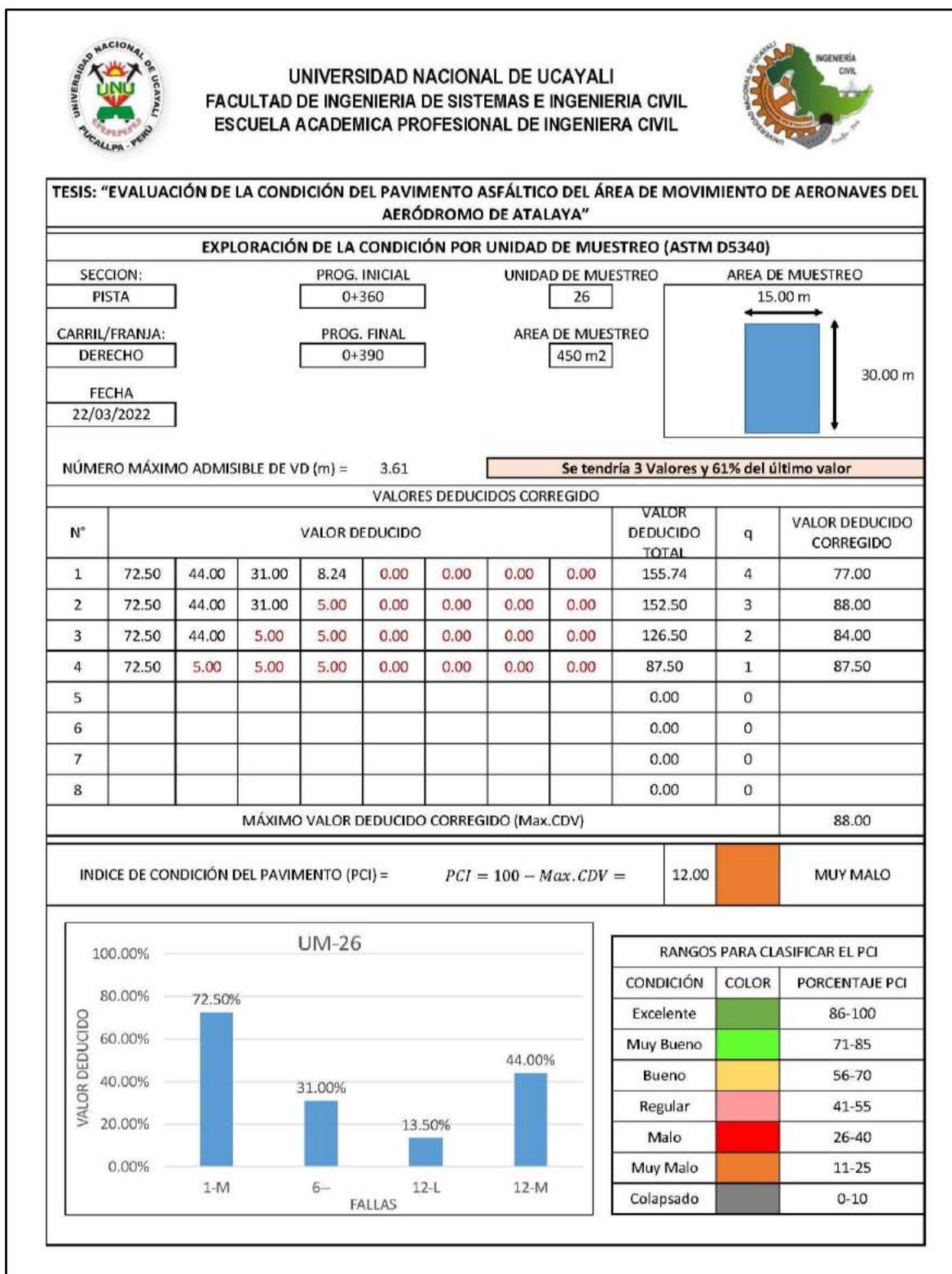
Memoria de cálculo – UM 25



Fuente: Elaboración propia.

Figura 109

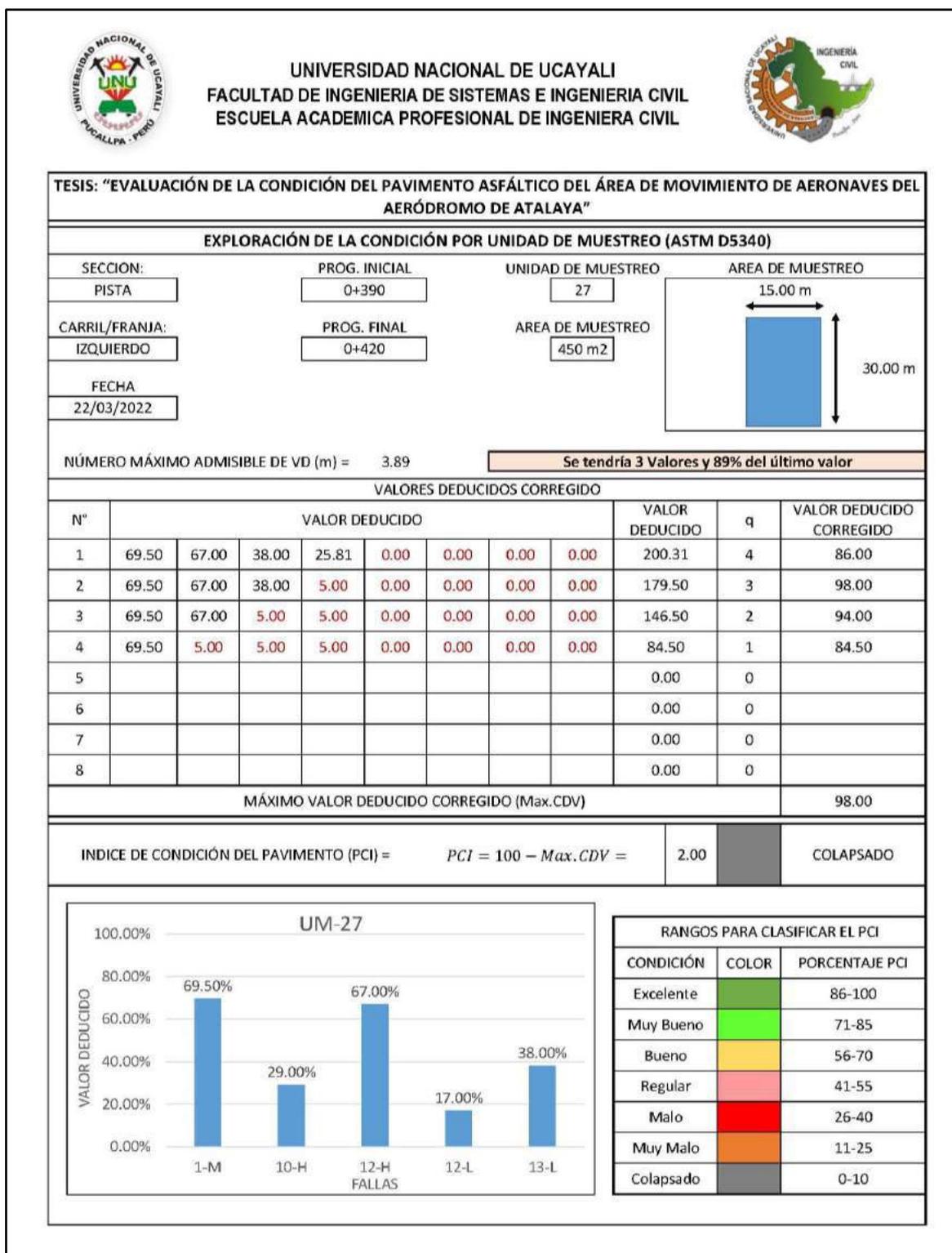
Memoria de cálculo – UM 26



Fuente: Elaboración propia.

Figura 110

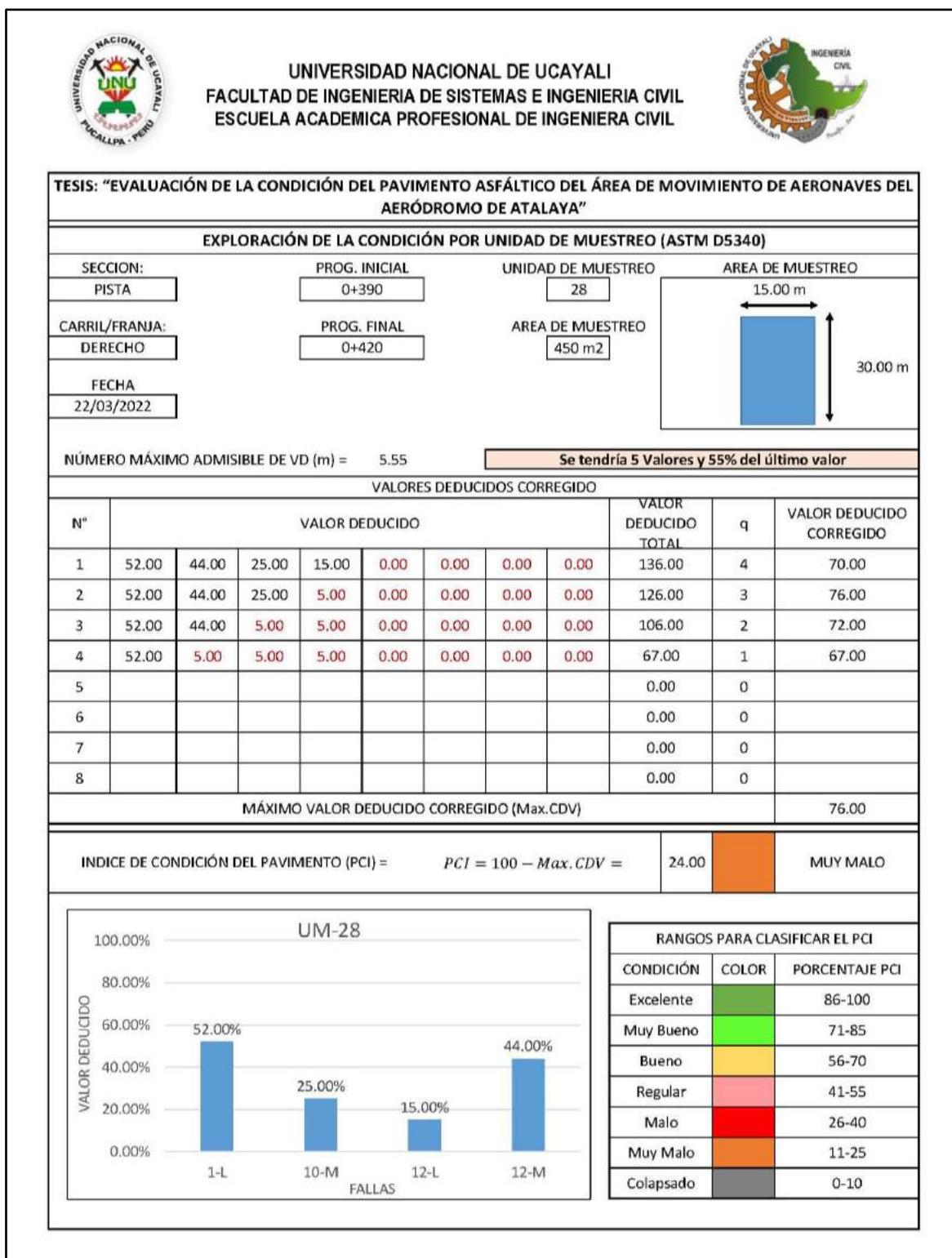
Memoria de cálculo – UM 27



Fuente: Elaboración propia.

Figura 111

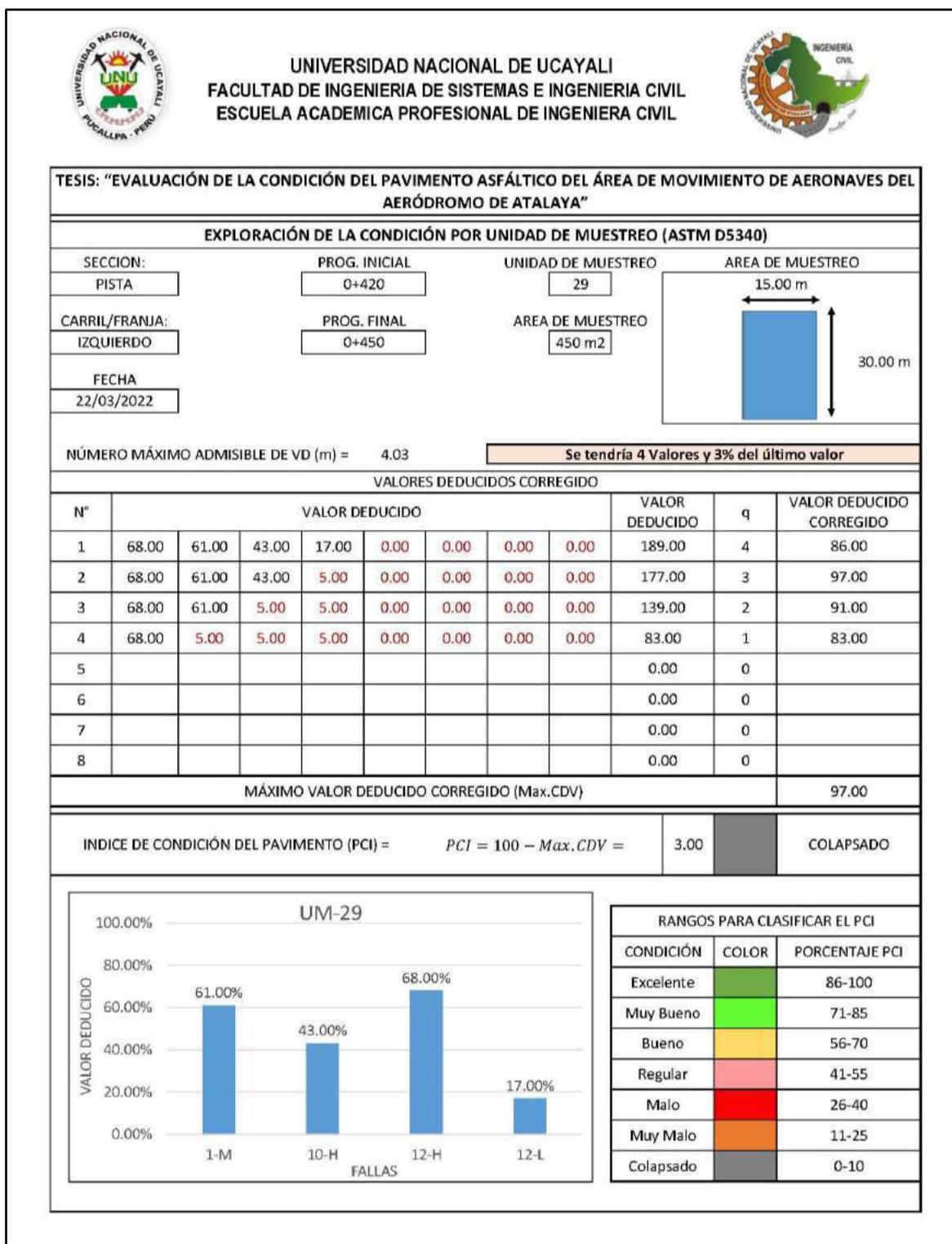
Memoria de cálculo – UM 28



Fuente: Elaboración propia.

Figura 112

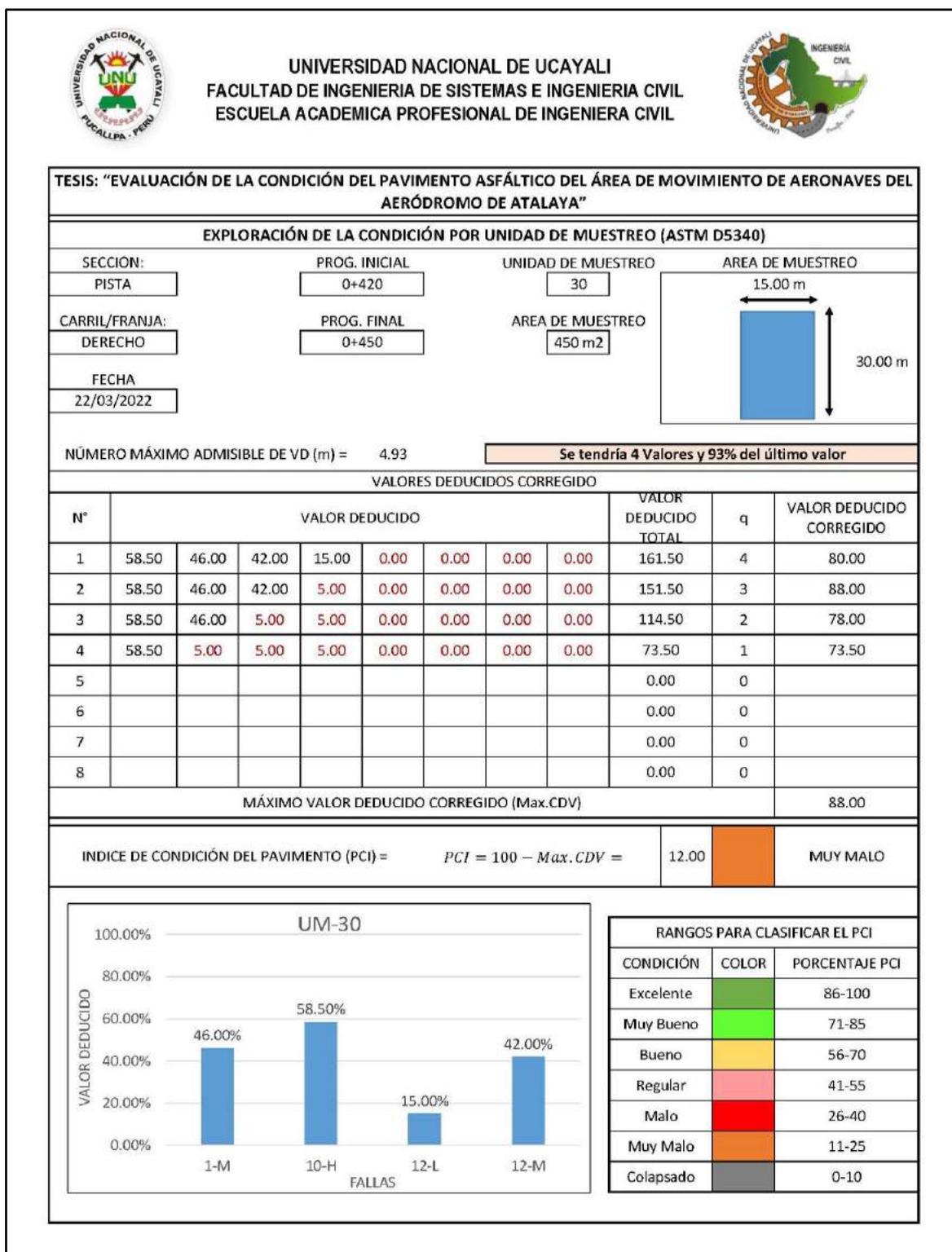
Memoria de cálculo – UM 29



Fuente: Elaboración propia.

Figura 113

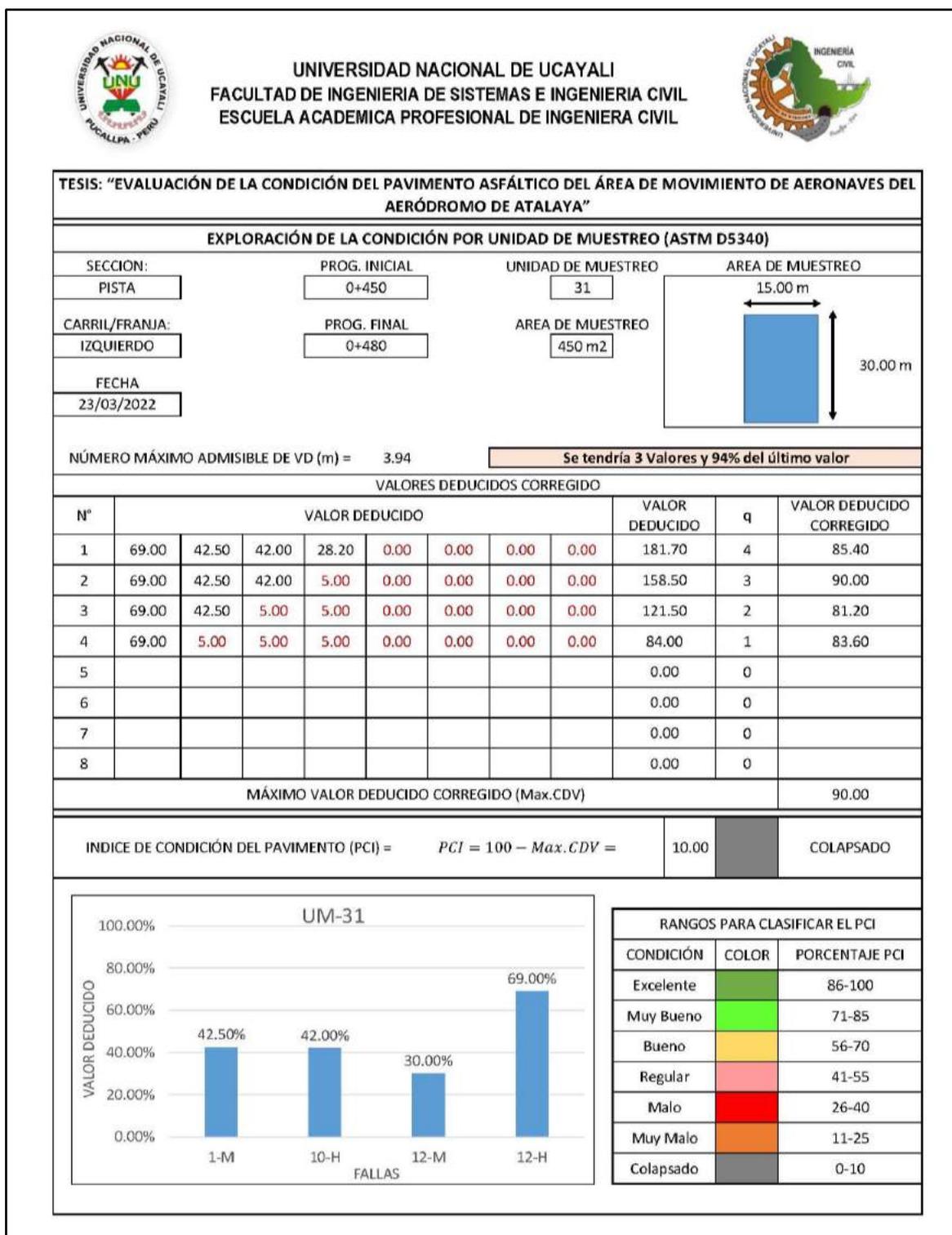
Memoria de cálculo – UM 30



Fuente: Elaboración propia.

Figura 114

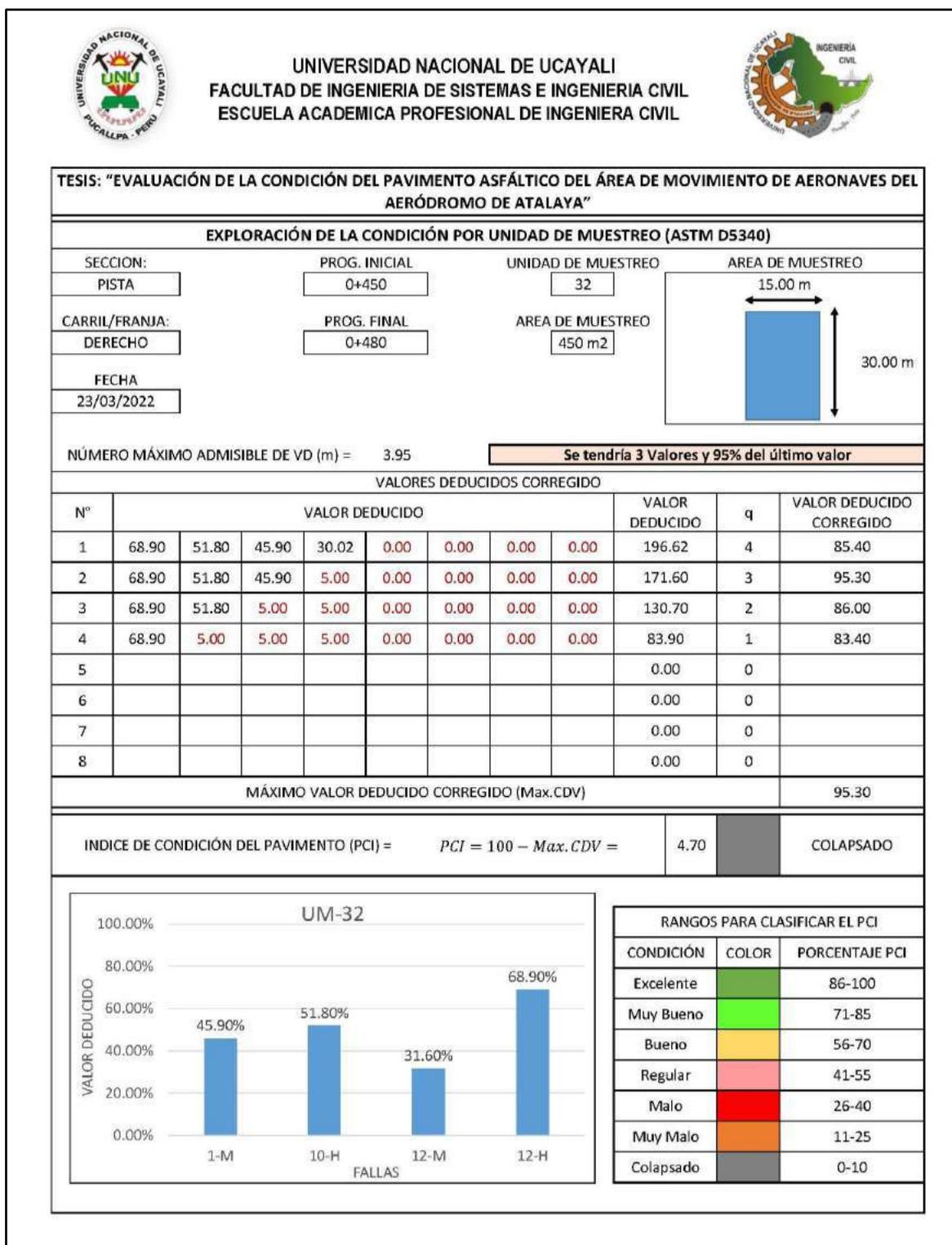
Memoria de cálculo – UM 31



Fuente: Elaboración propia.

Figura 115

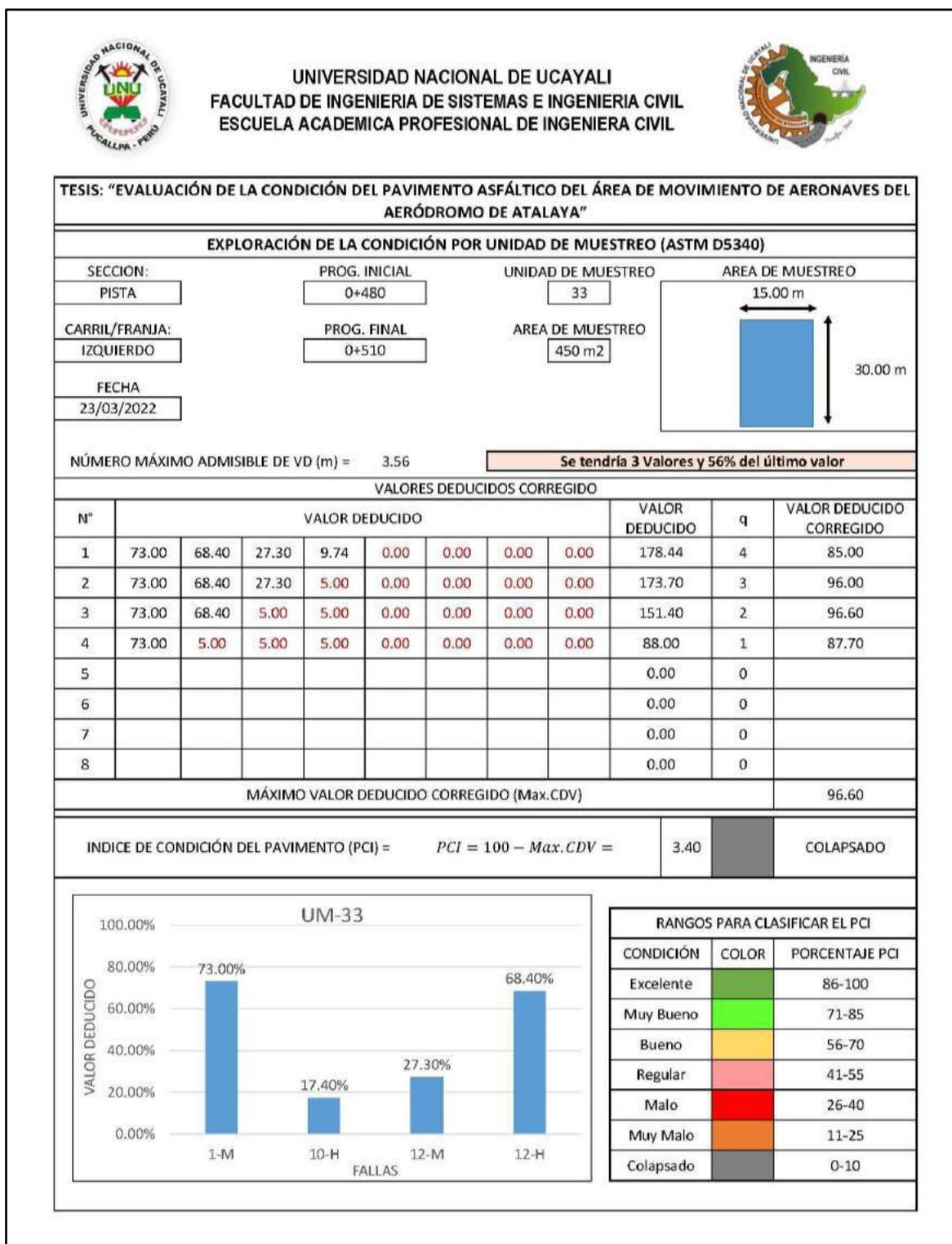
Memoria de cálculo – UM 32



Fuente: Elaboración propia.

Figura 116

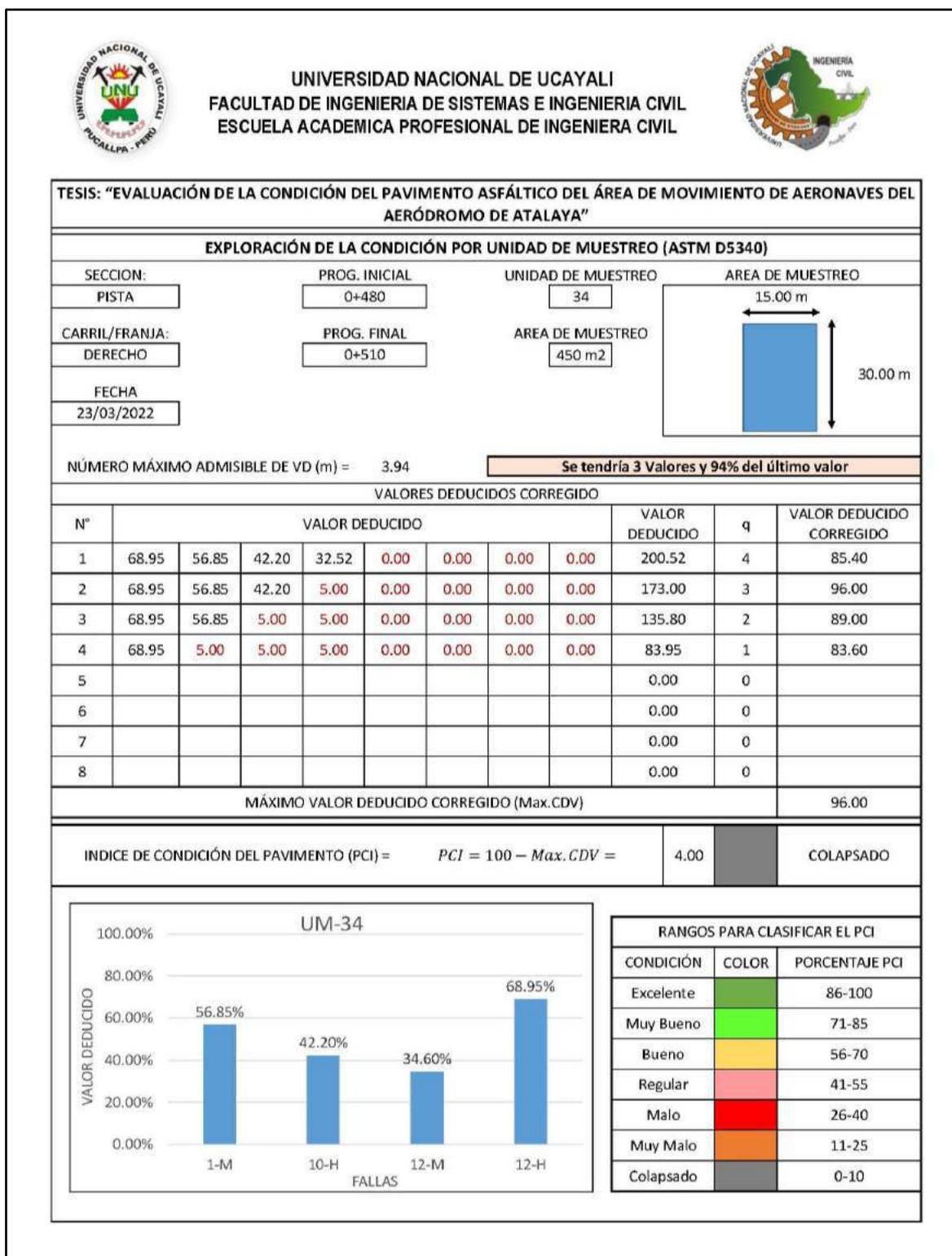
Memoria de cálculo – UM 33



Fuente: Elaboración propia.

Figura 117

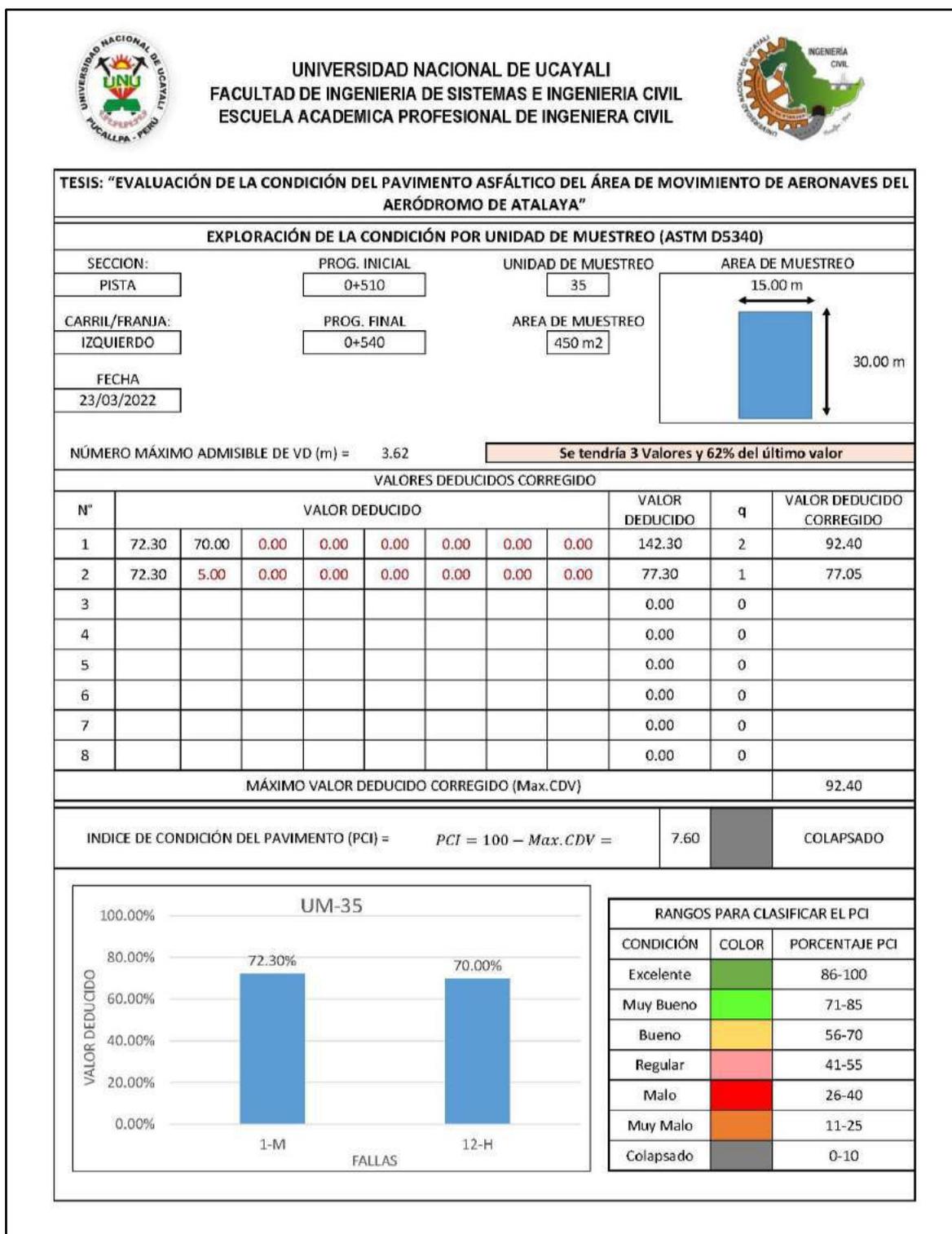
Memoria de cálculo – UM 34



Fuente: Elaboración propia.

Figura 118

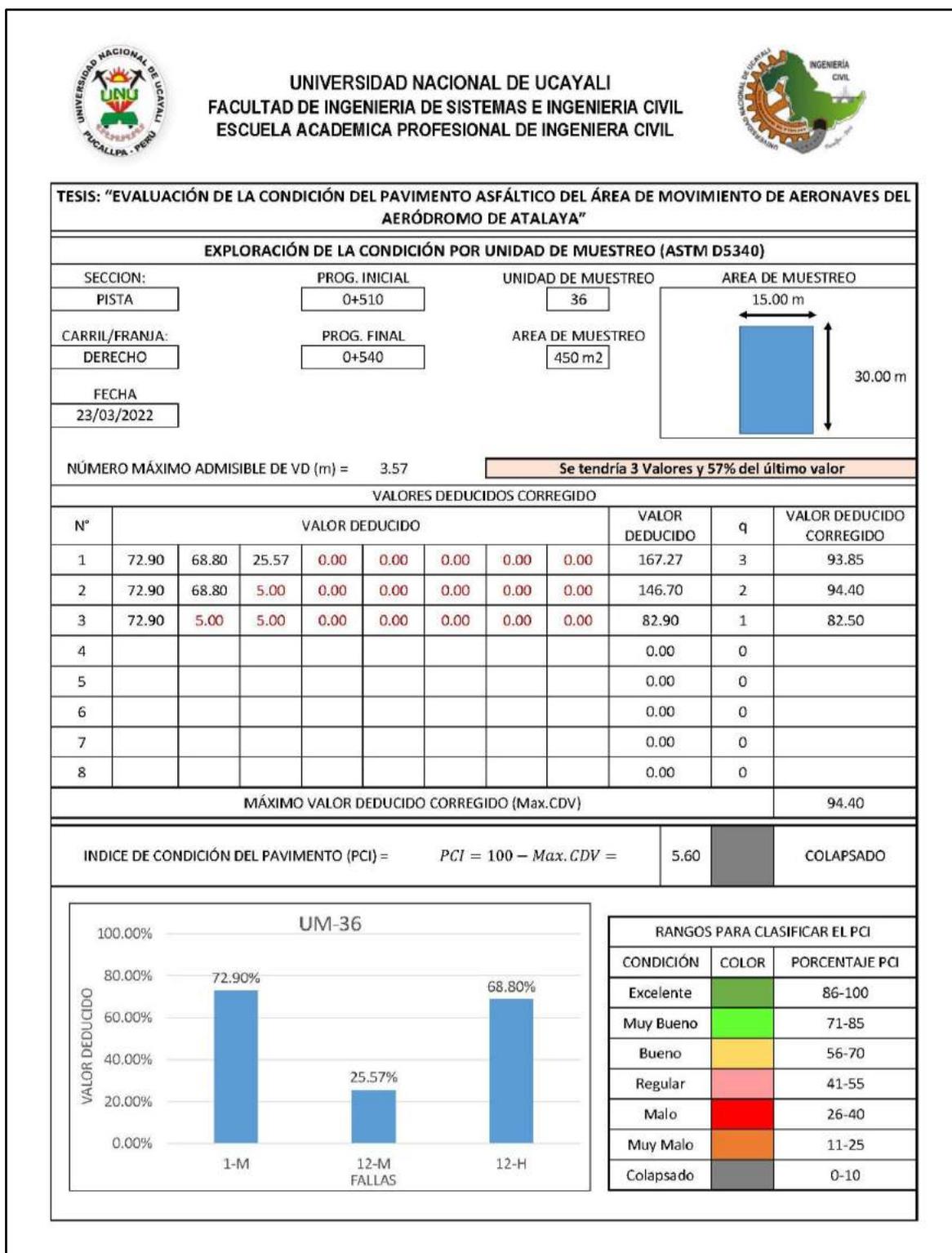
Memoria de cálculo – UM 35



Fuente: Elaboración propia.

Figura 119

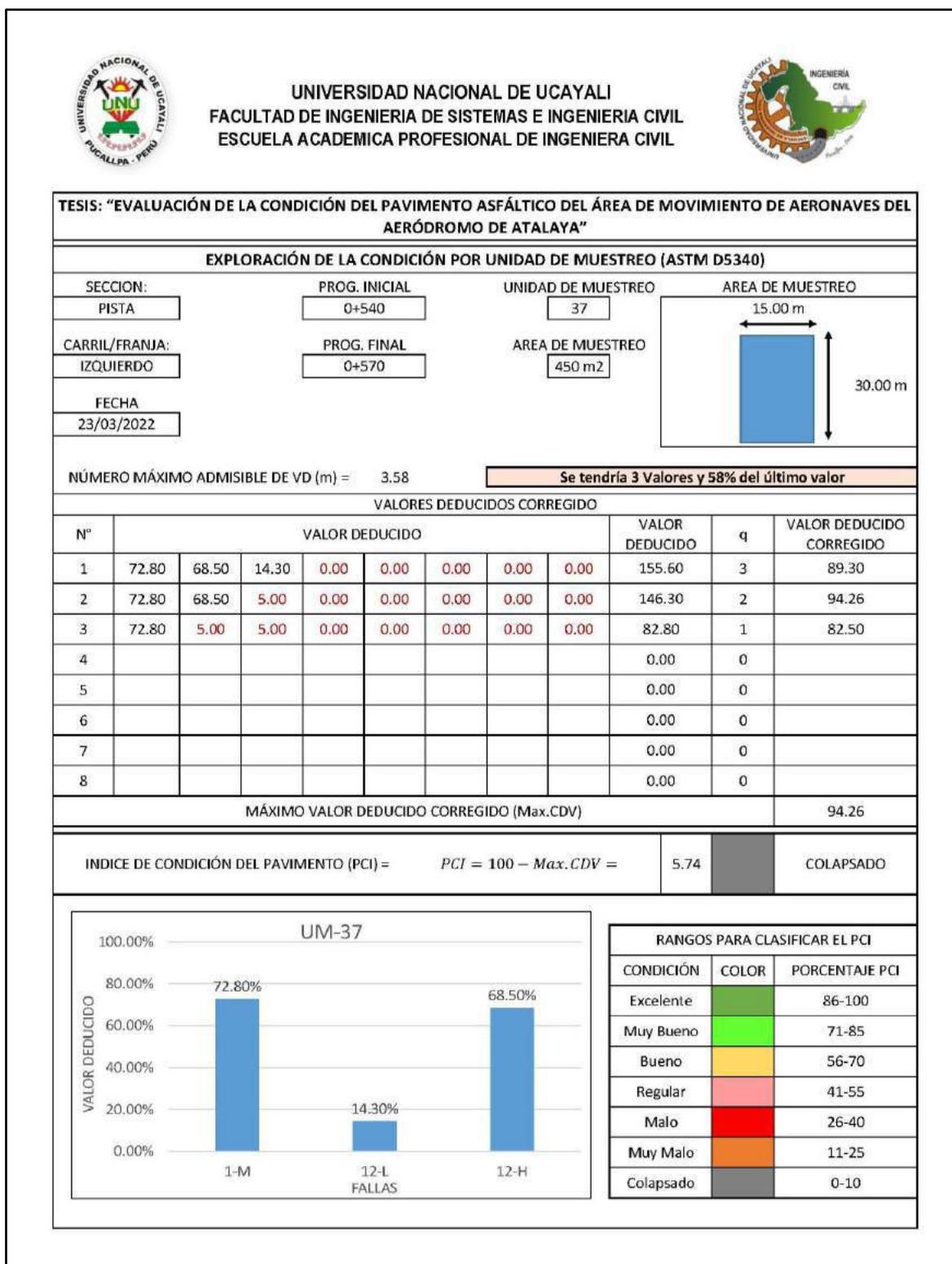
Memoria de cálculo – UM 36



Fuente: Elaboración propia.

Figura 120

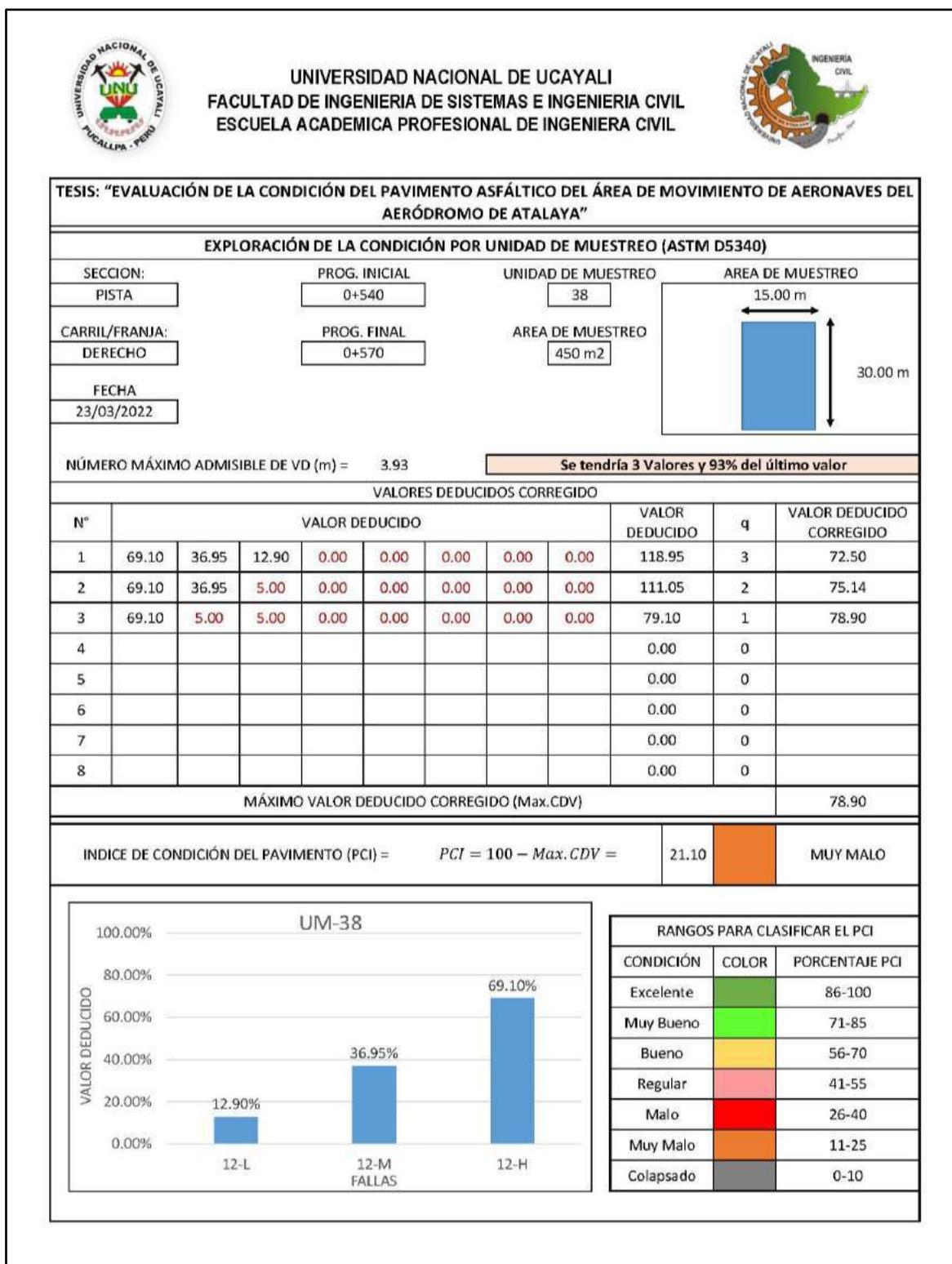
Memoria de cálculo – UM 37



Fuente: Elaboración propia.

Figura 121

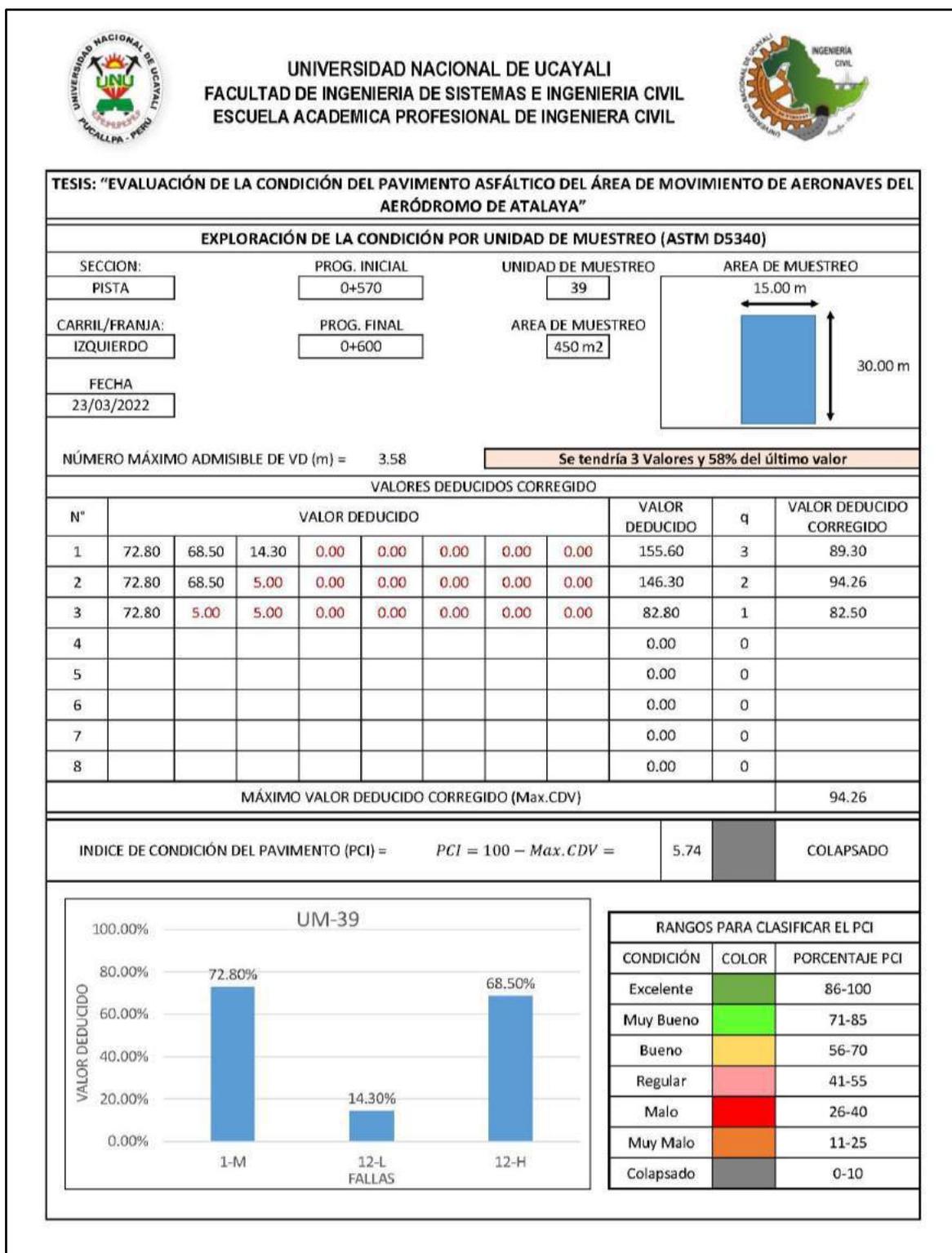
Memoria de cálculo – UM 38



Fuente: Elaboración propia.

Figura 122

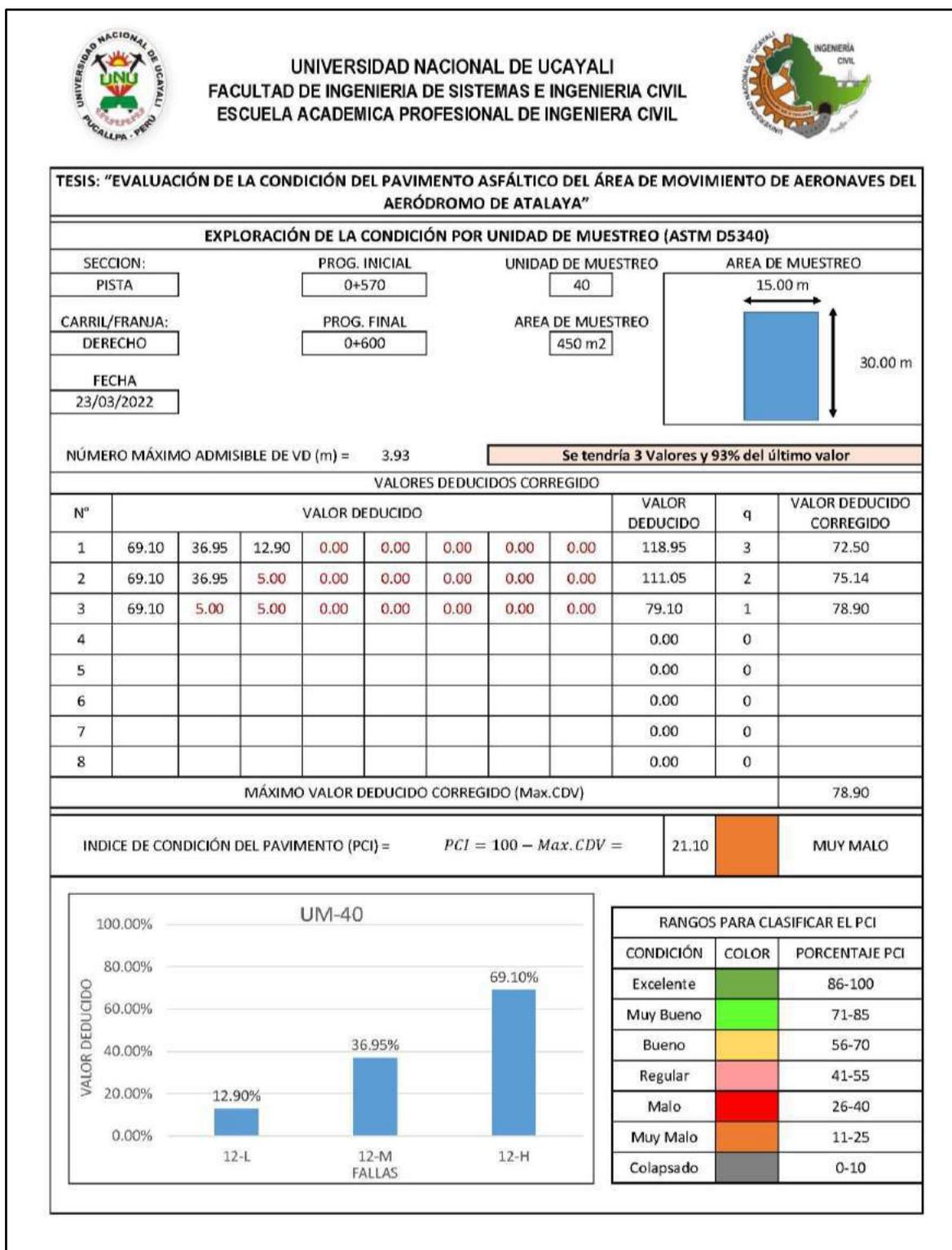
Memoria de cálculo – UM 39



Fuente: Elaboración propia.

Figura 123

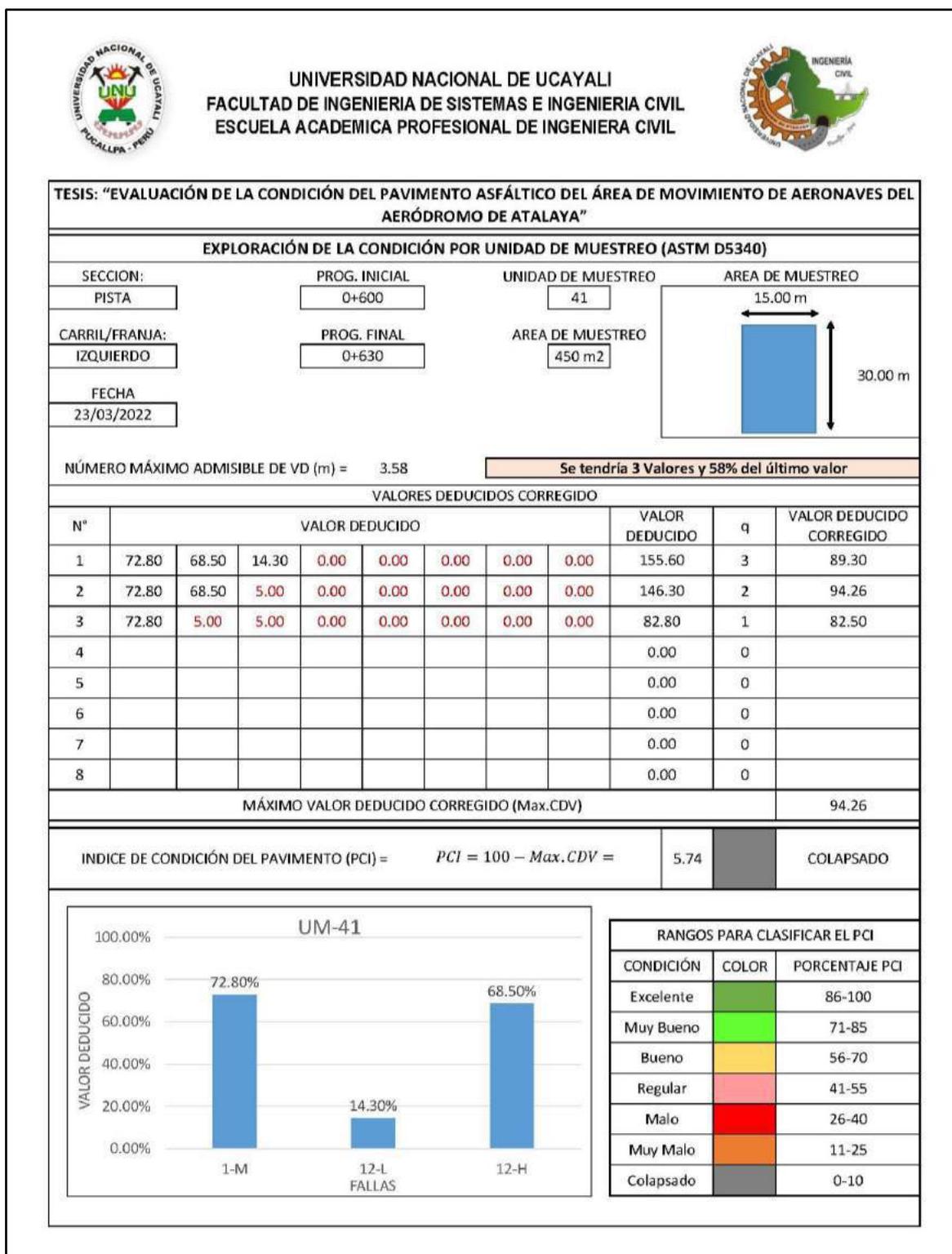
Memoria de cálculo – UM 40



Fuente: Elaboración propia.

Figura 124

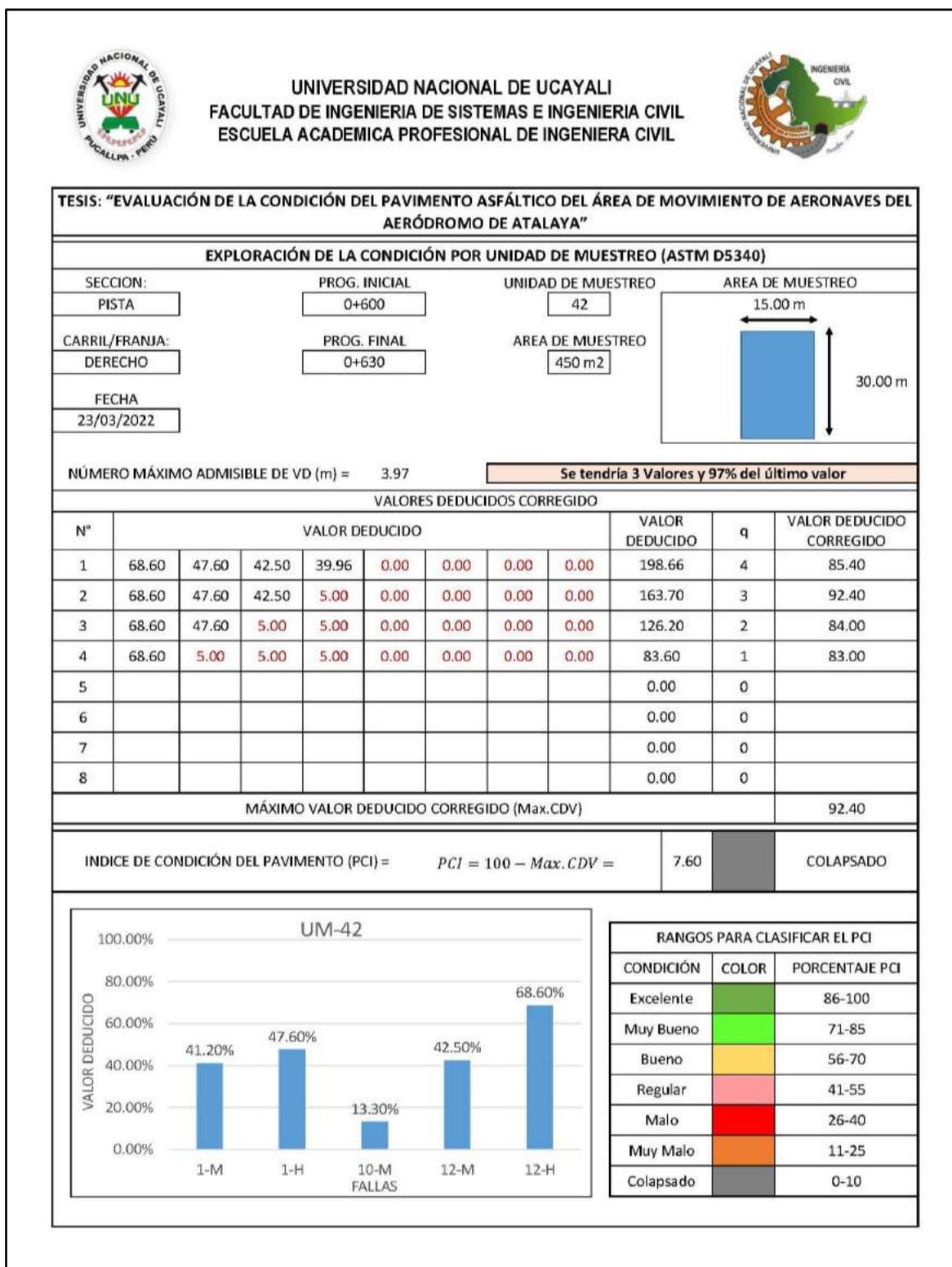
Memoria de cálculo – UM 41



Fuente: Elaboración propia.

Figura 125

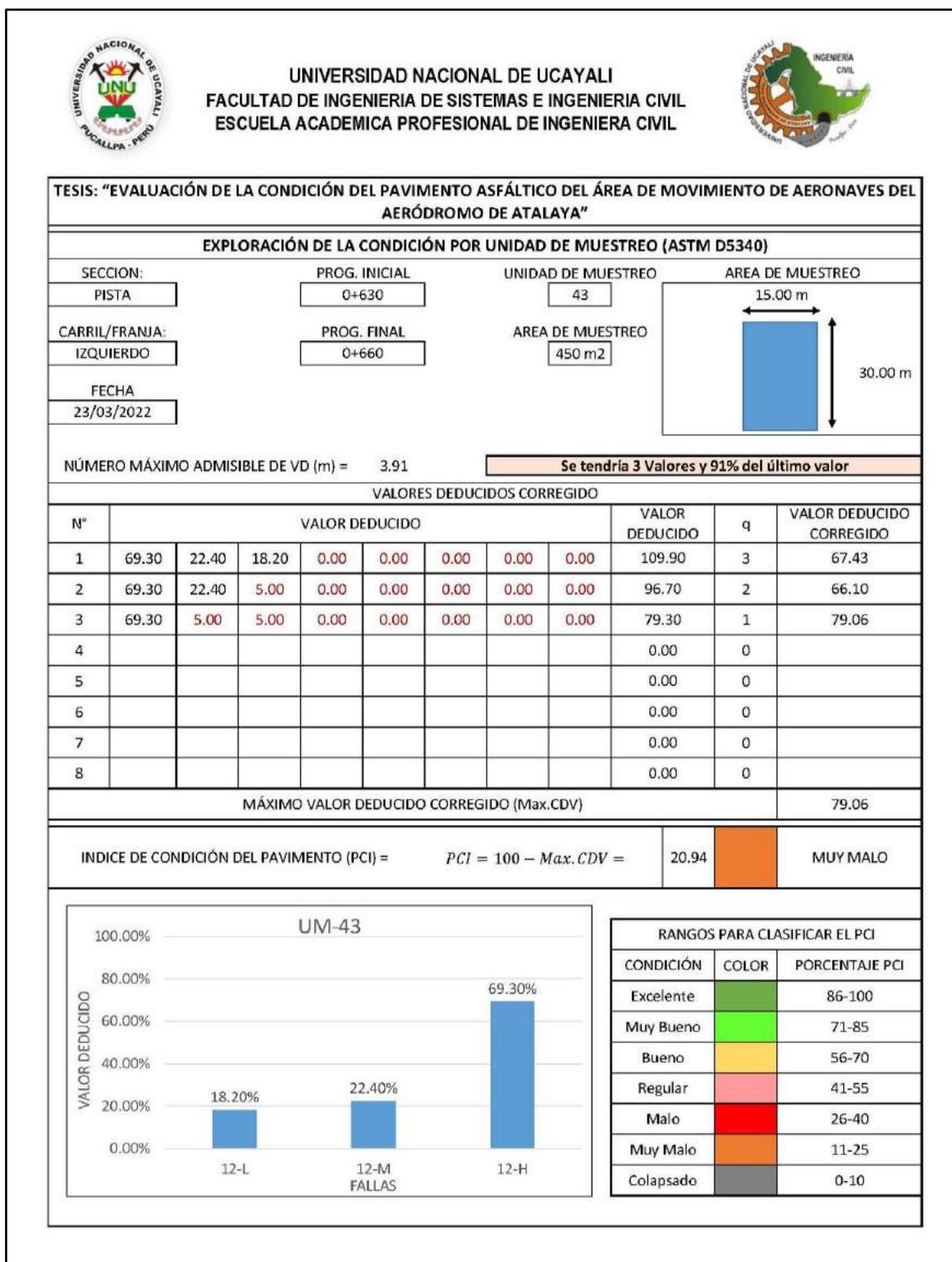
Memoria de cálculo – UM 42



Fuente: Elaboración propia.

Figura 126

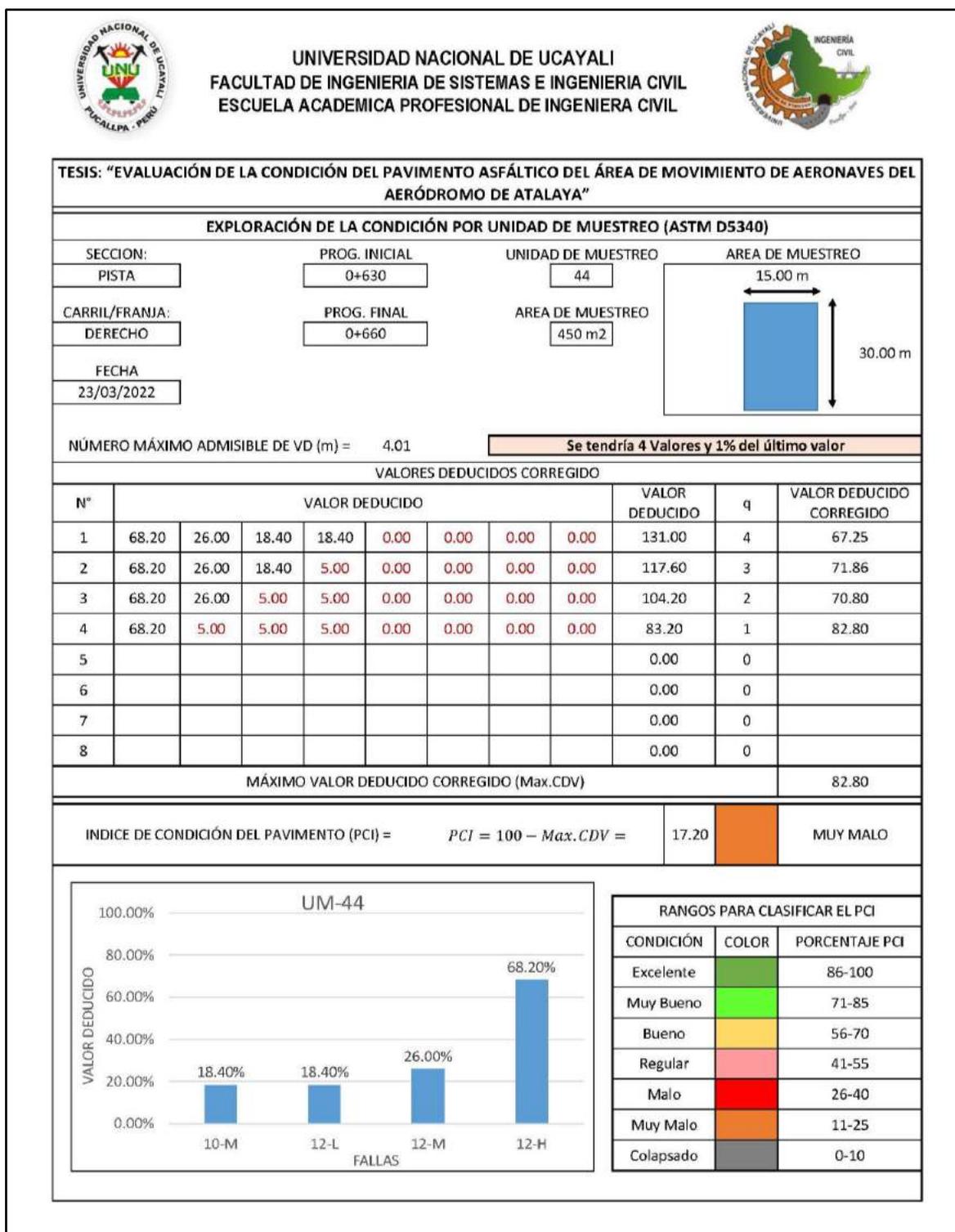
Memoria de cálculo – UM 43



Fuente: Elaboración propia.

Figura 127

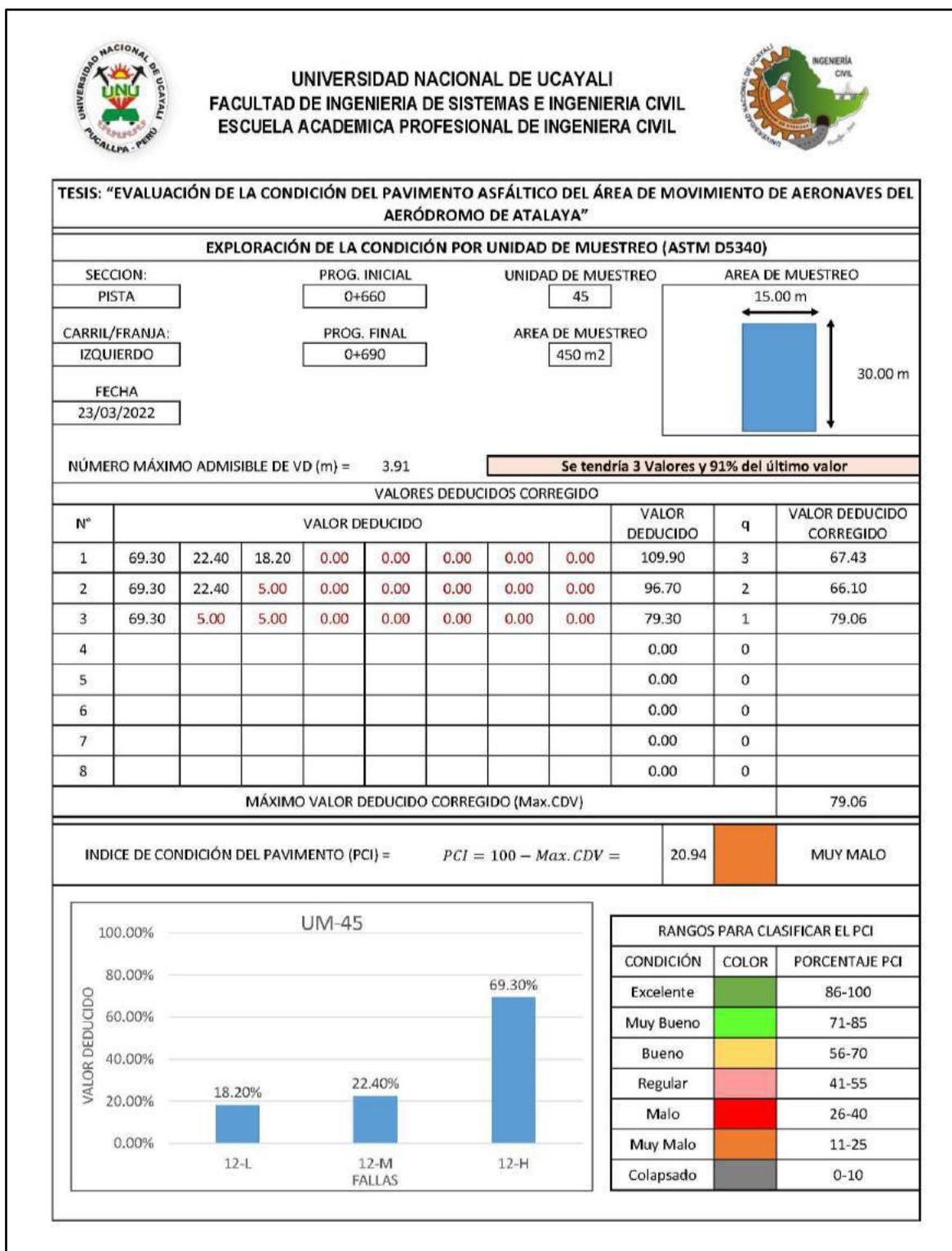
Memoria de cálculo – UM 44



Fuente: Elaboración propia.

Figura 128

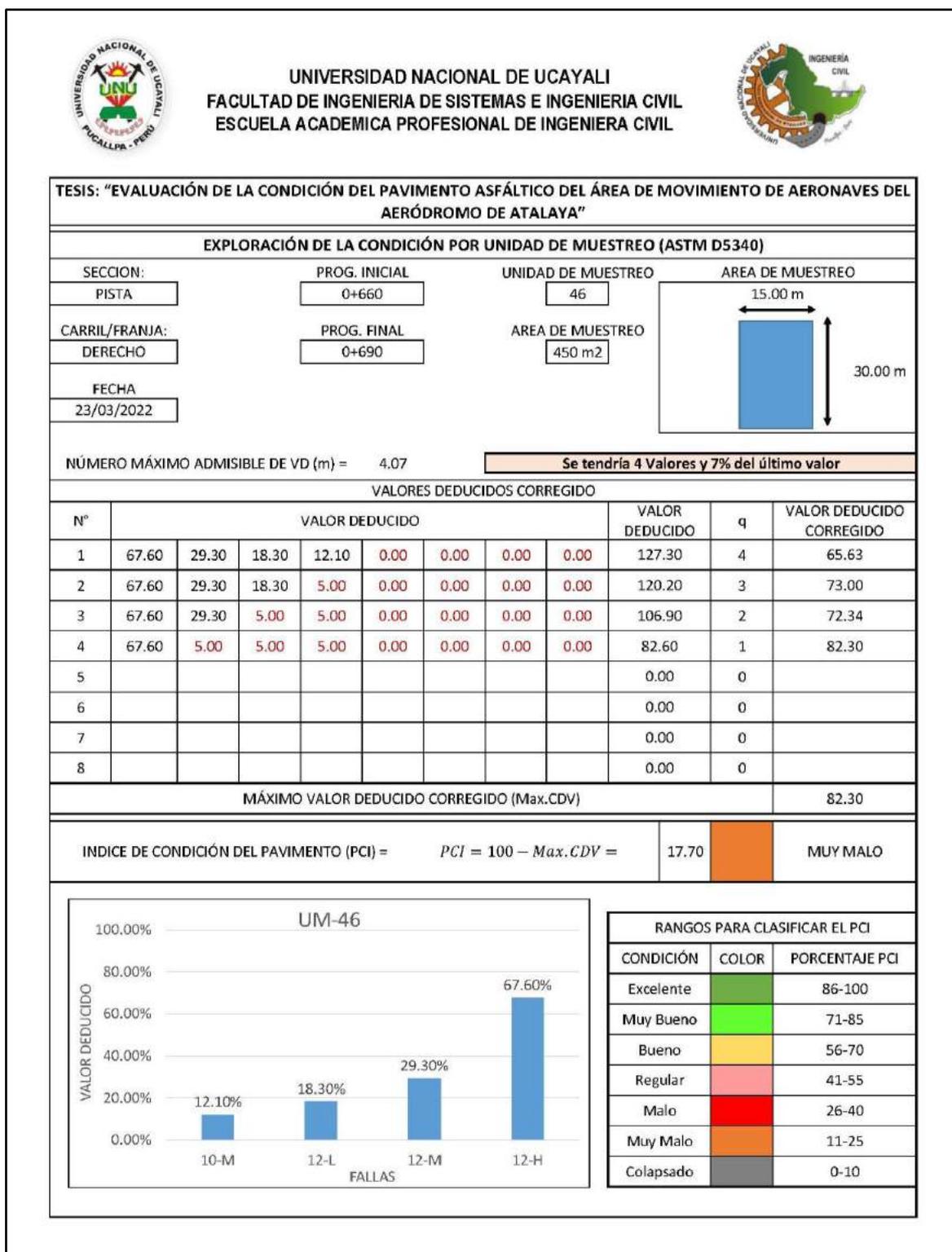
Memoria de cálculo – UM 45



Fuente: Elaboración propia.

Figura 129

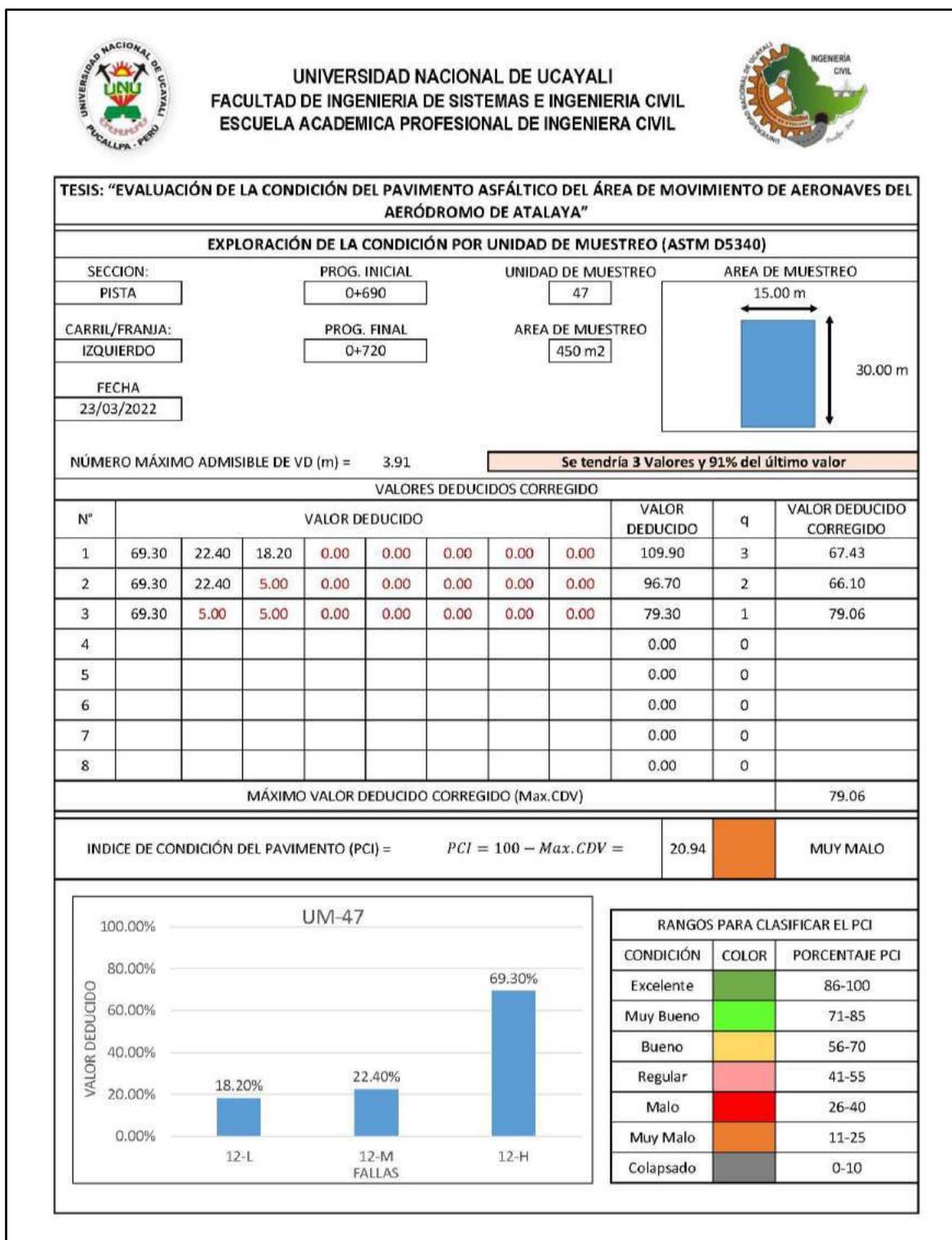
Memoria de cálculo – UM 46



Fuente: Elaboración propia.

Figura 130

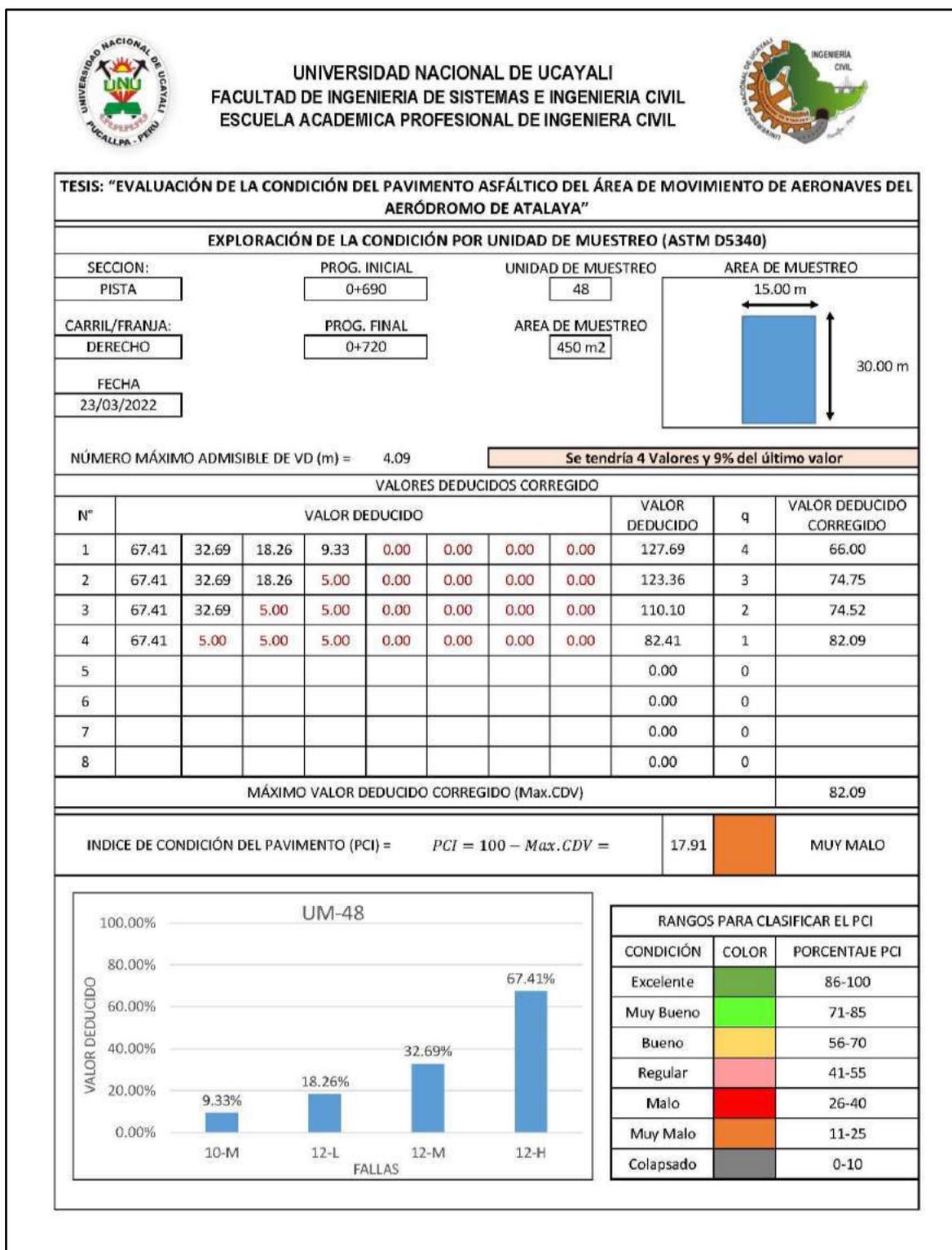
Memoria de cálculo – UM 47



Fuente: Elaboración propia.

Figura 131

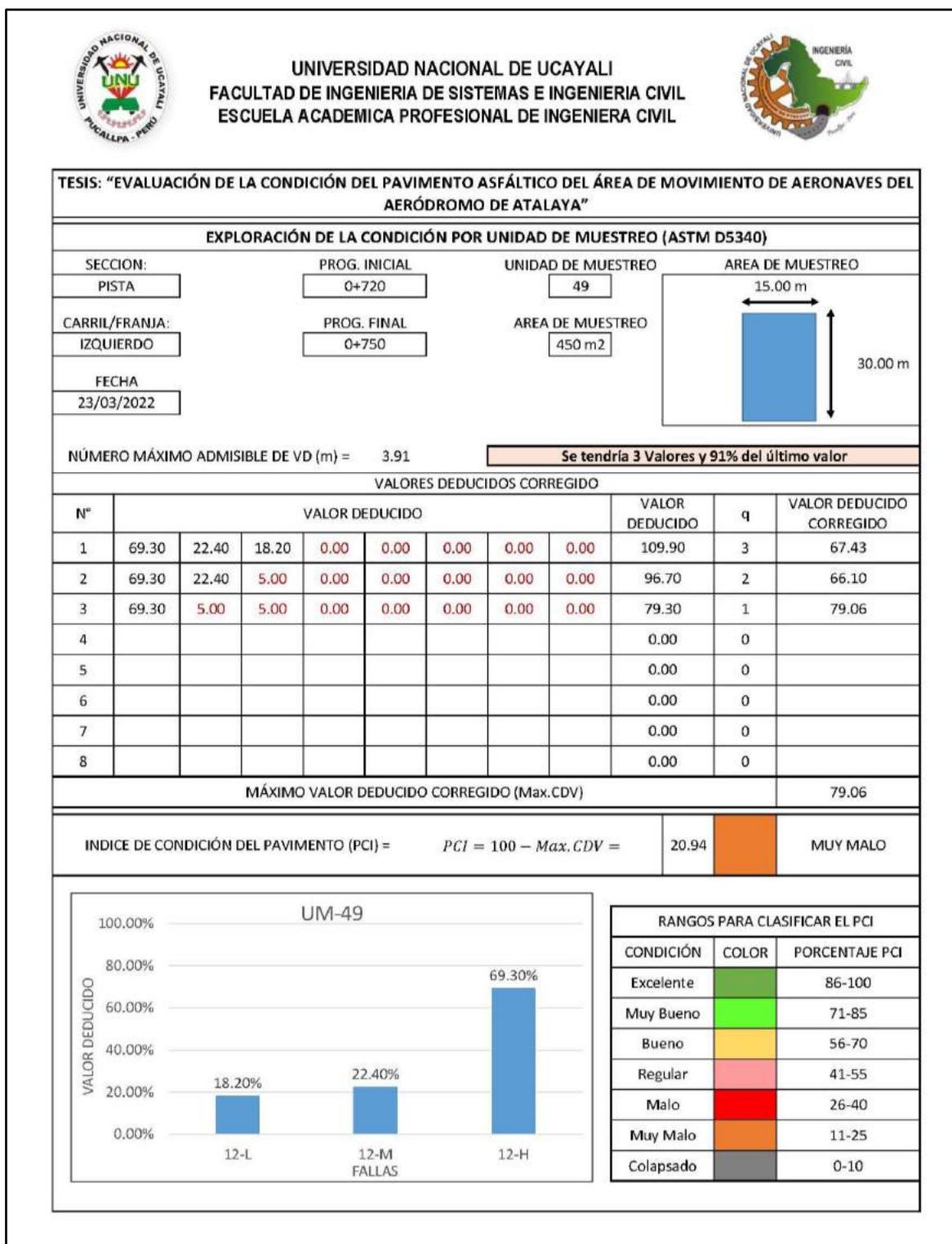
Memoria de cálculo – UM 48



Fuente: Elaboración propia.

Figura 132

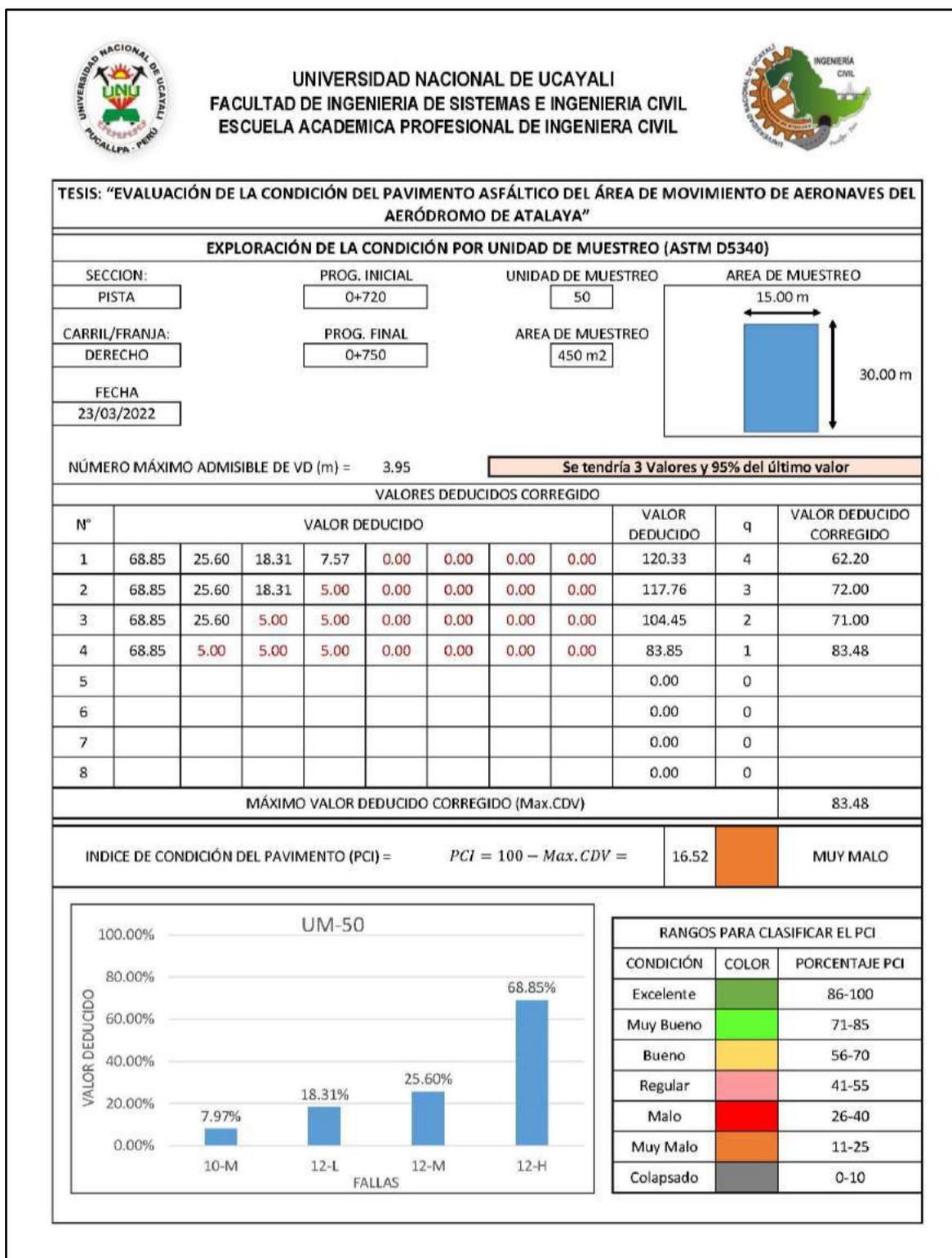
Memoria de cálculo – UM 49



Fuente: Elaboración propia.

Figura 133

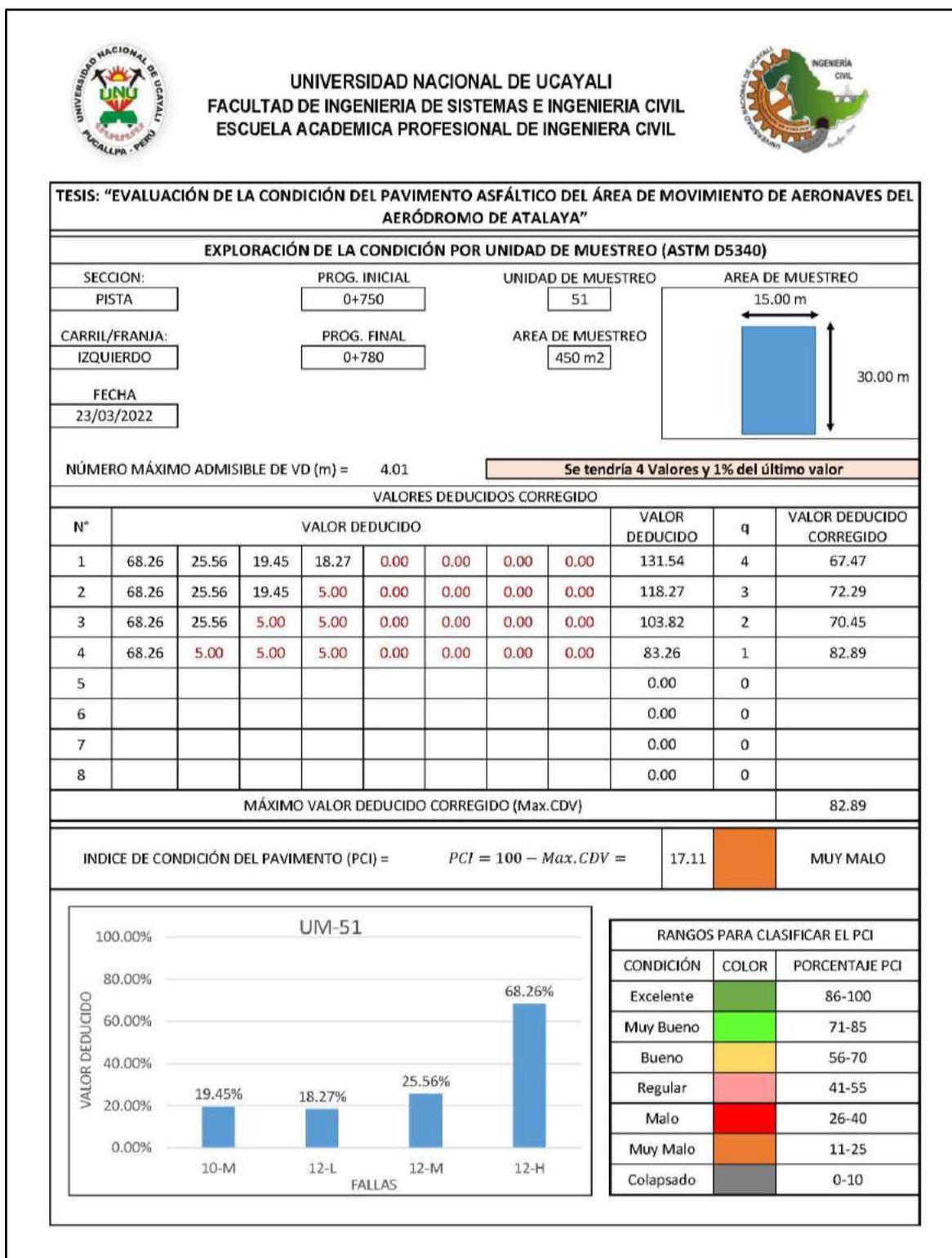
Memoria de cálculo – UM 50



Fuente: Elaboración propia.

Figura 134

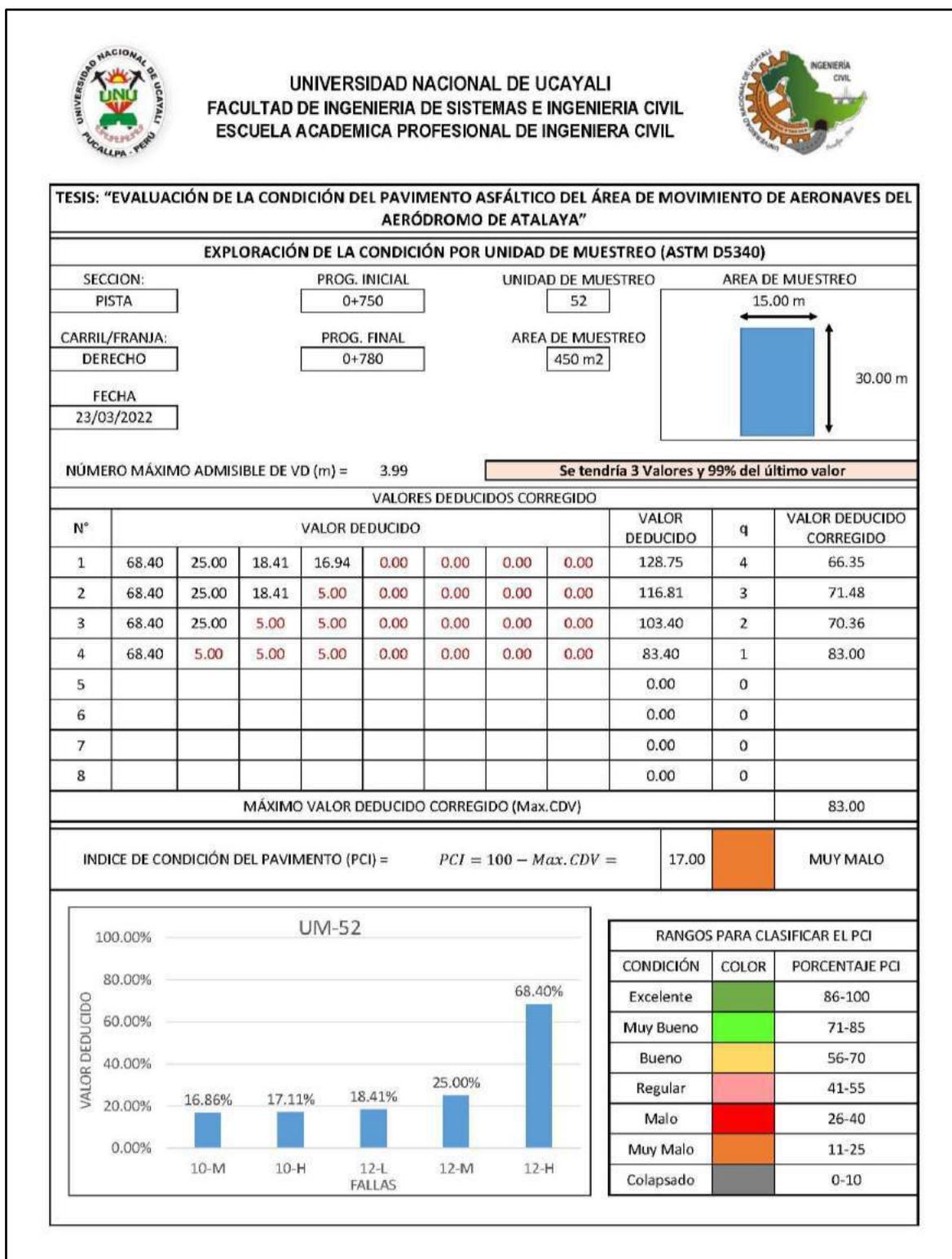
Memoria de cálculo – UM 51



Fuente: Elaboración propia.

Figura 135

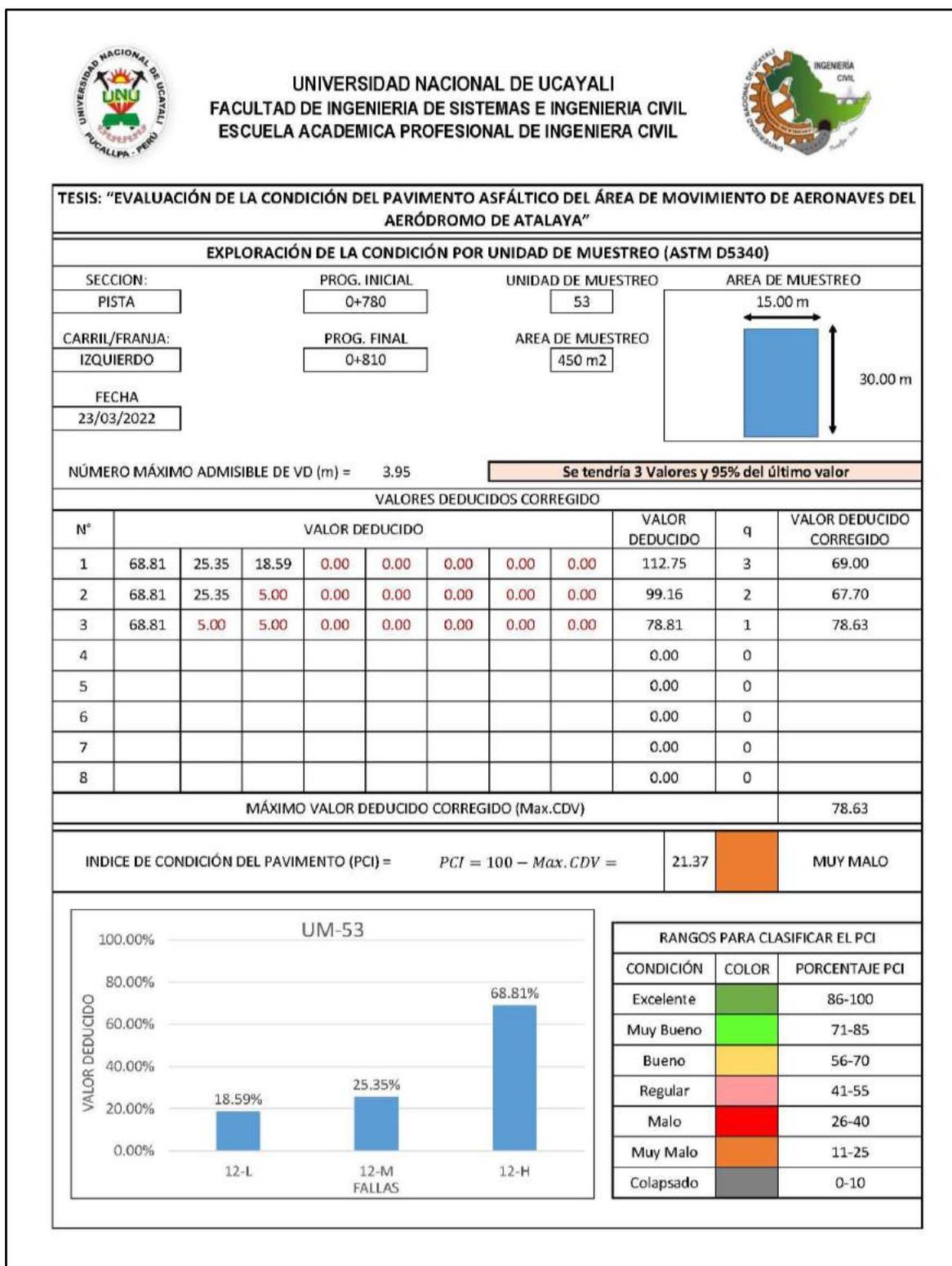
Memoria de cálculo – UM 52



Fuente: Elaboración propia.

Figura 136

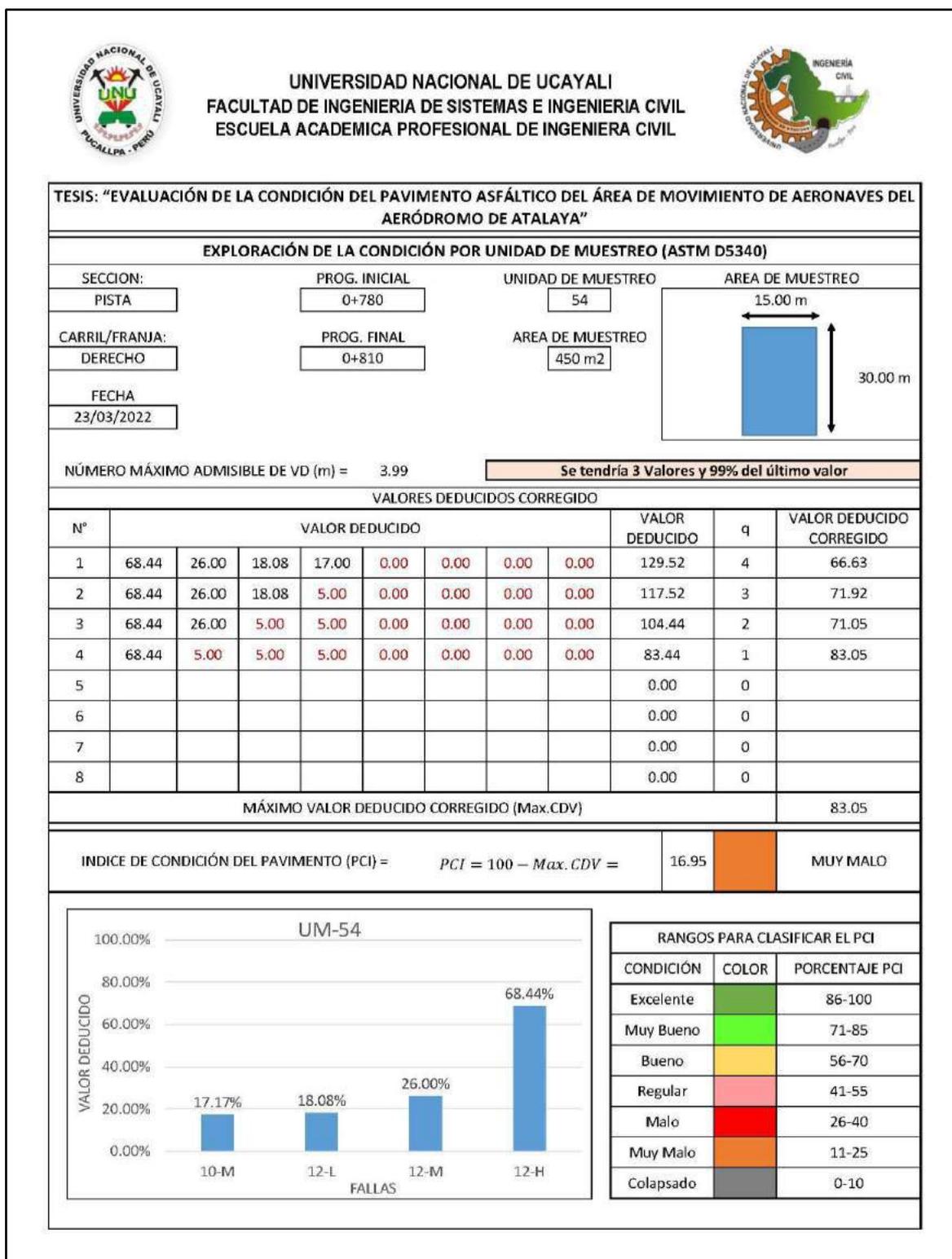
Memoria de cálculo – UM 53



Fuente: Elaboración propia.

Figura 137

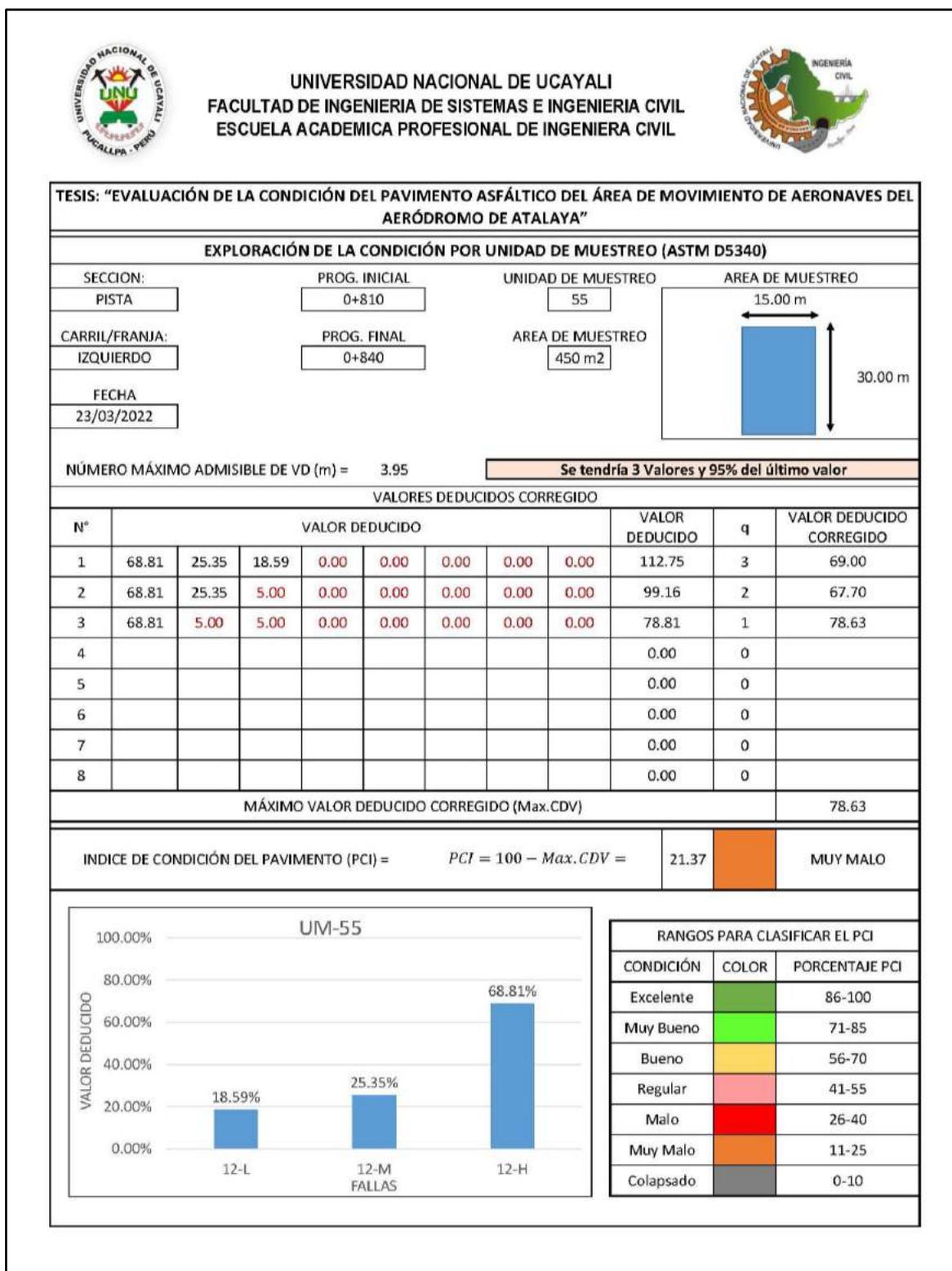
Memoria de cálculo – UM 54



Fuente: Elaboración propia.

Figura 138

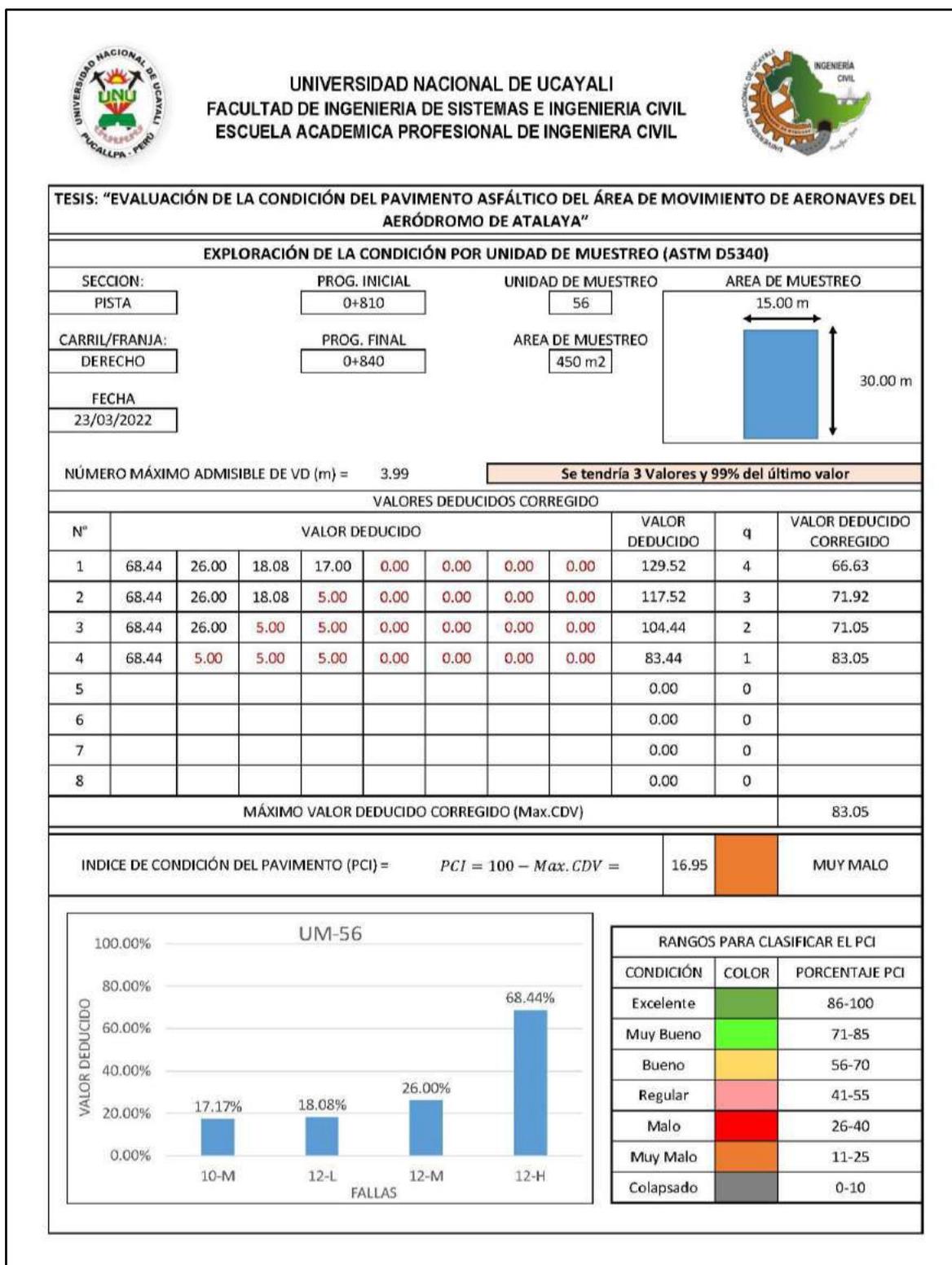
Memoria de cálculo – UM 55



Fuente: Elaboración propia.

Figura 139

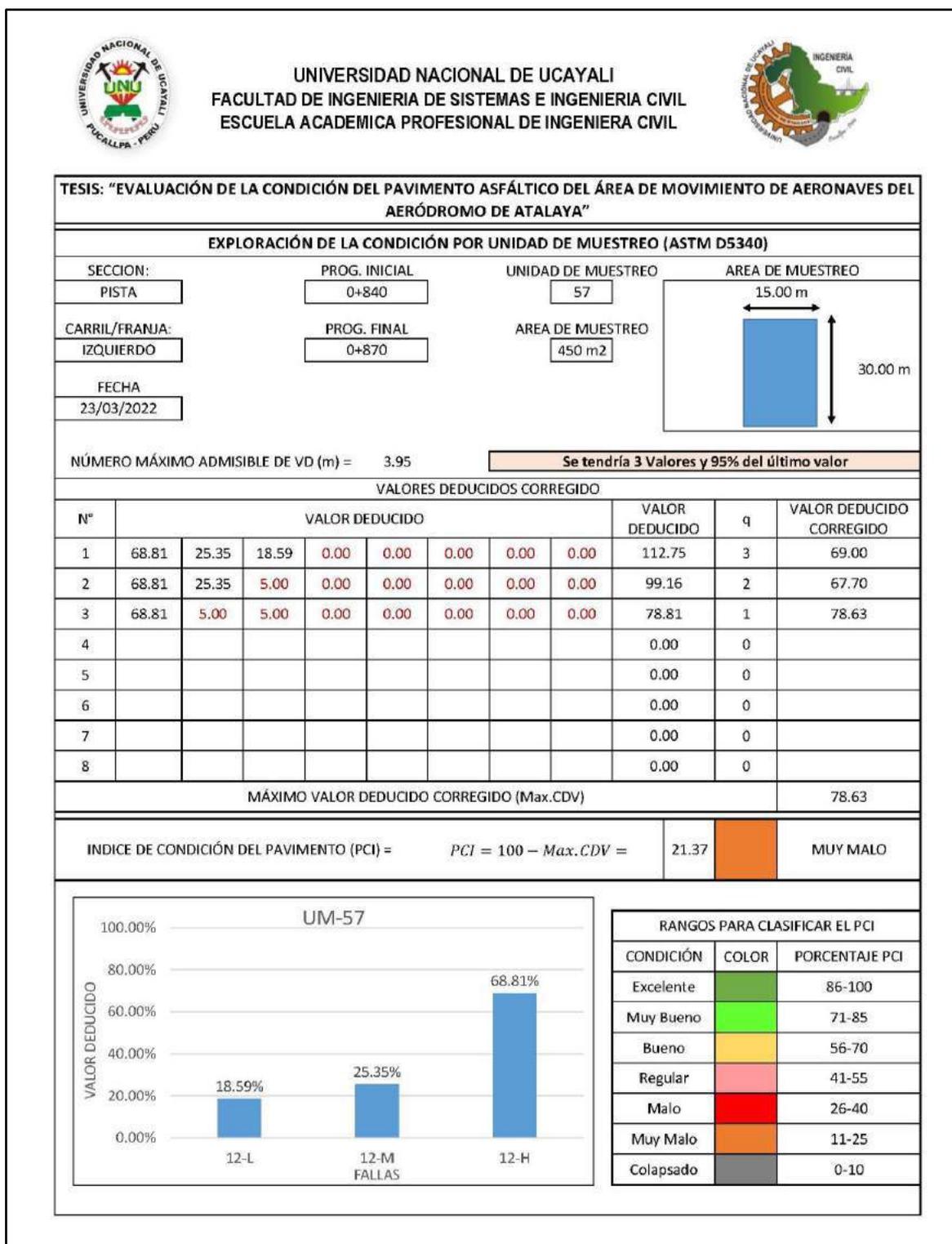
Memoria de cálculo – UM 56



Fuente: Elaboración propia.

Figura 140

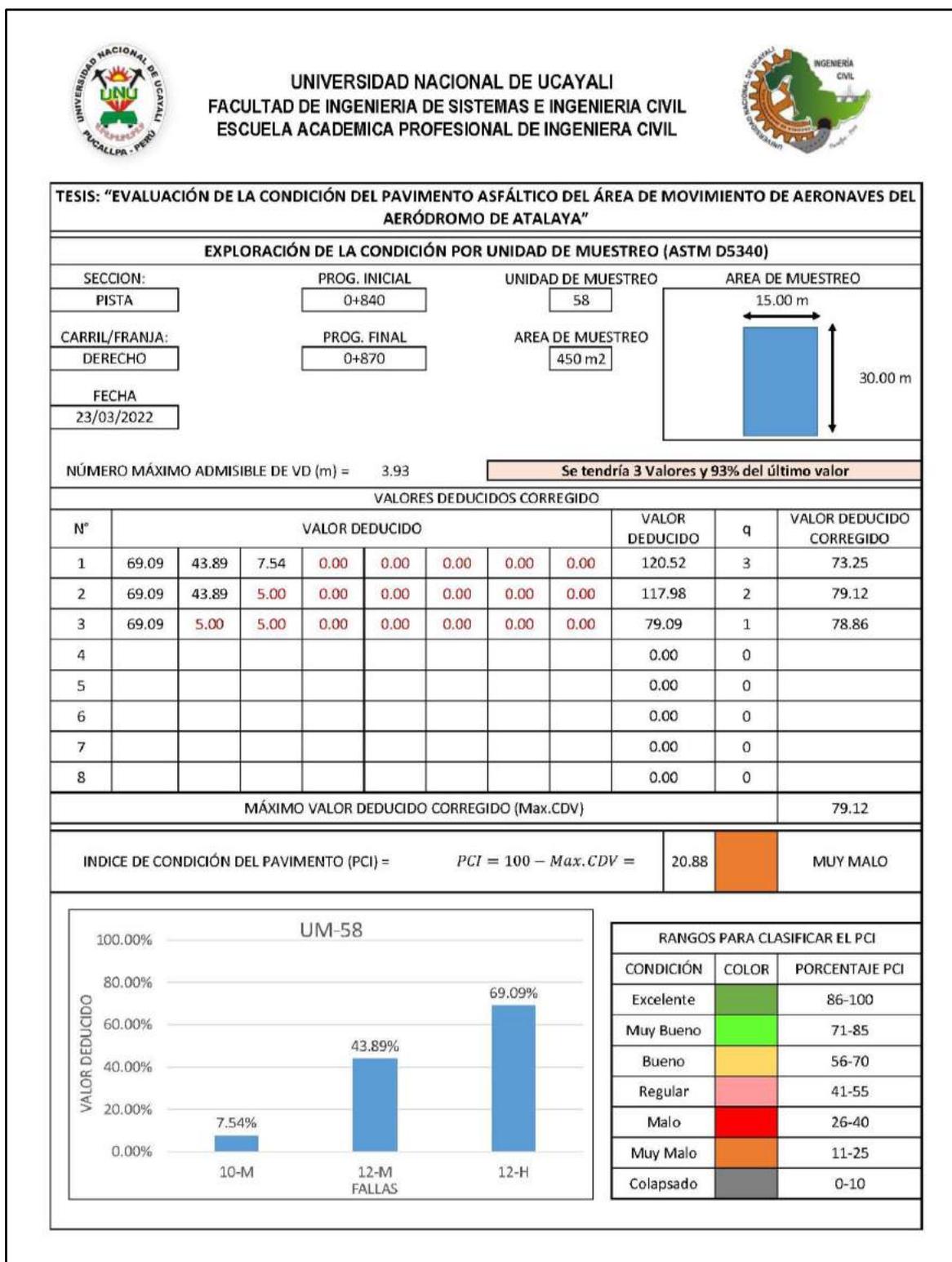
Memoria de cálculo – UM 57



Fuente: Elaboración propia.

Figura 141

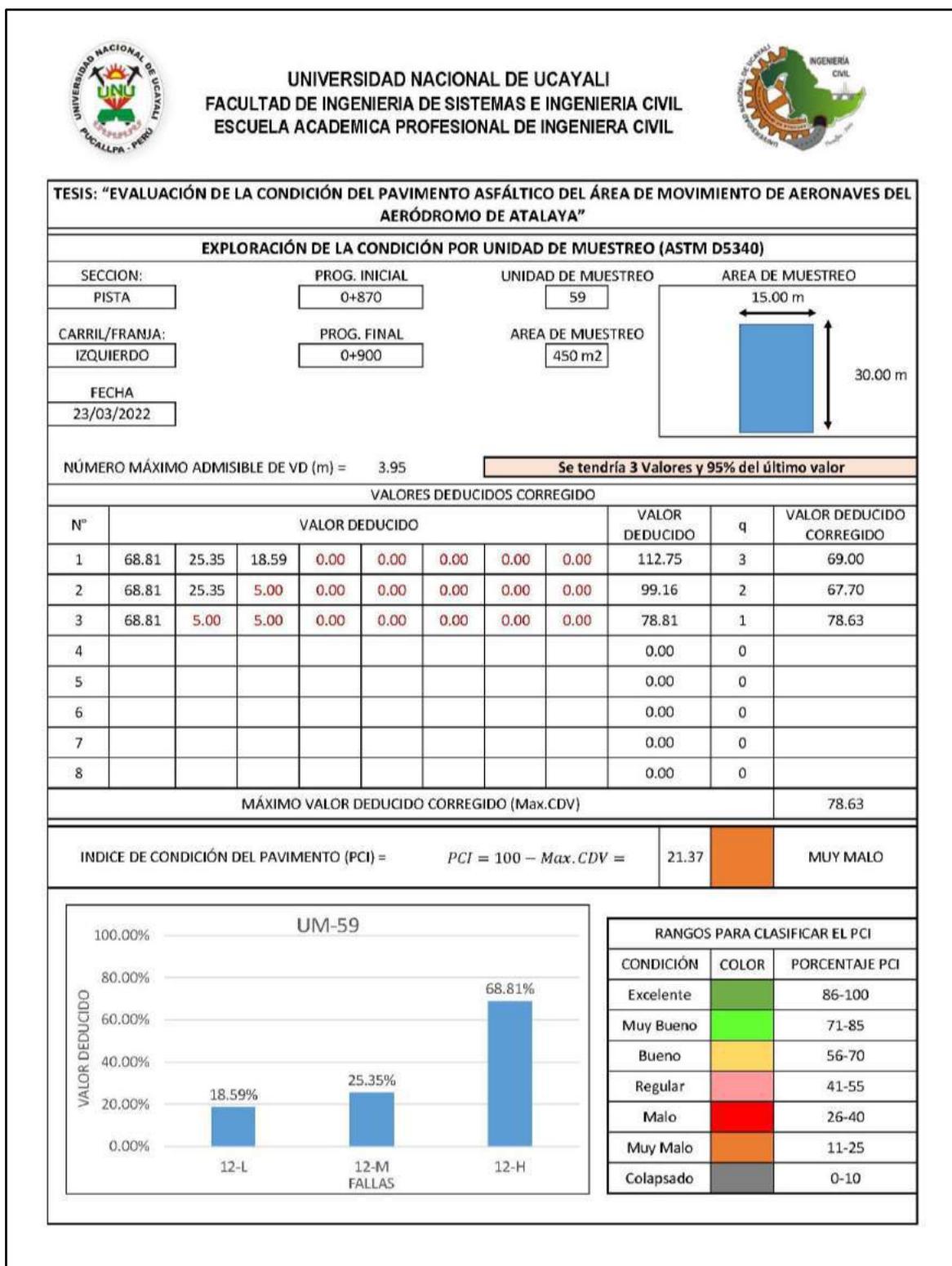
Memoria de cálculo – UM 58



Fuente: Elaboración propia.

Figura 142

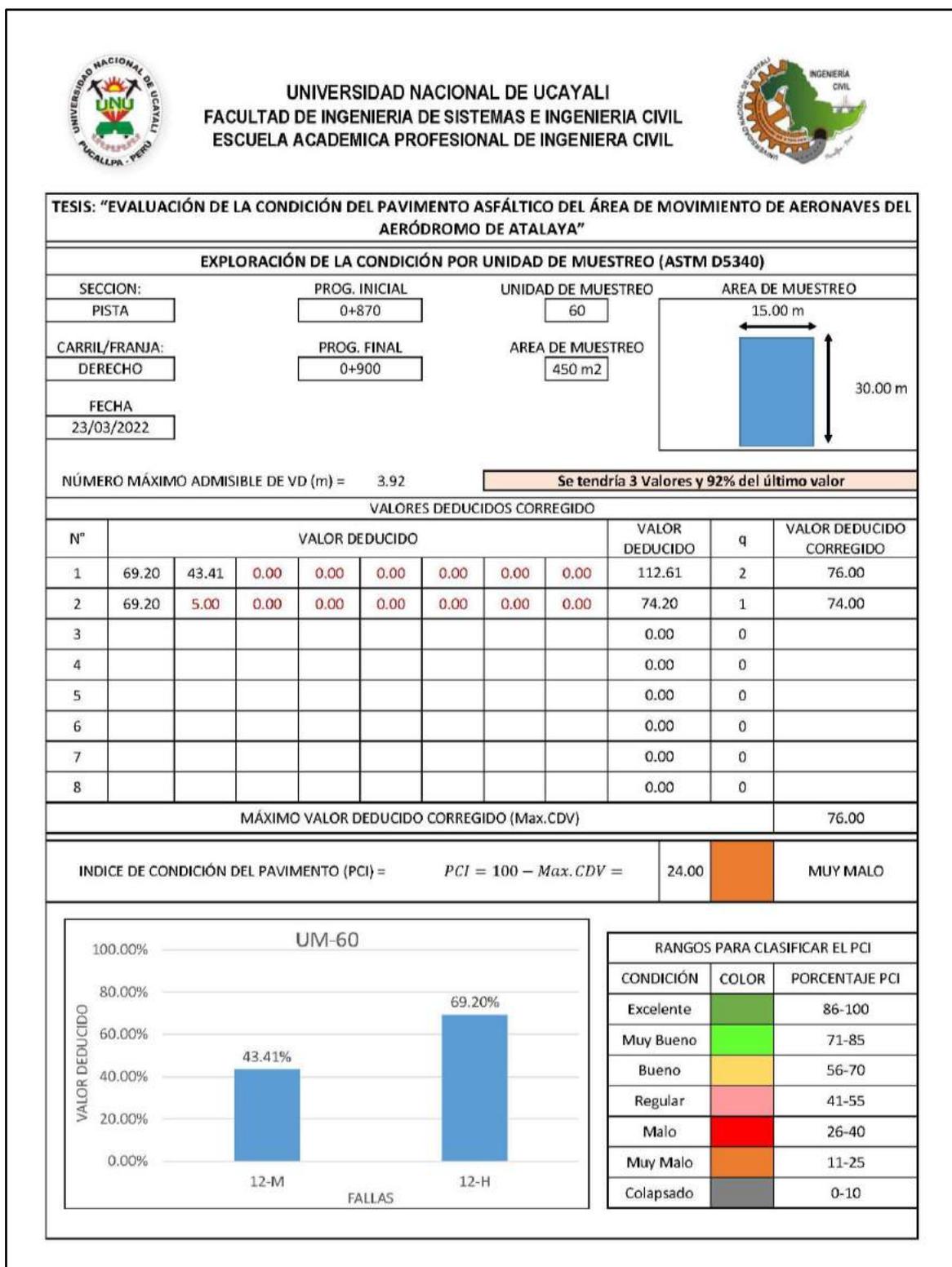
Memoria de cálculo – UM 59



Fuente: Elaboración propia.

Figura 143

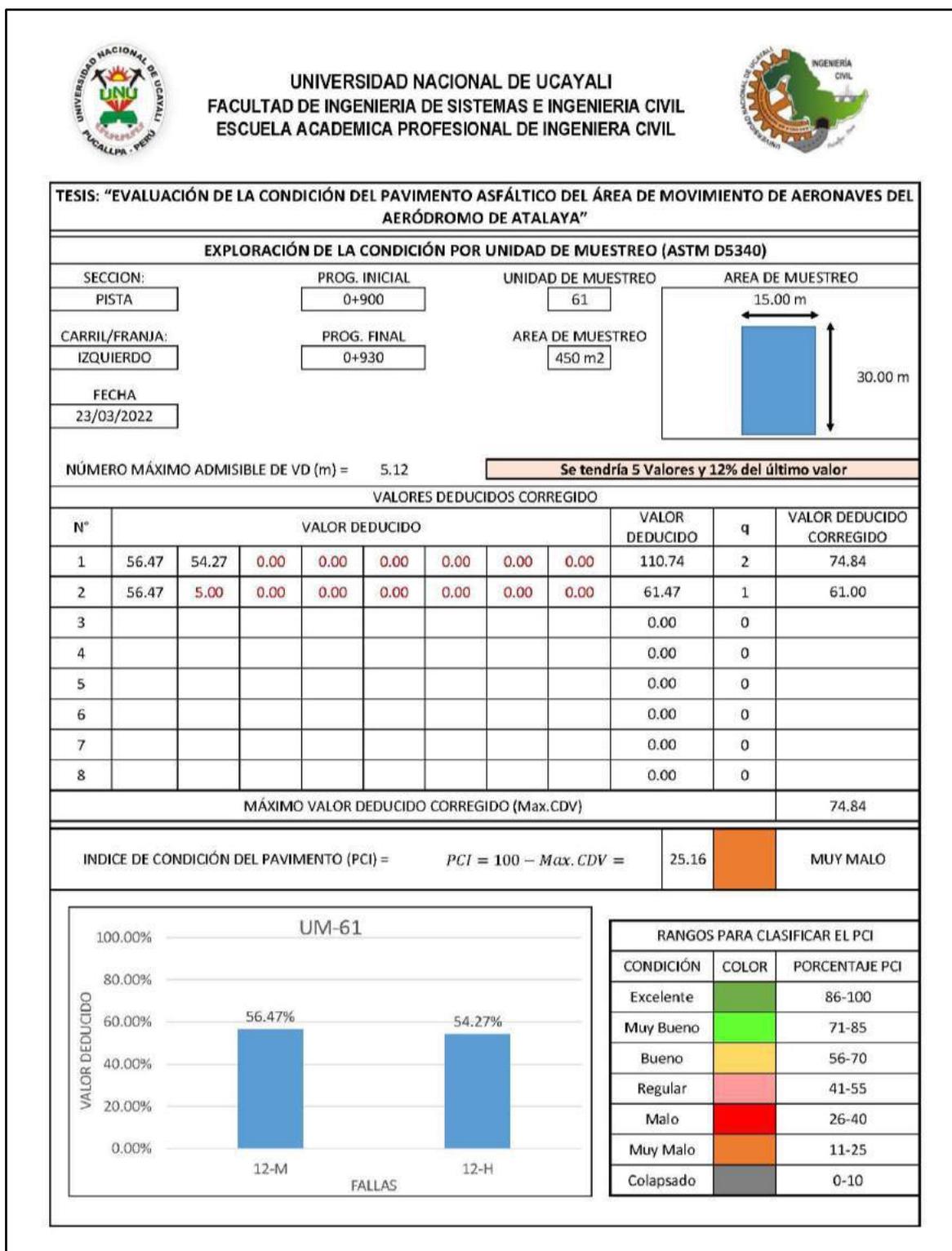
Memoria de cálculo – UM 60



Fuente: Elaboración propia.

Figura 144

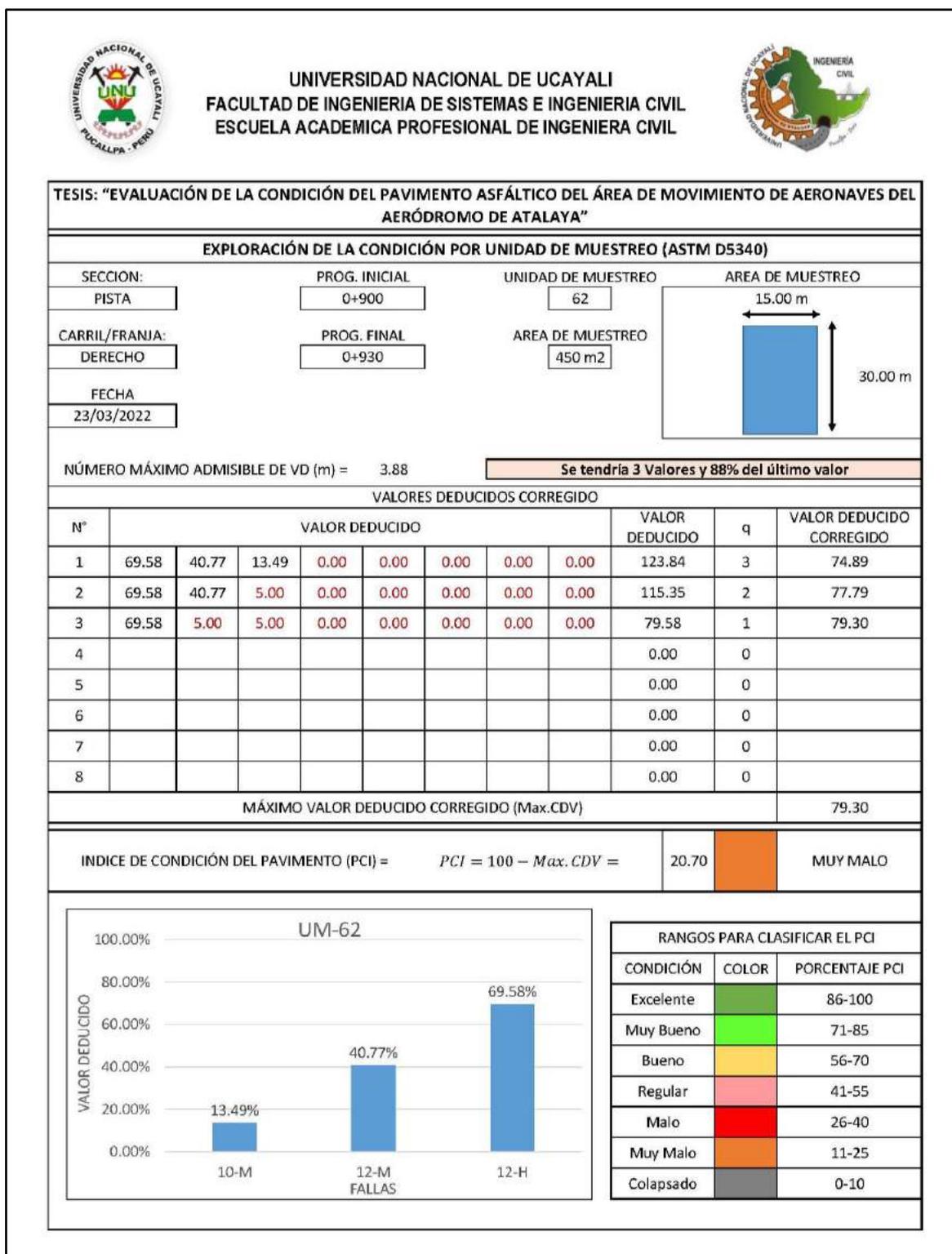
Memoria de cálculo – UM 61



Fuente: Elaboración propia.

Figura 145

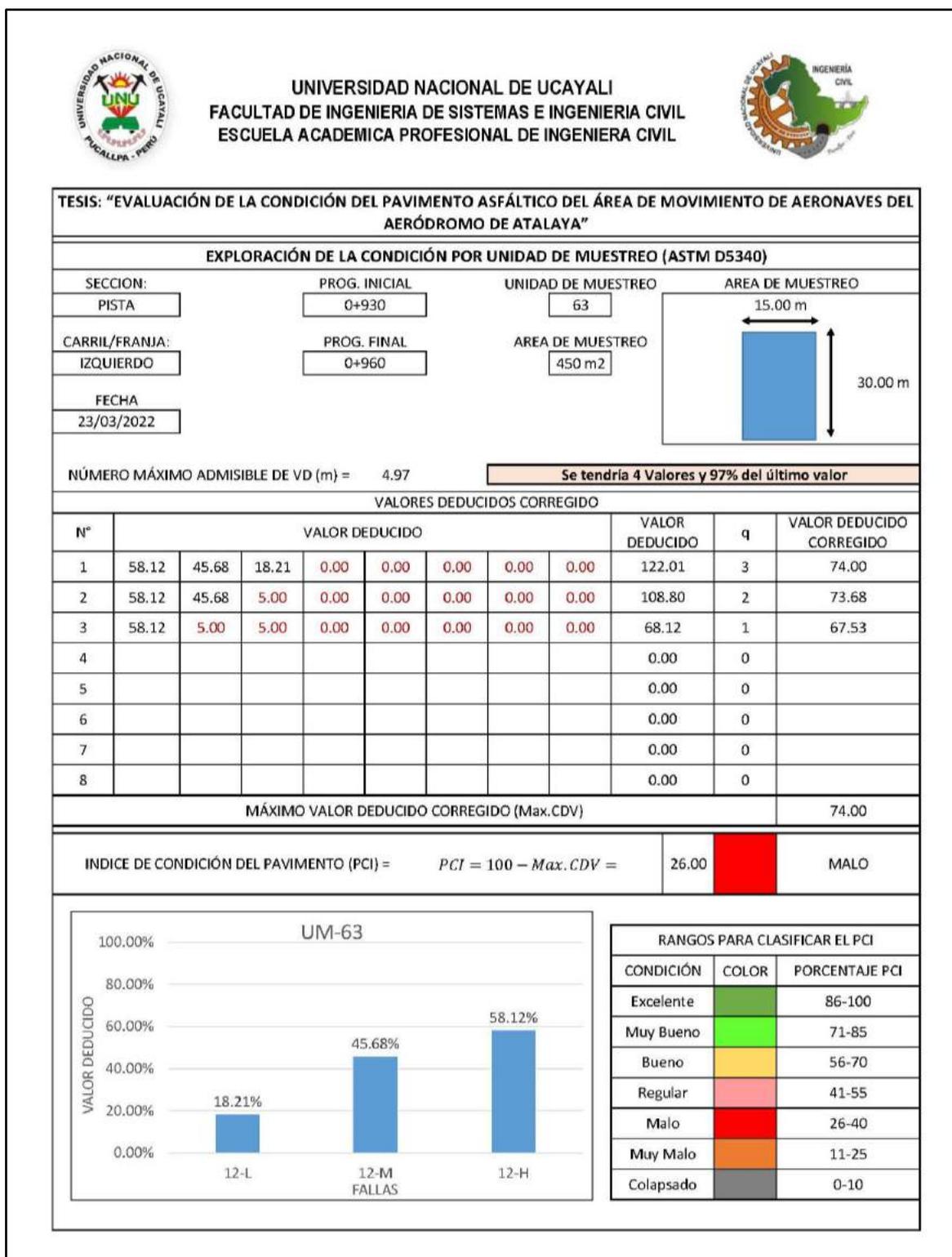
Memoria de cálculo – UM 62



Fuente: Elaboración propia.

Figura 146

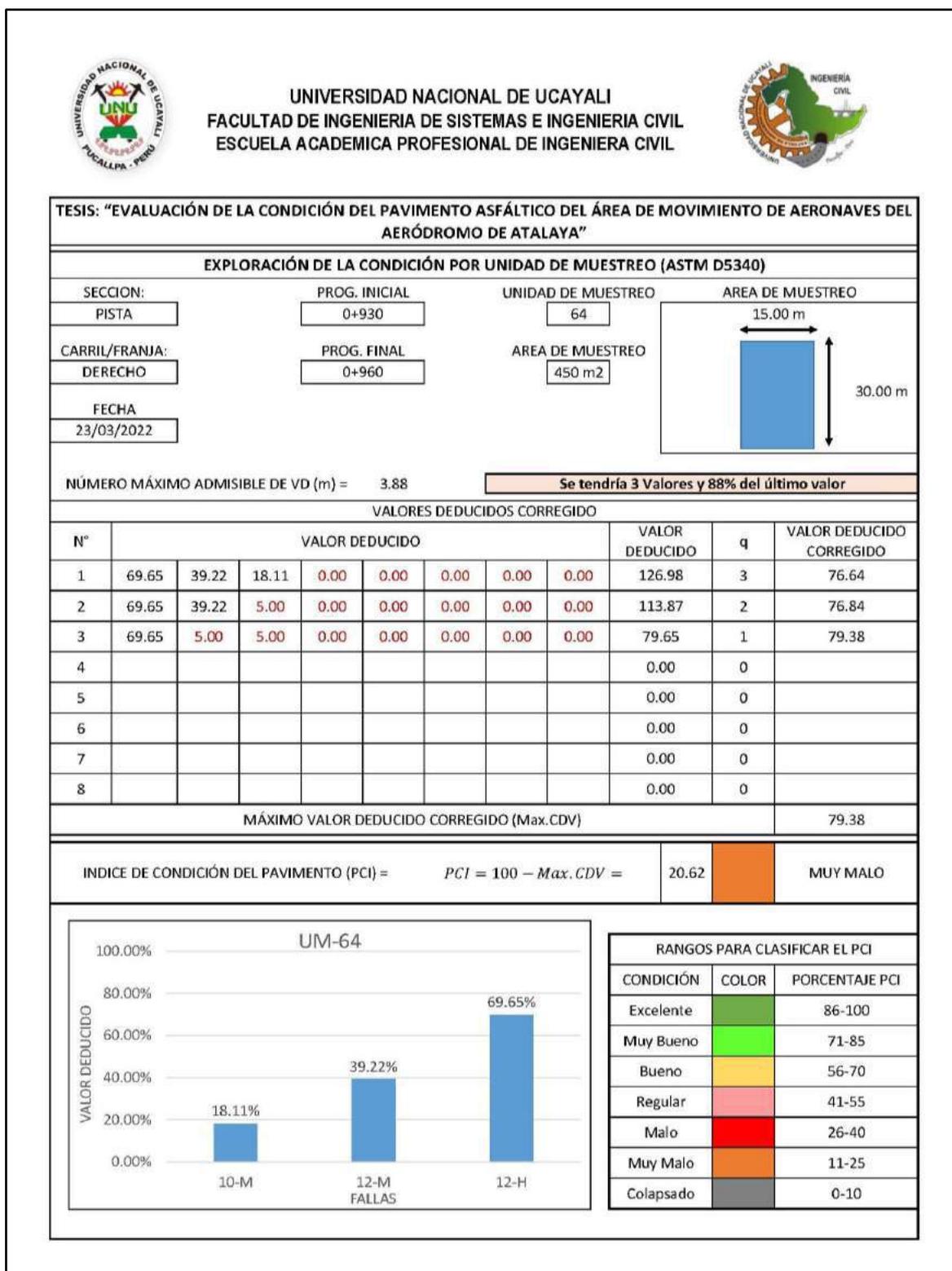
Memoria de cálculo – UM 63



Fuente: Elaboración propia.

Figura 147

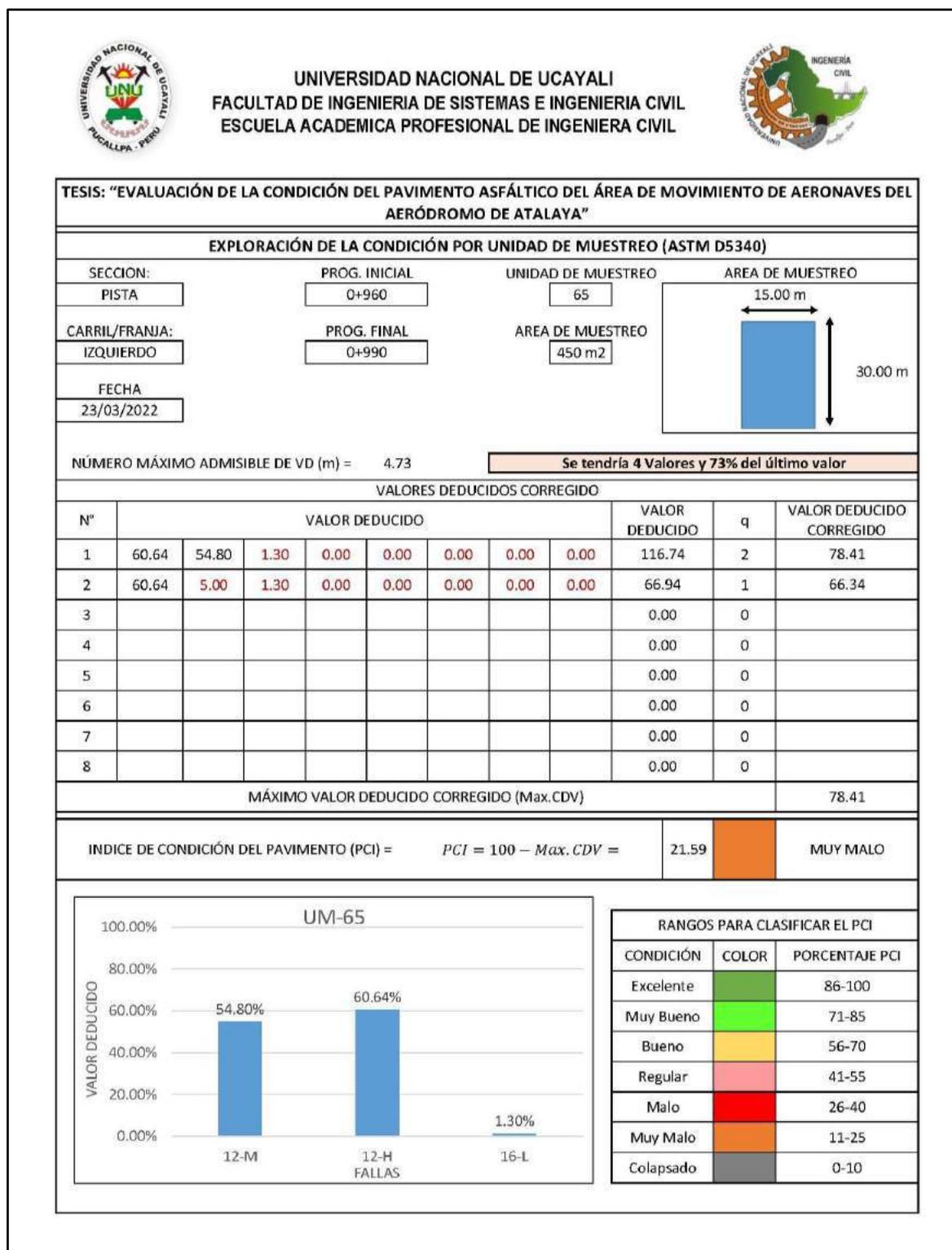
Memoria de cálculo – UM 64



Fuente: Elaboración propia.

Figura 148

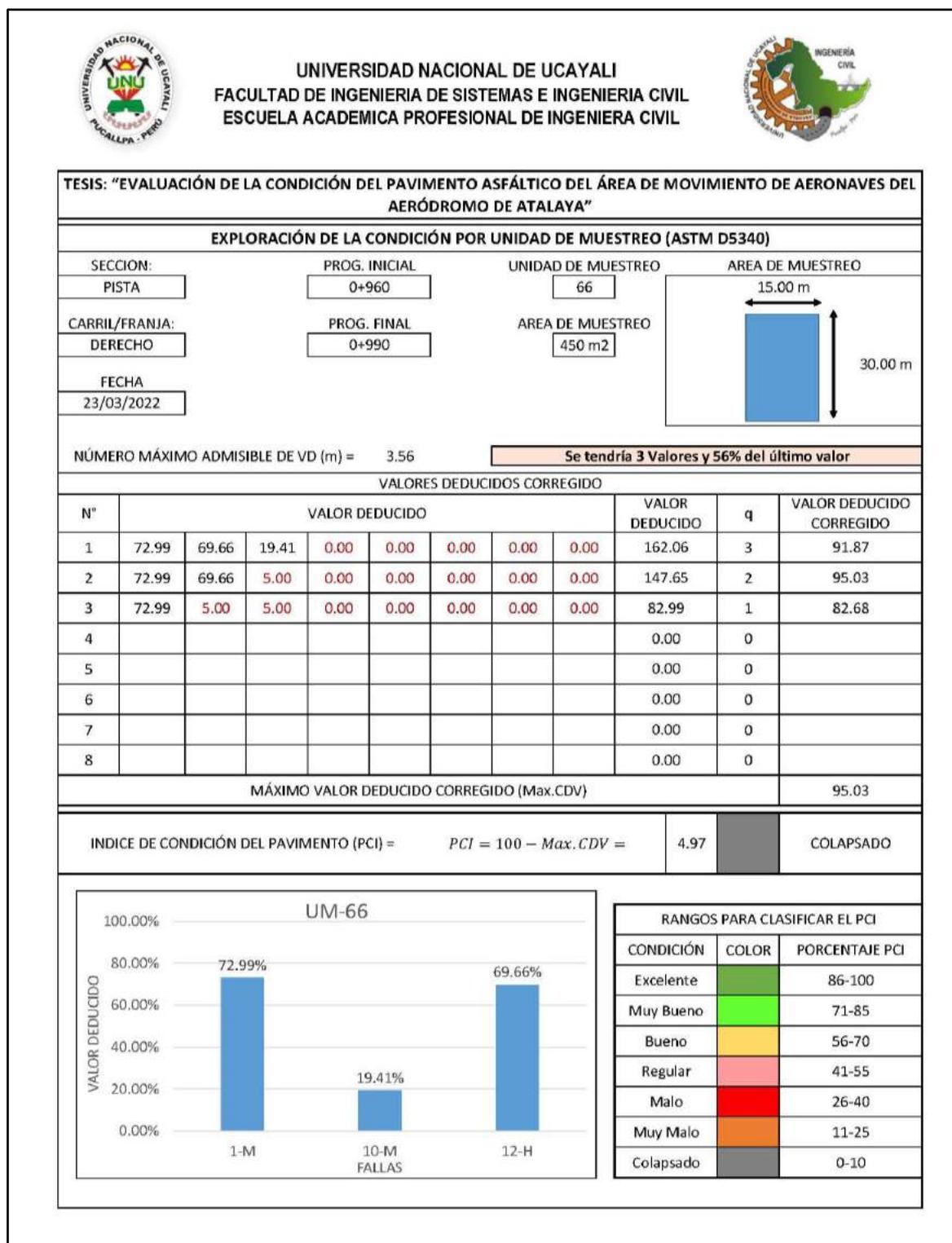
Memoria de cálculo – UM 65



Fuente: Elaboración propia.

Figura 149

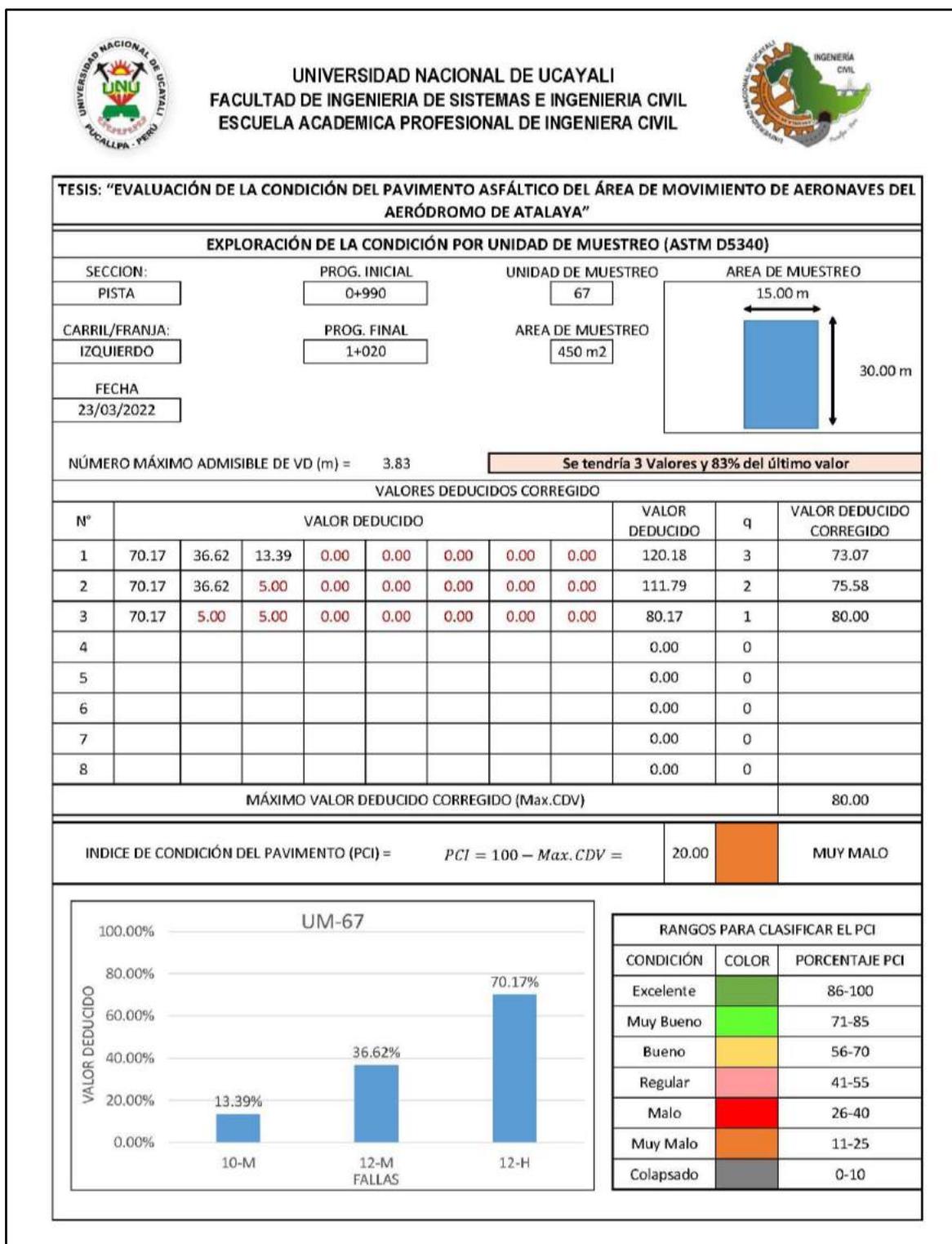
Memoria de cálculo – UM 66



Fuente: Elaboración propia.

Figura 150

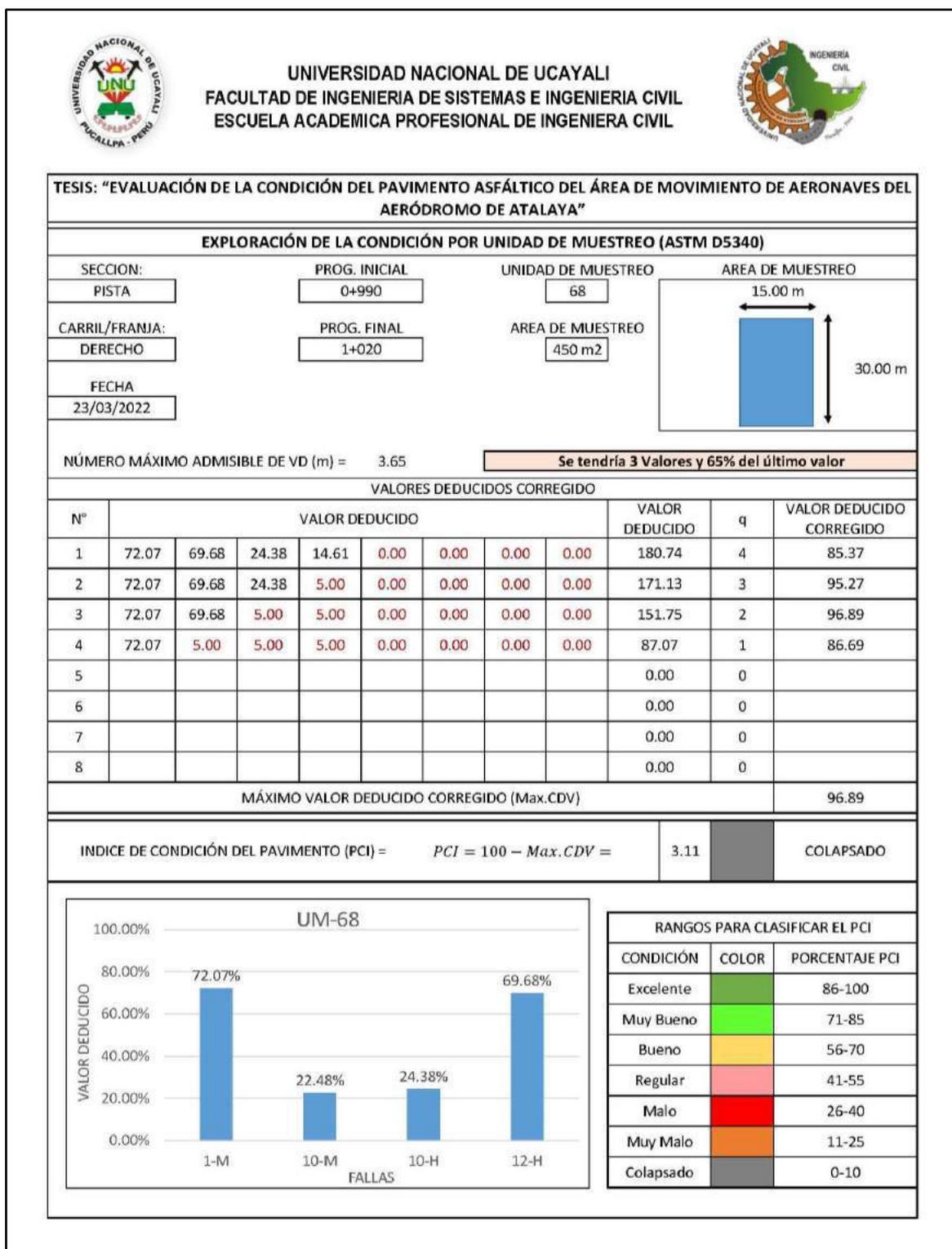
Memoria de cálculo – UM 67



Fuente: Elaboración propia.

Figura 151

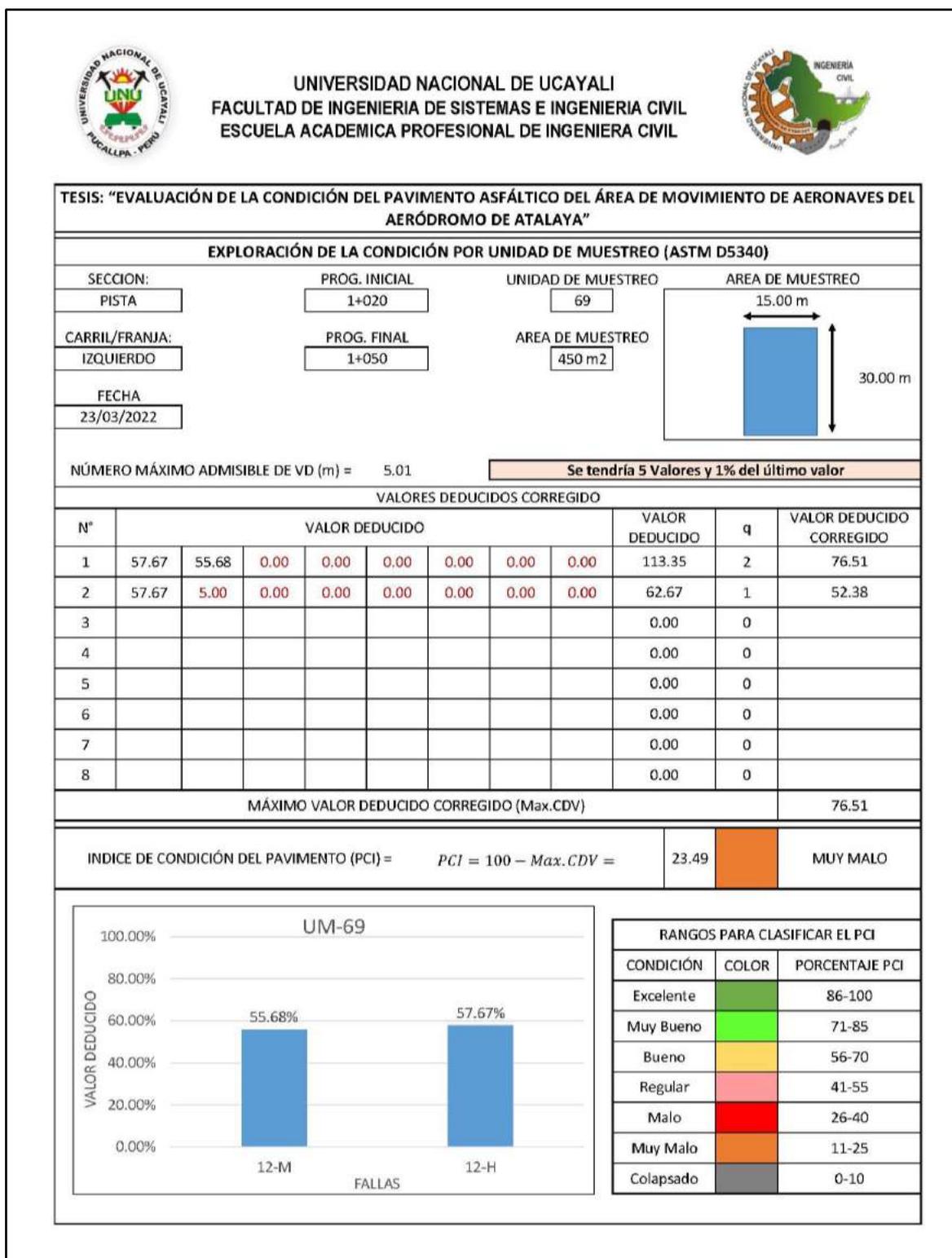
Memoria de cálculo – UM 68



Fuente: Elaboración propia.

Figura 152

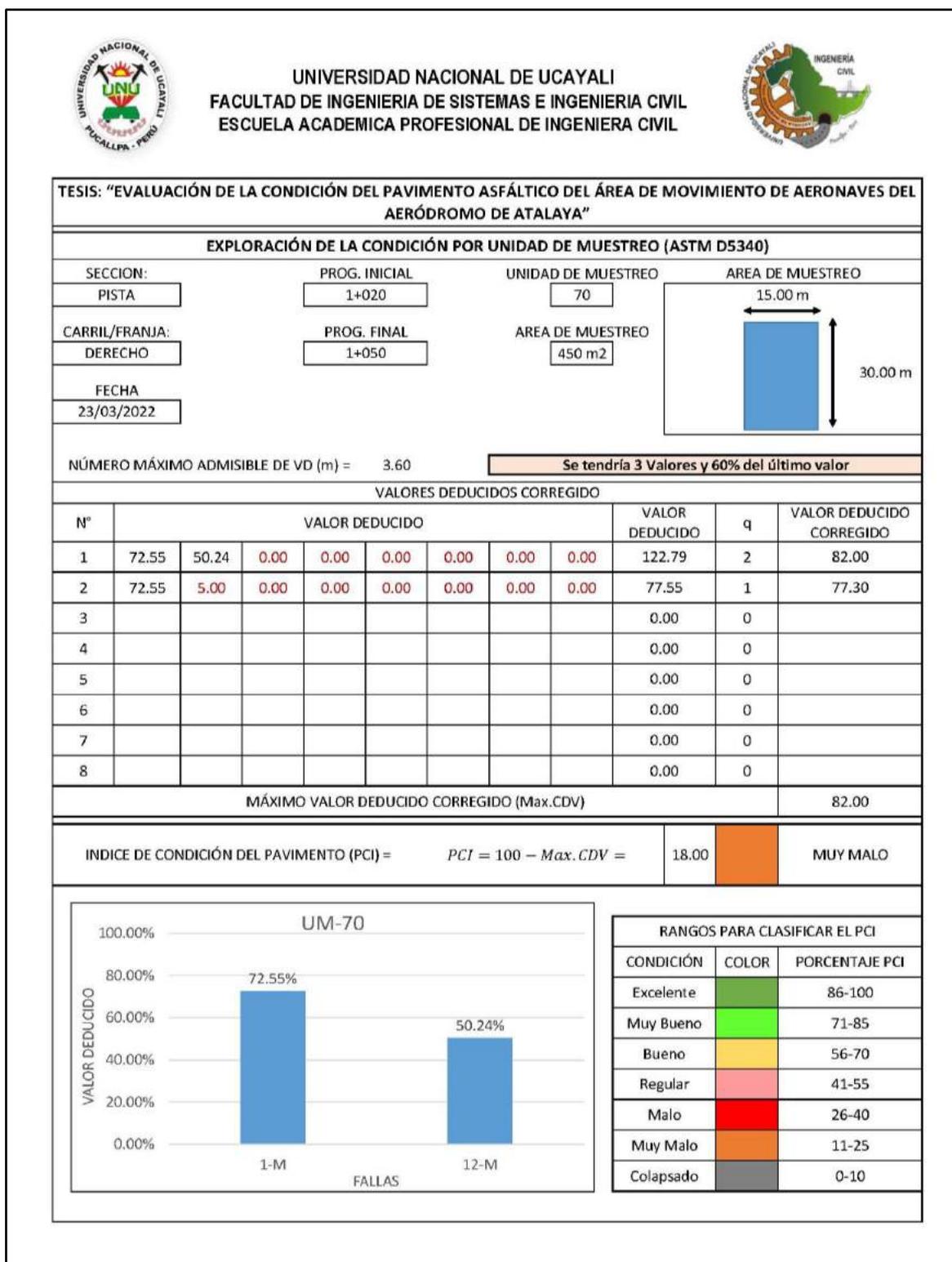
Memoria de cálculo – UM 69



Fuente: Elaboración propia.

Figura 153

Memoria de cálculo – UM 70



Fuente: Elaboración propia.

Figura 154

Memoria de cálculo – UM 71

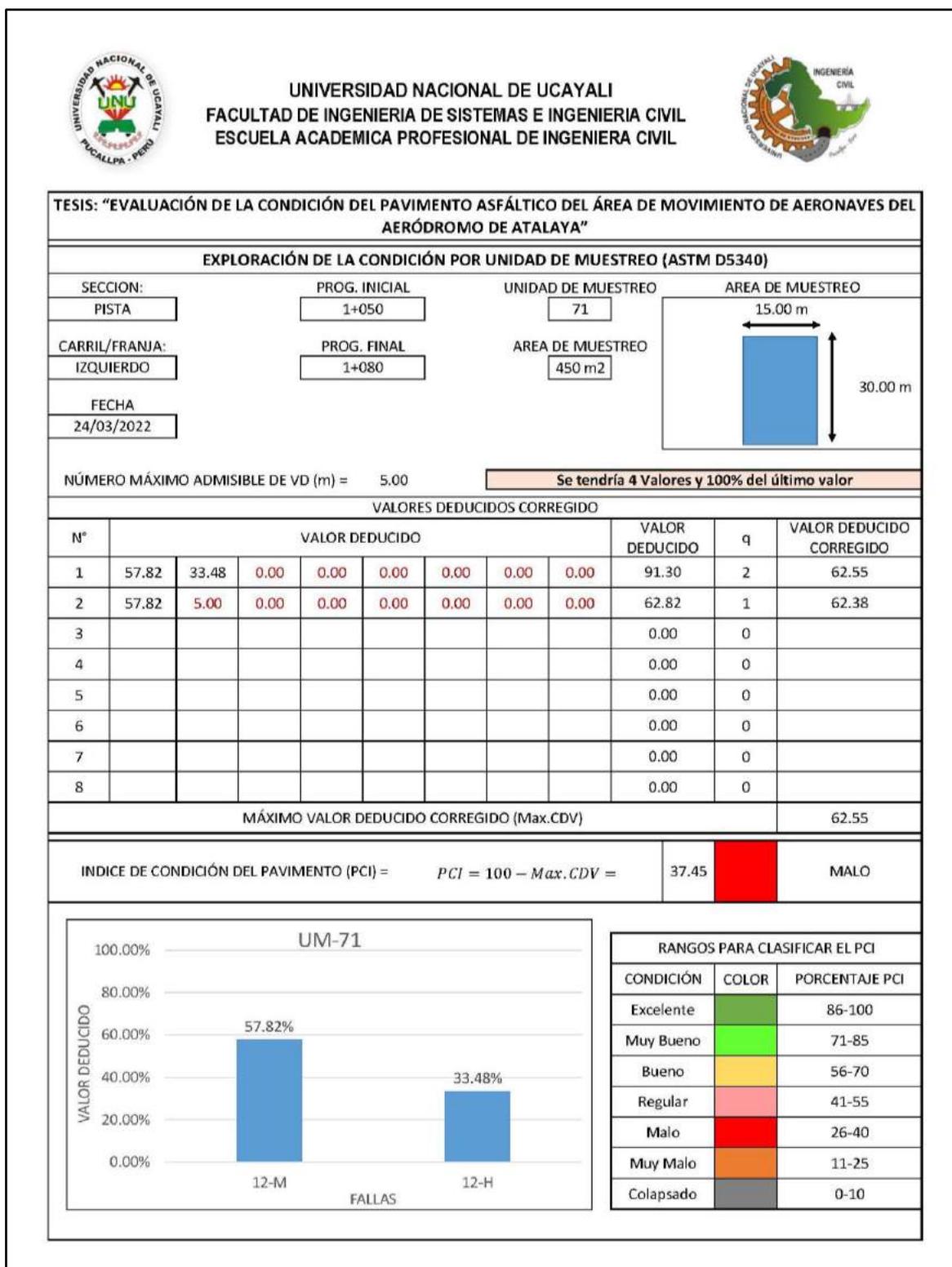
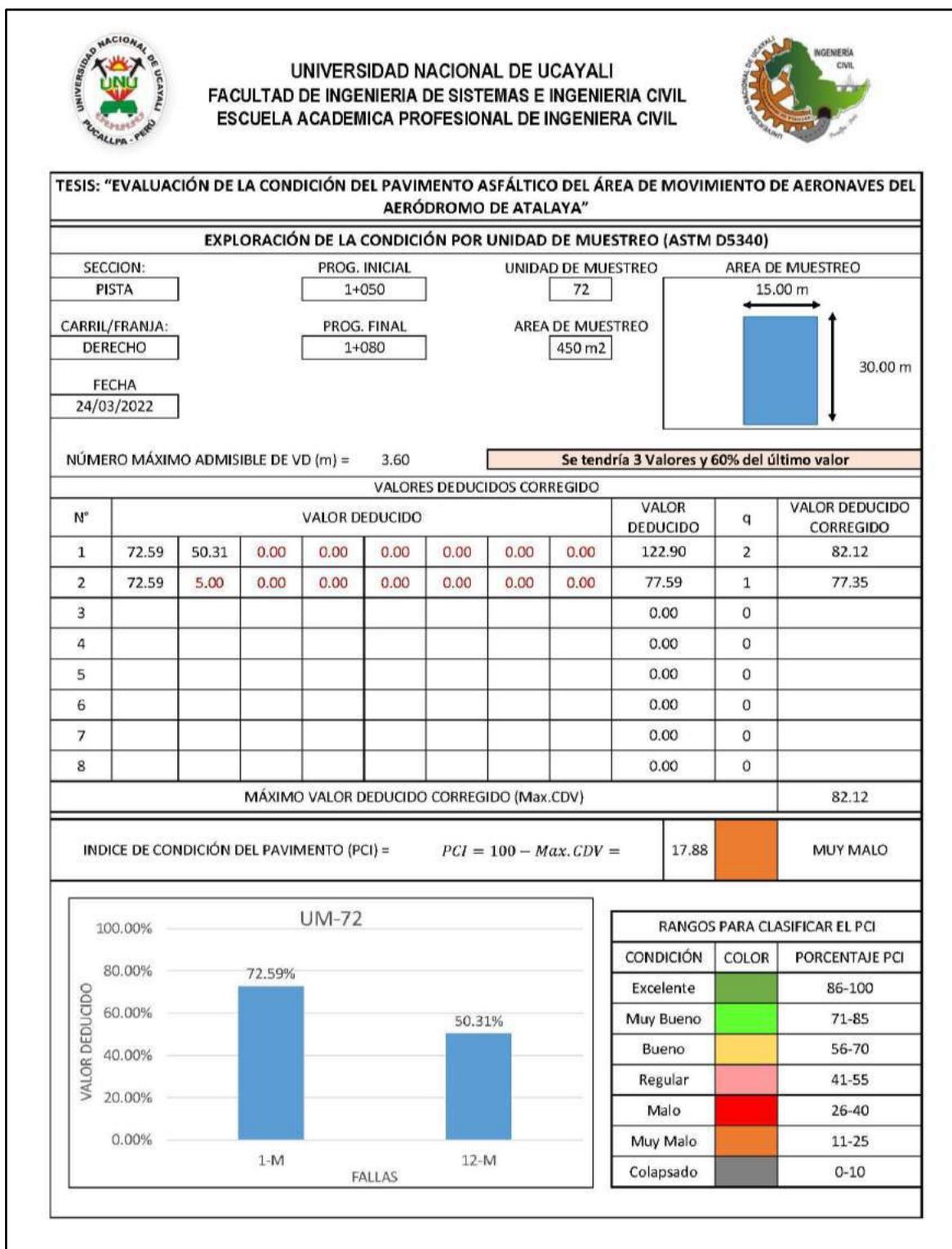


Figura 155

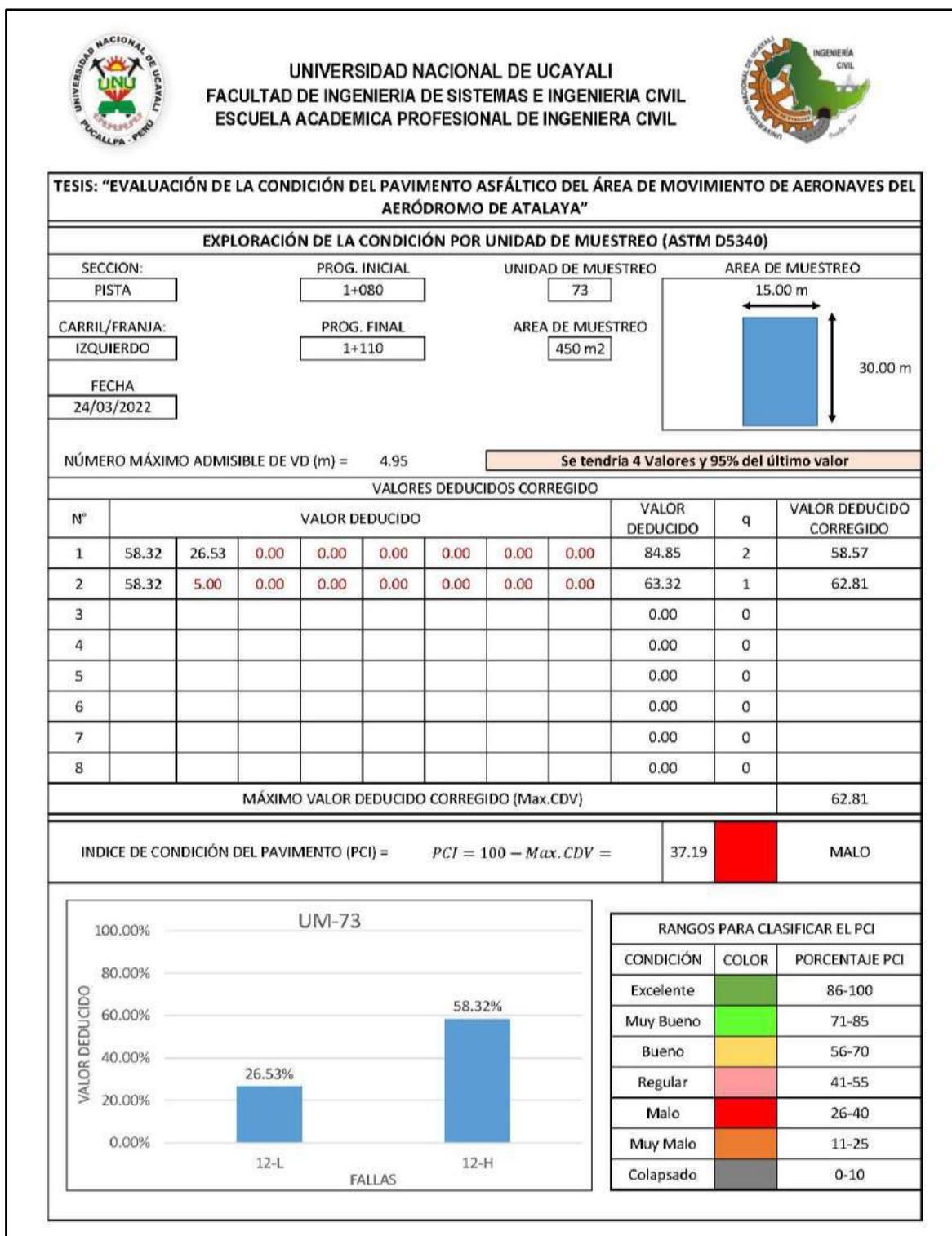
Memoria de cálculo – UM 72



Fuente: Elaboración propia.

Figura 156

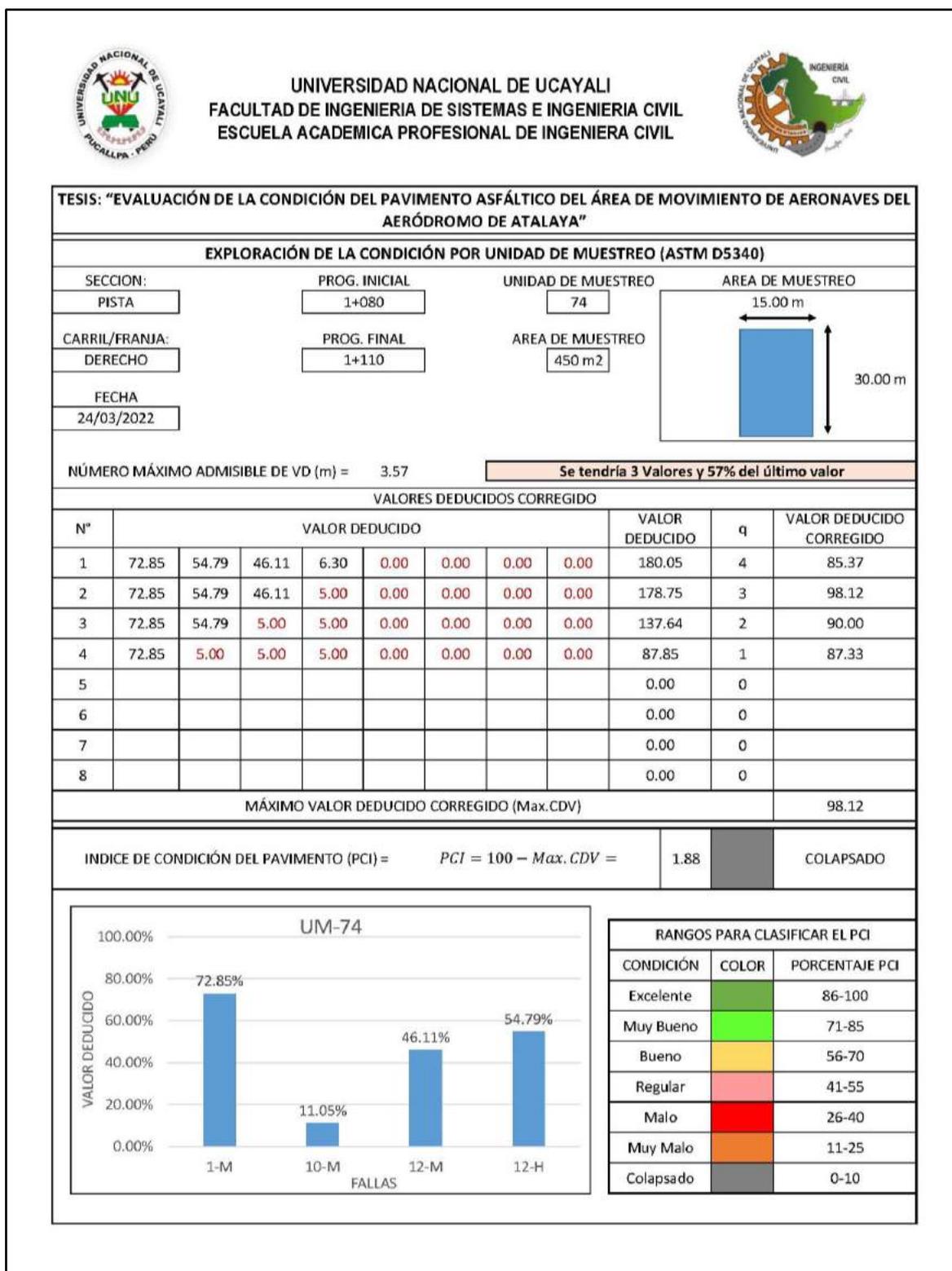
Memoria de cálculo – UM 73



Fuente: Elaboración propia.

Figura 157

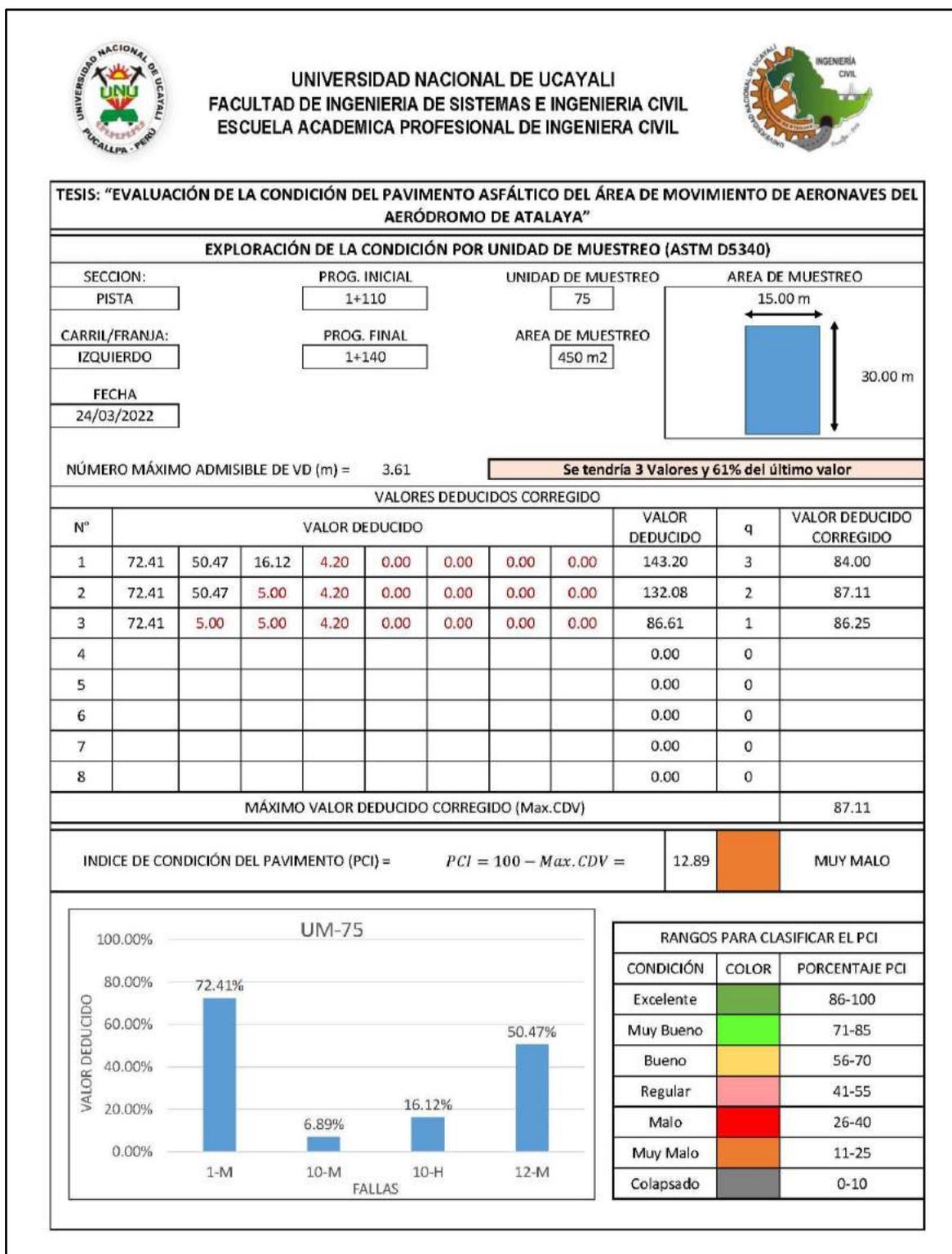
Memoria de cálculo – UM 74



Fuente: Elaboración propia.

Figura 158

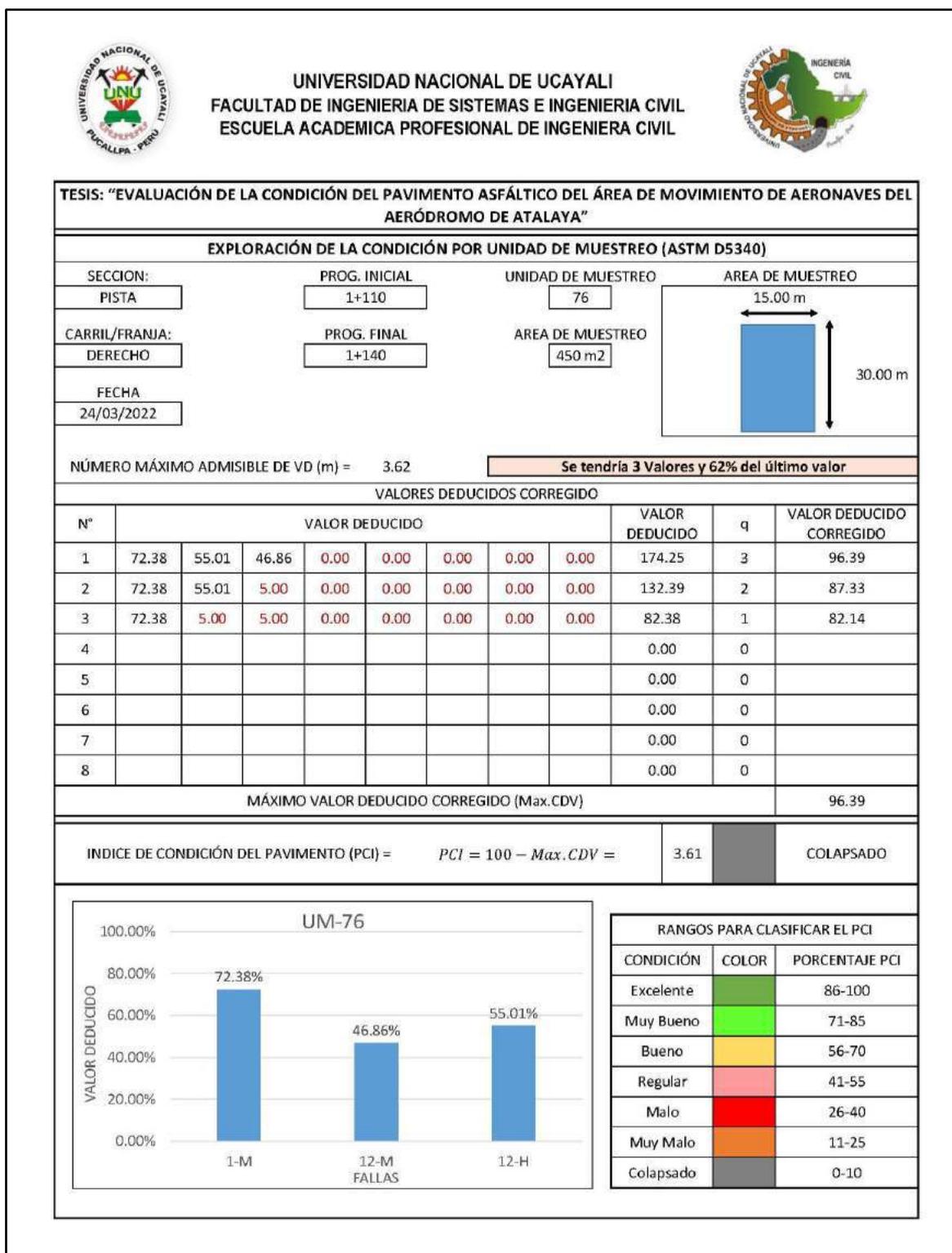
Memoria de cálculo – UM 75



Fuente: Elaboración propia.

Figura 159

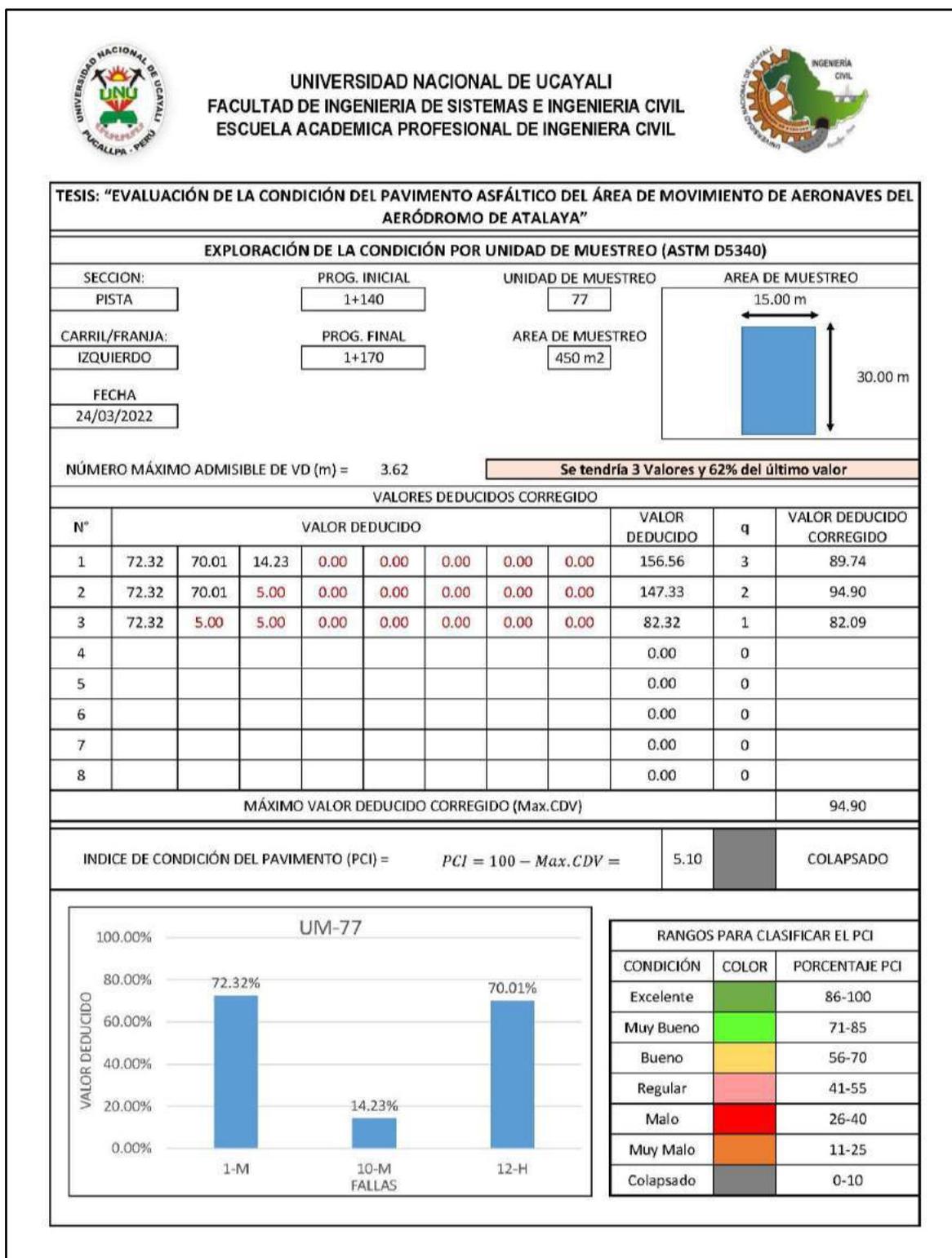
Memoria de cálculo – UM 76



Fuente: Elaboración propia.

Figura 160

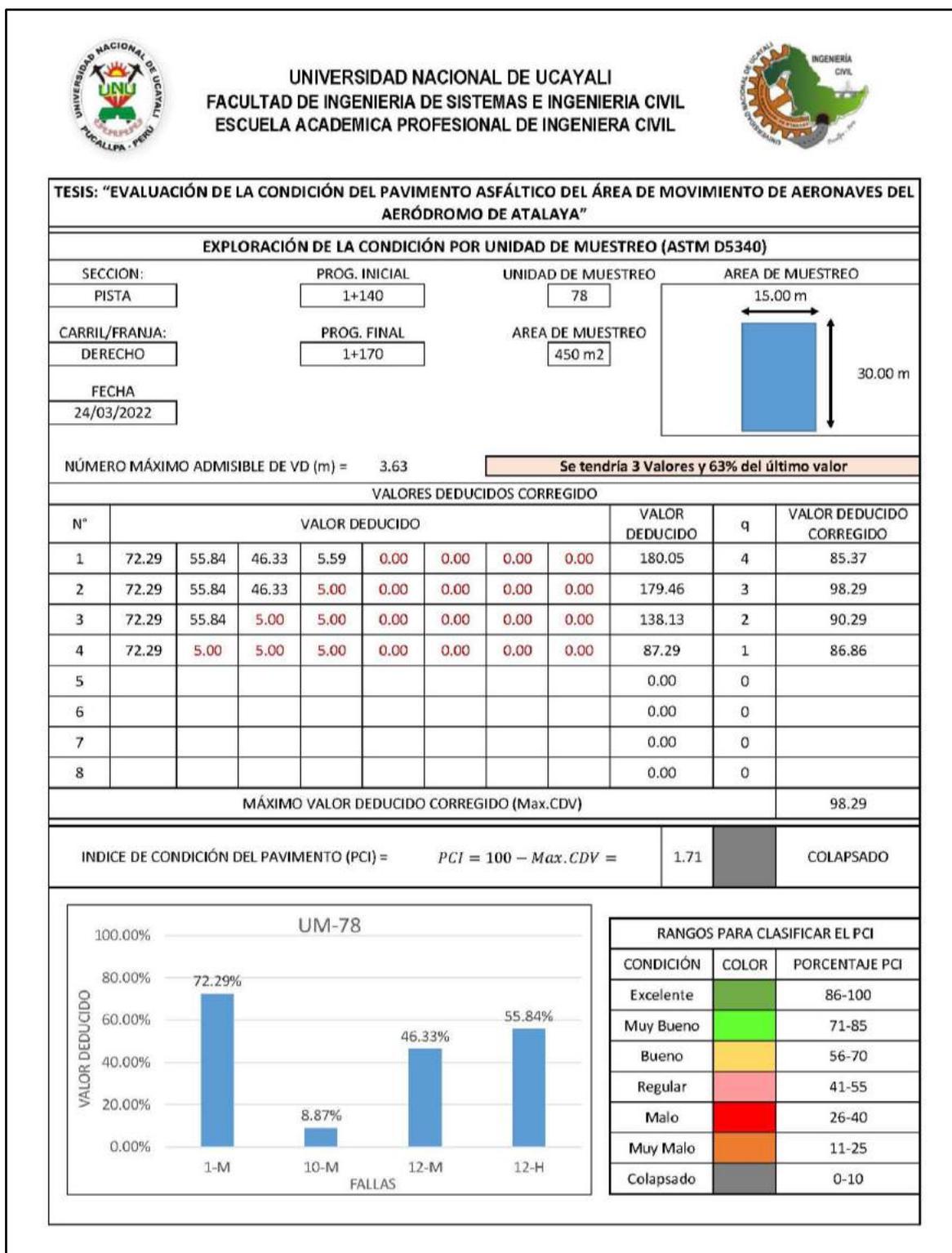
Memoria de cálculo – UM 77



Fuente: Elaboración propia.

Figura 161

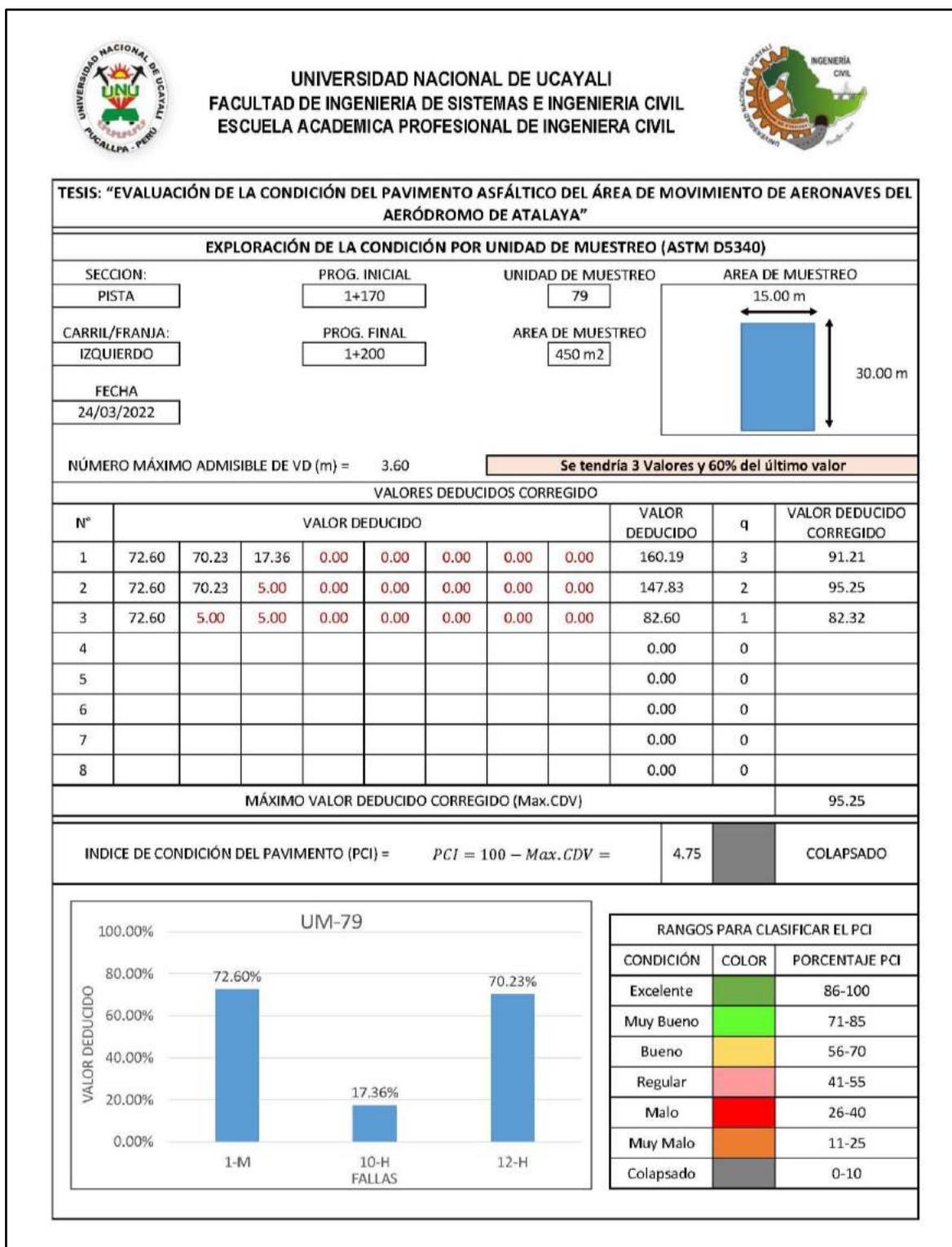
Memoria de cálculo – UM 78



Fuente: Elaboración propia.

Figura 162

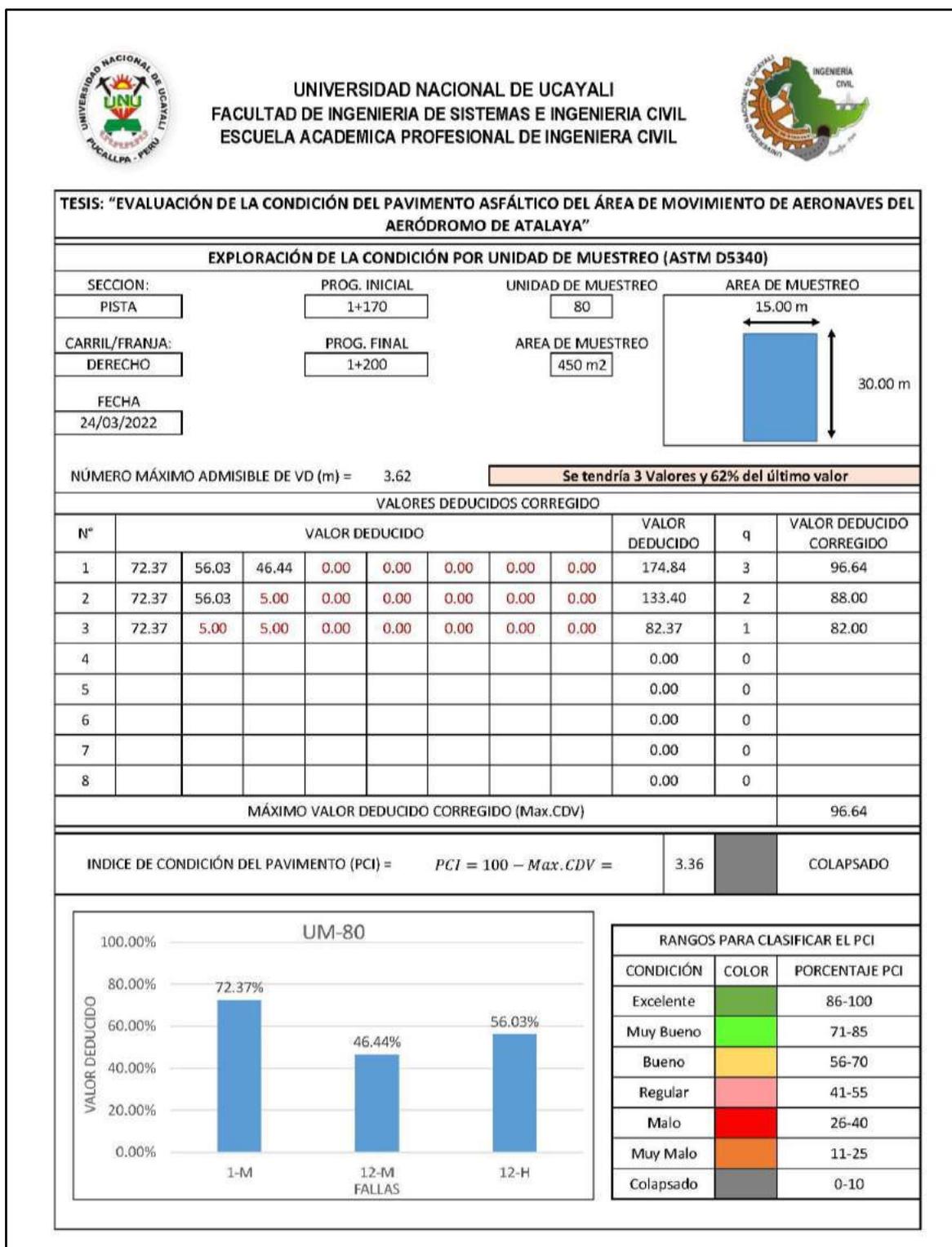
Memoria de cálculo – UM 79



Fuente: Elaboración propia.

Figura 163

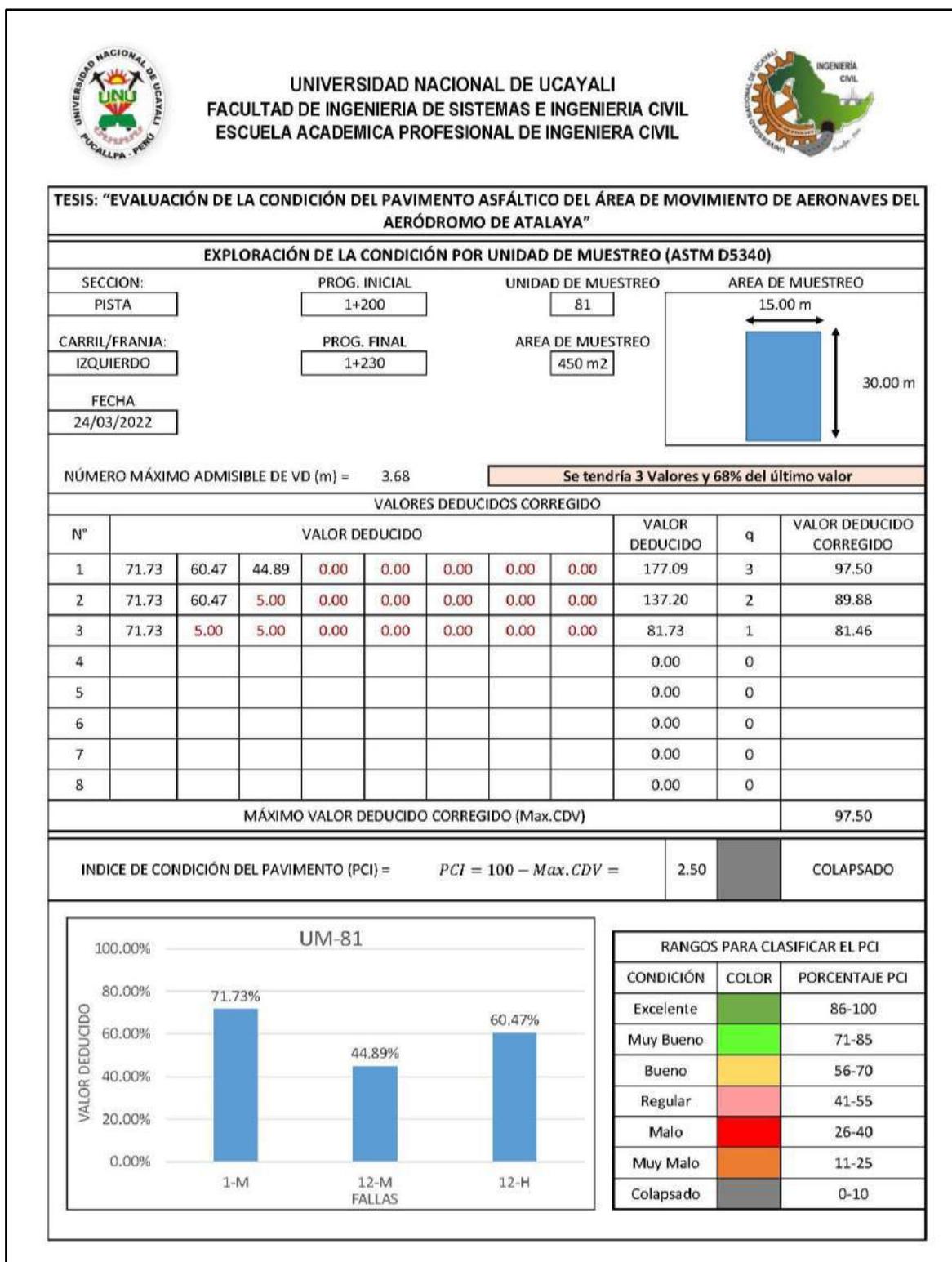
Memoria de cálculo – UM 80



Fuente: Elaboración propia.

Figura 164

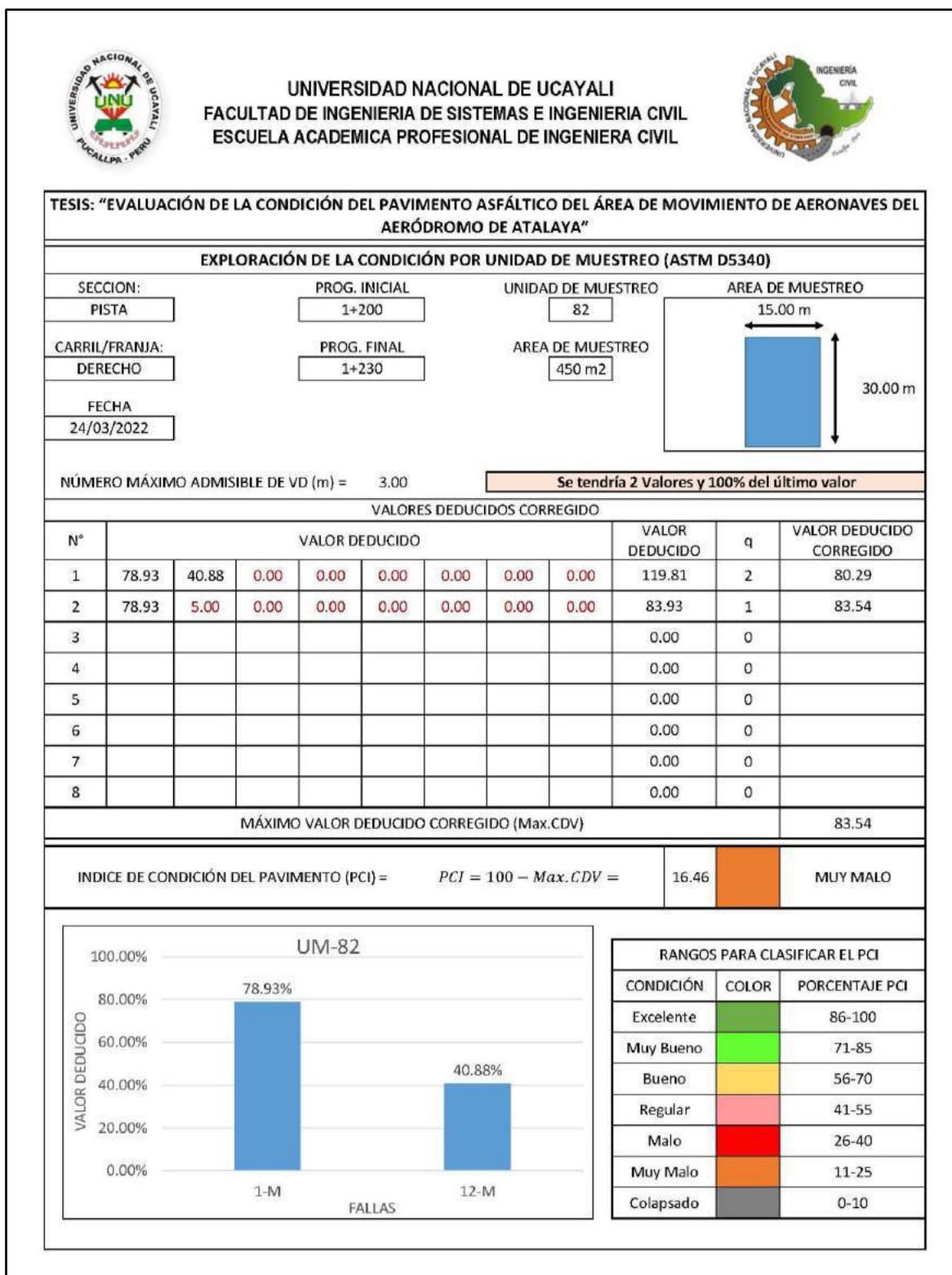
Memoria de cálculo – UM 81



Fuente: Elaboración propia.

Figura 165

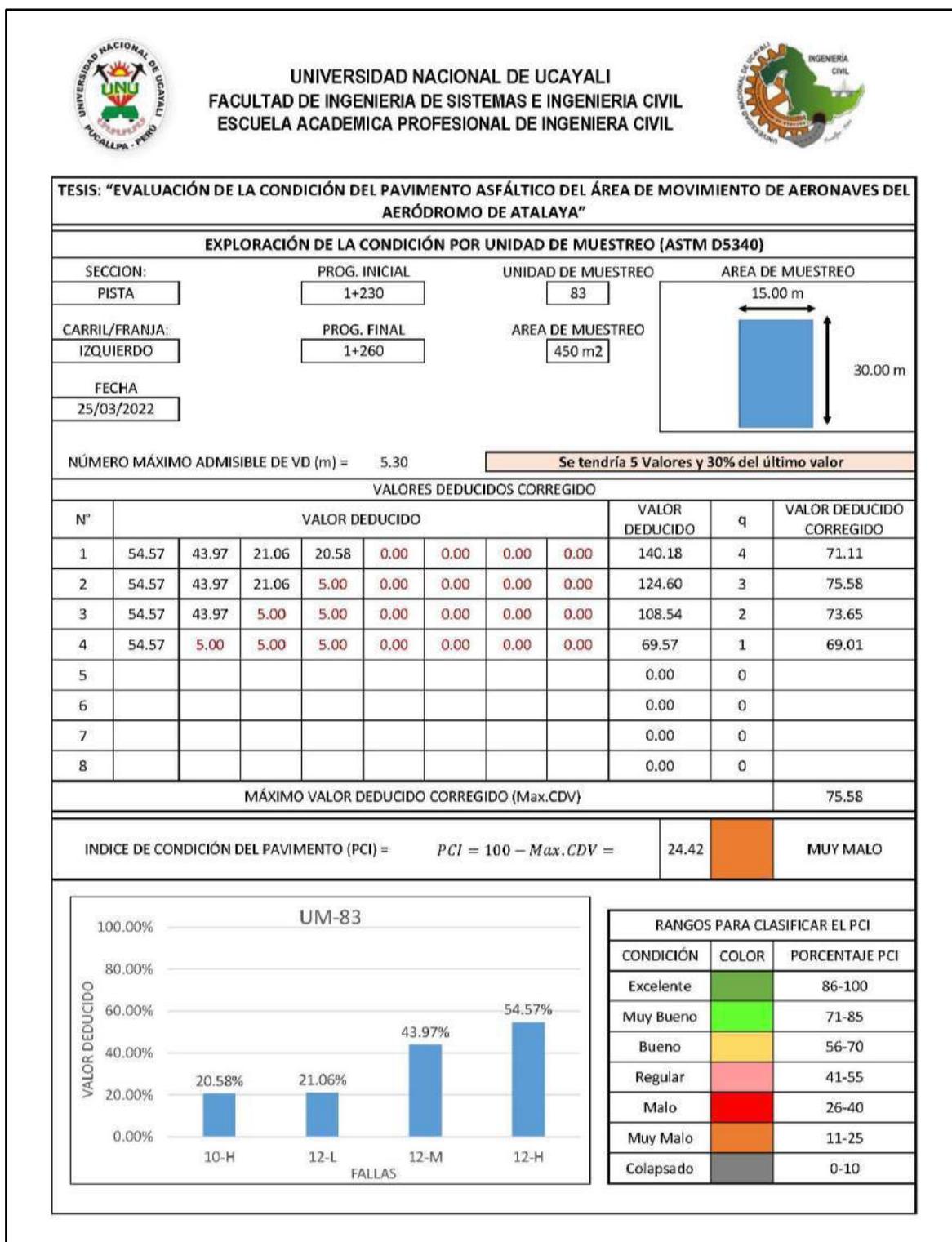
Memoria de cálculo – UM 82



Fuente: Elaboración propia.

Figura 166

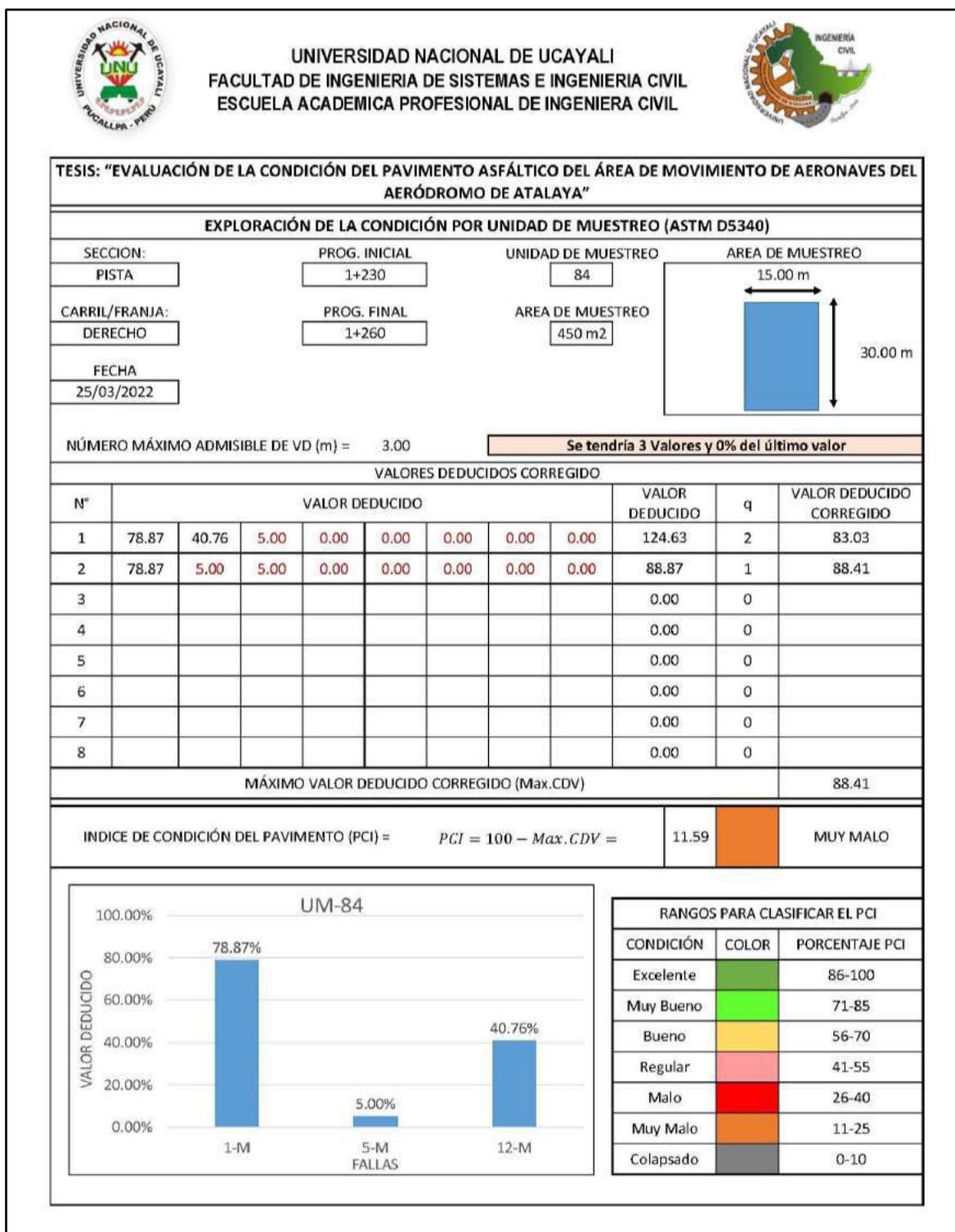
Memoria de cálculo – UM 83



Fuente: Elaboración propia.

Figura 167

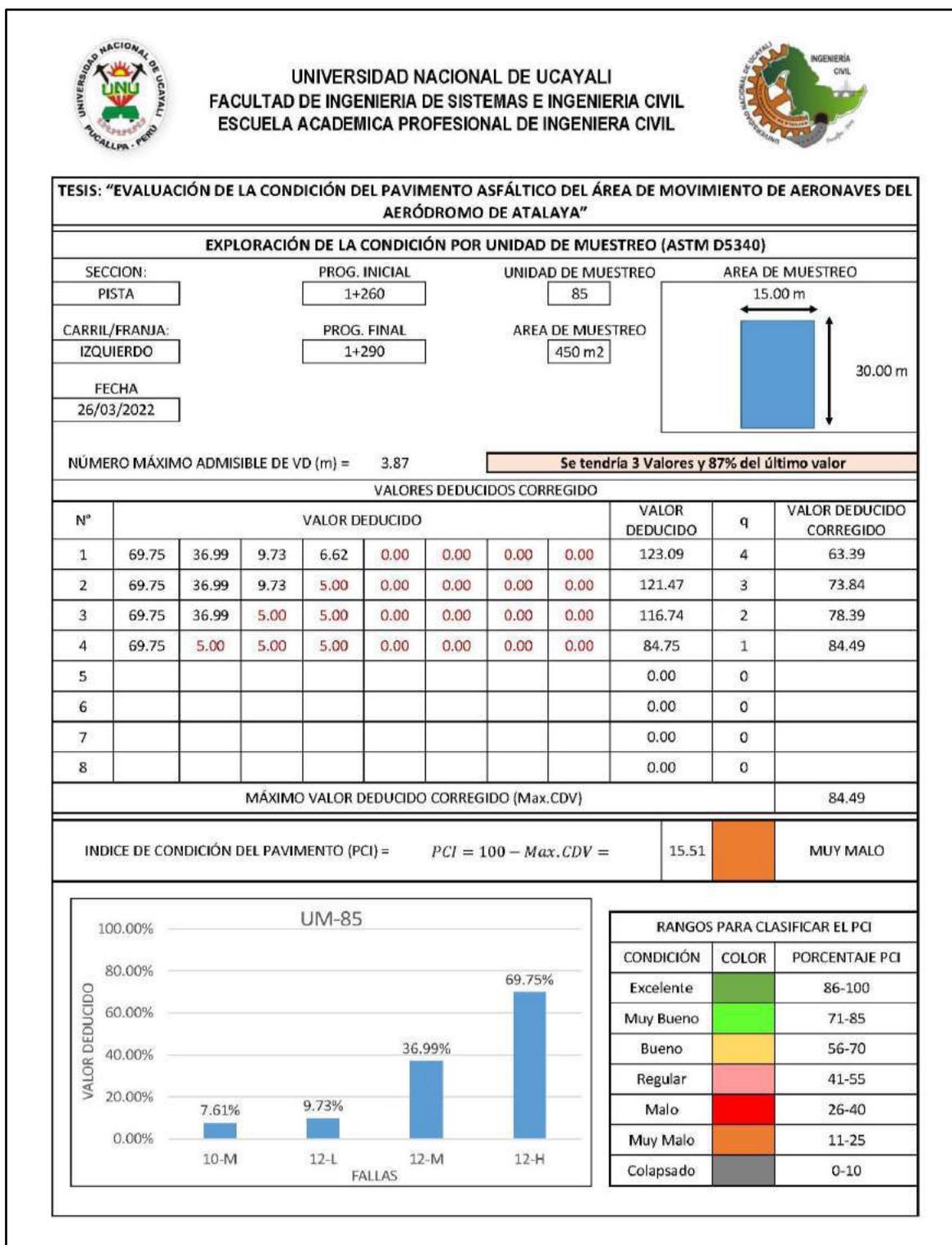
Memoria de cálculo – UM 84



Fuente: Elaboración propia.

Figura 168

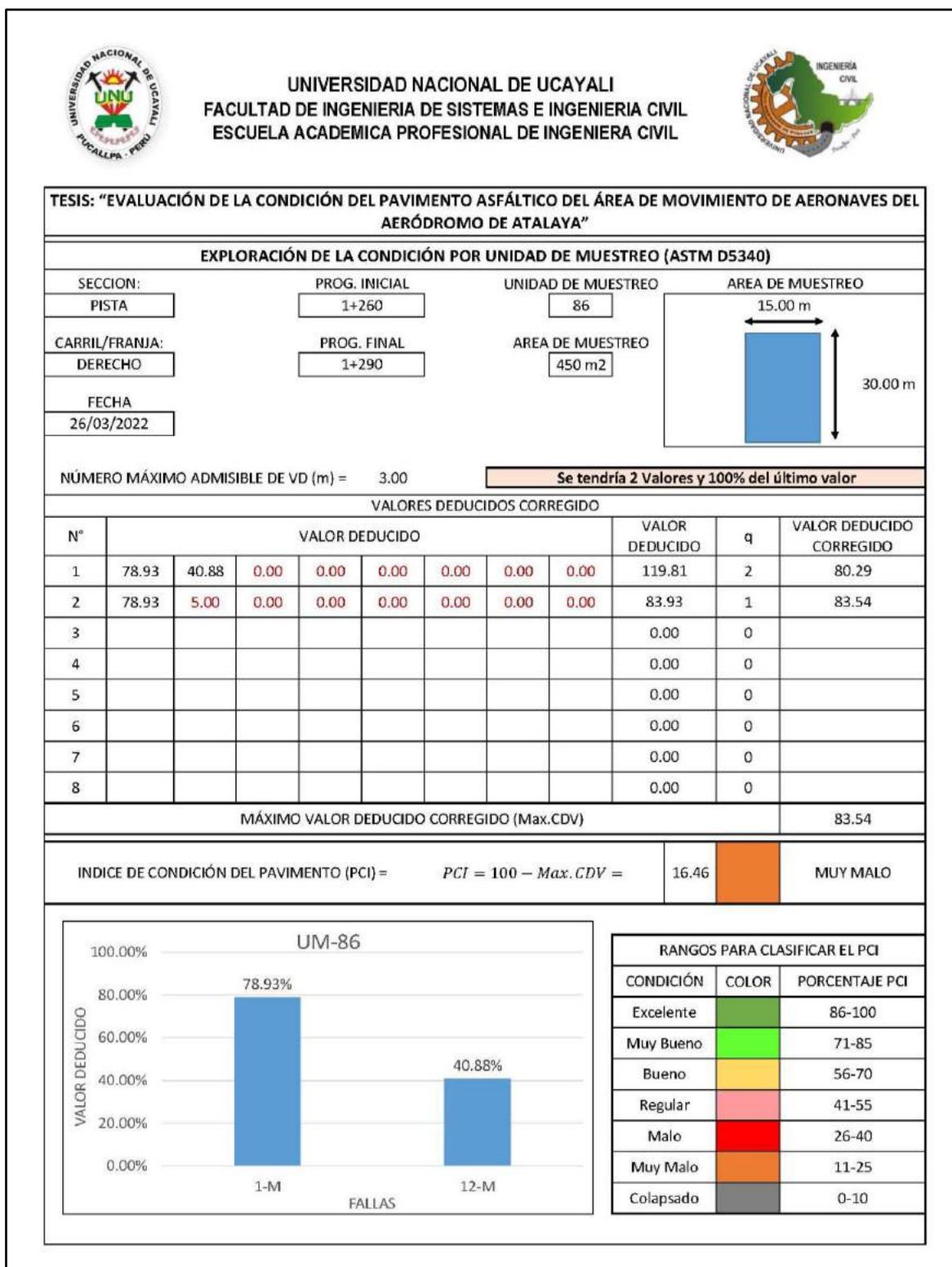
Memoria de cálculo – UM 85



Fuente: Elaboración propia.

Figura 169

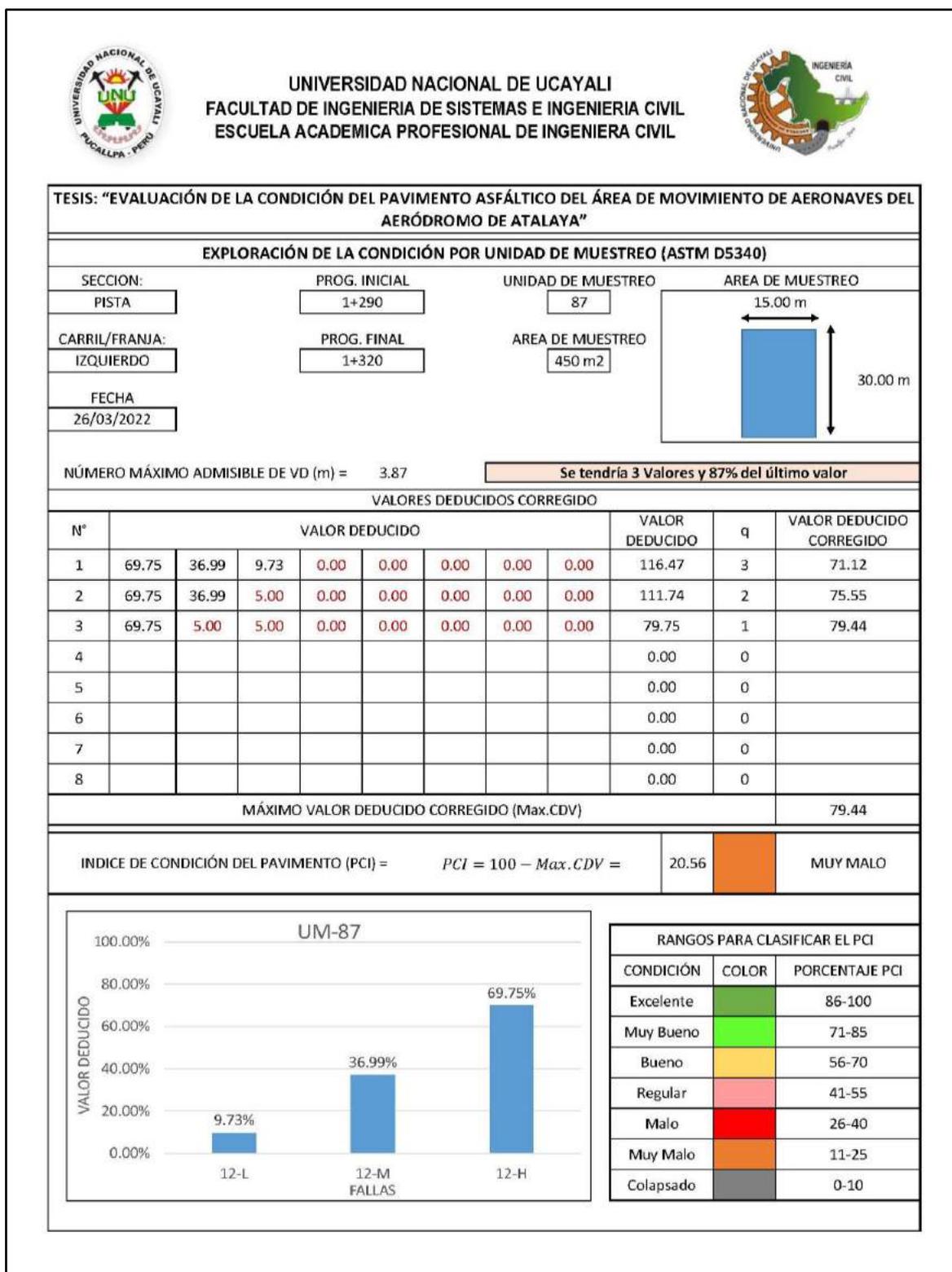
Memoria de cálculo – UM 86



Fuente: Elaboración propia.

Figura 170

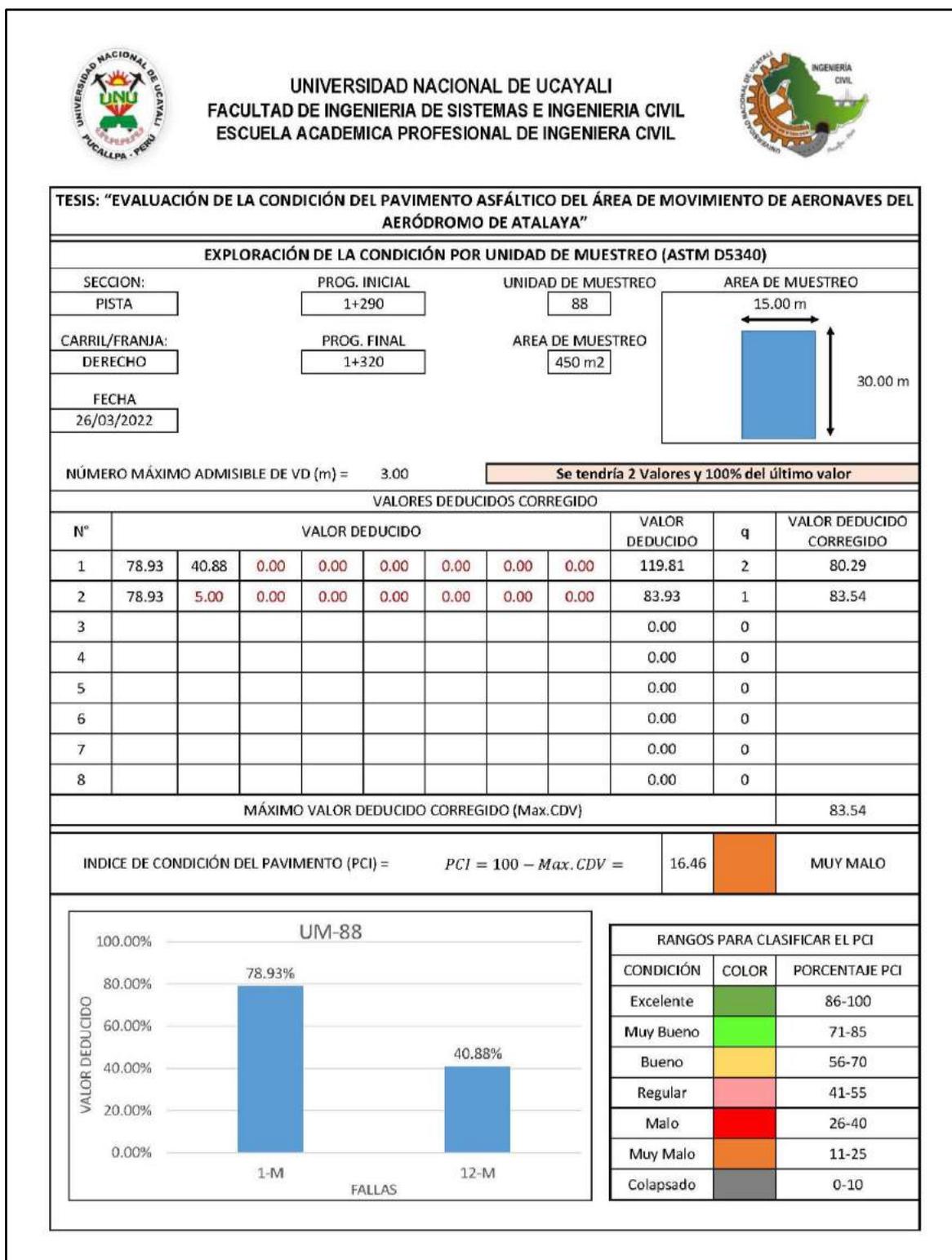
Memoria de cálculo – UM 87



Fuente: Elaboración propia.

Figura 171

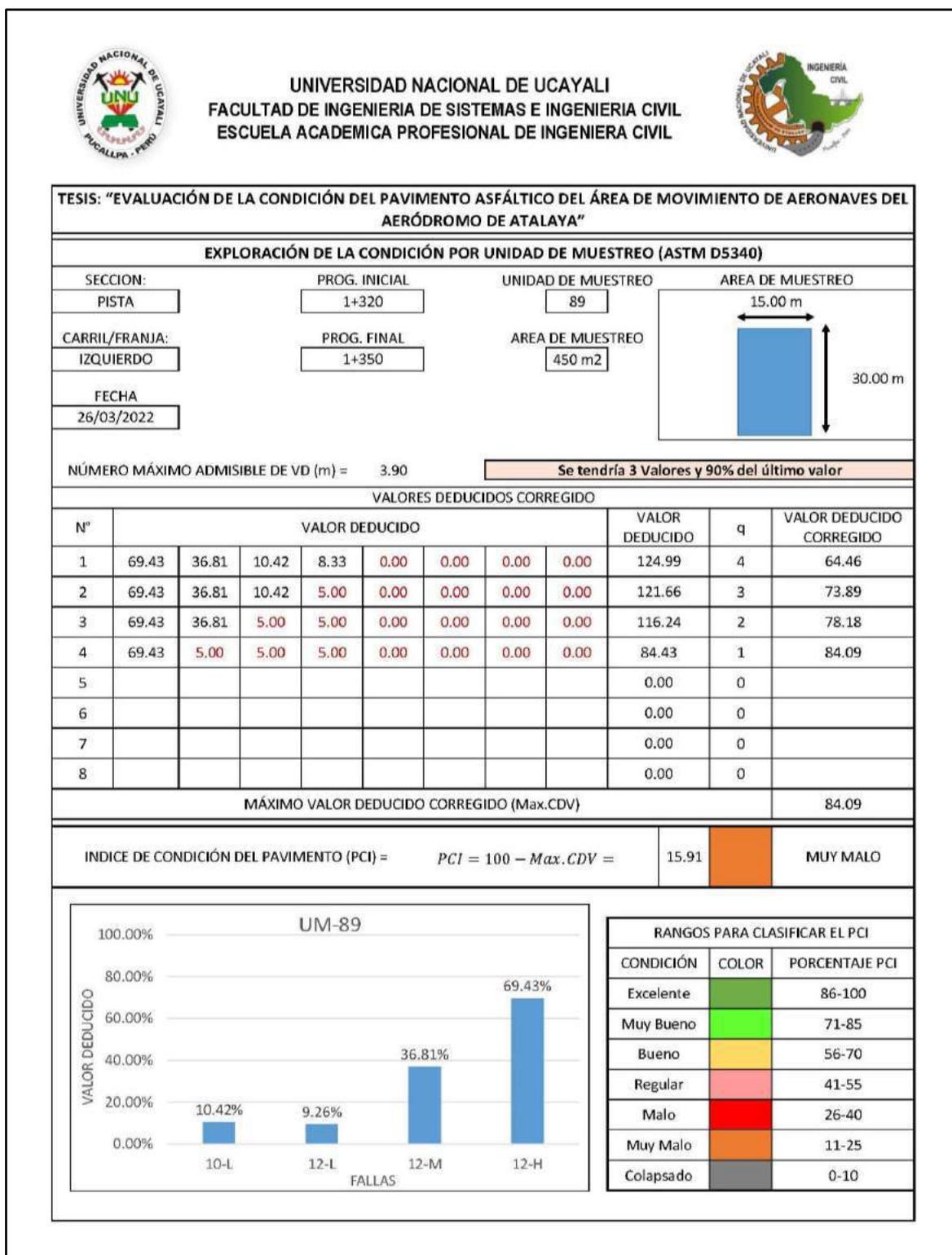
Memoria de cálculo – UM 88



Fuente: Elaboración propia.

Figura 172

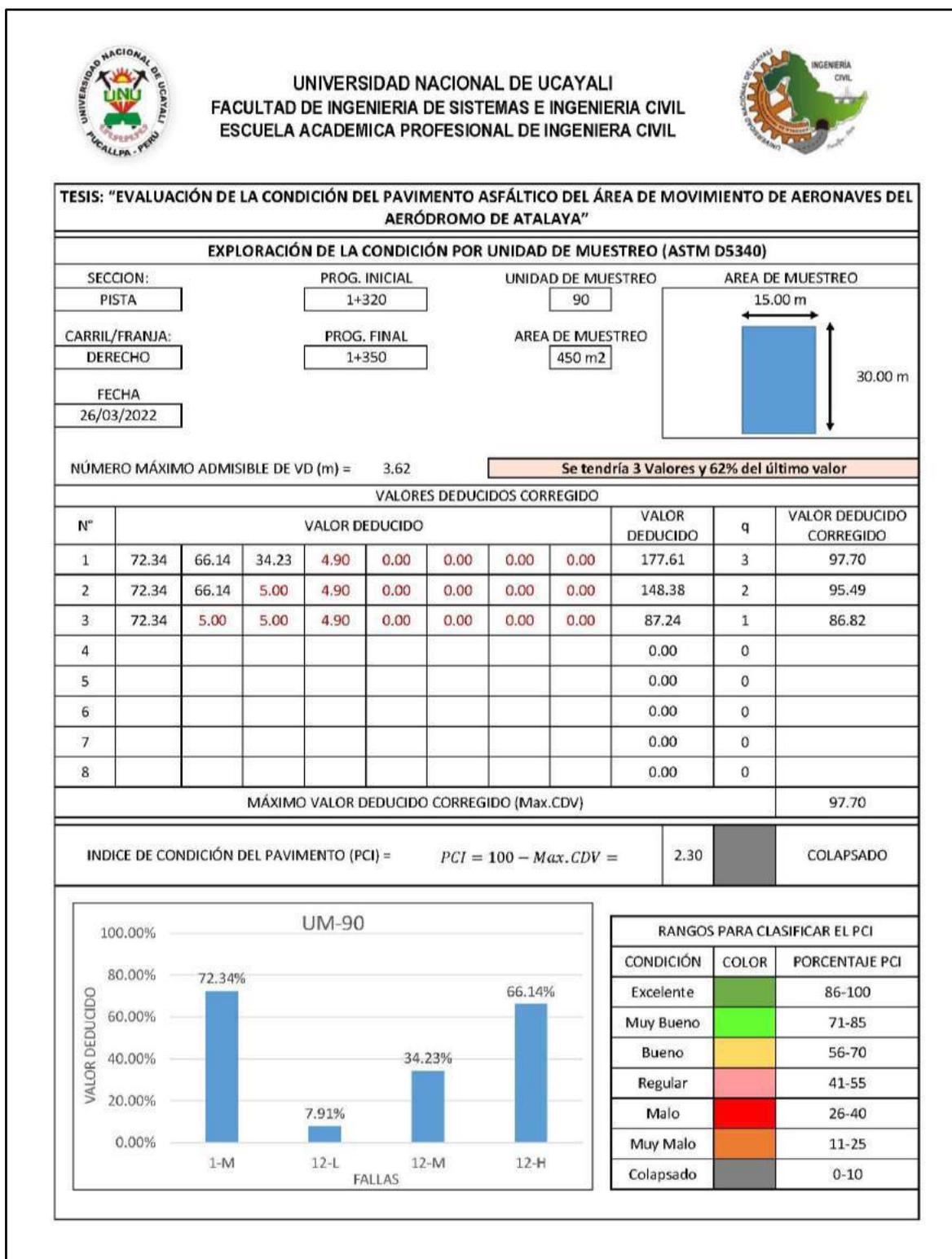
Memoria de cálculo – UM 89



Fuente: Elaboración propia.

Figura 173

Memoria de cálculo – UM 90



Fuente: Elaboración propia.

Figura 174

Memoria de cálculo – UM 91

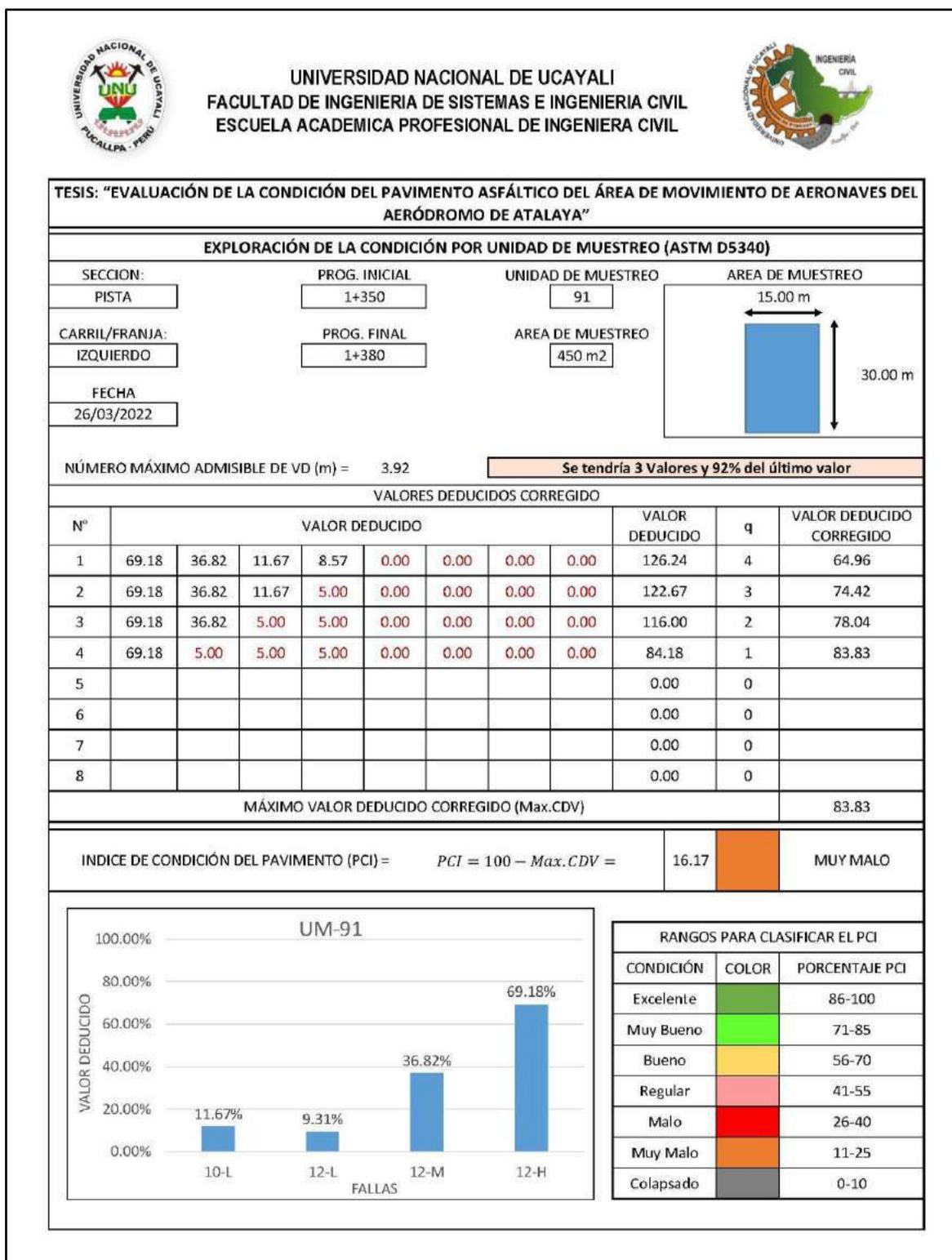
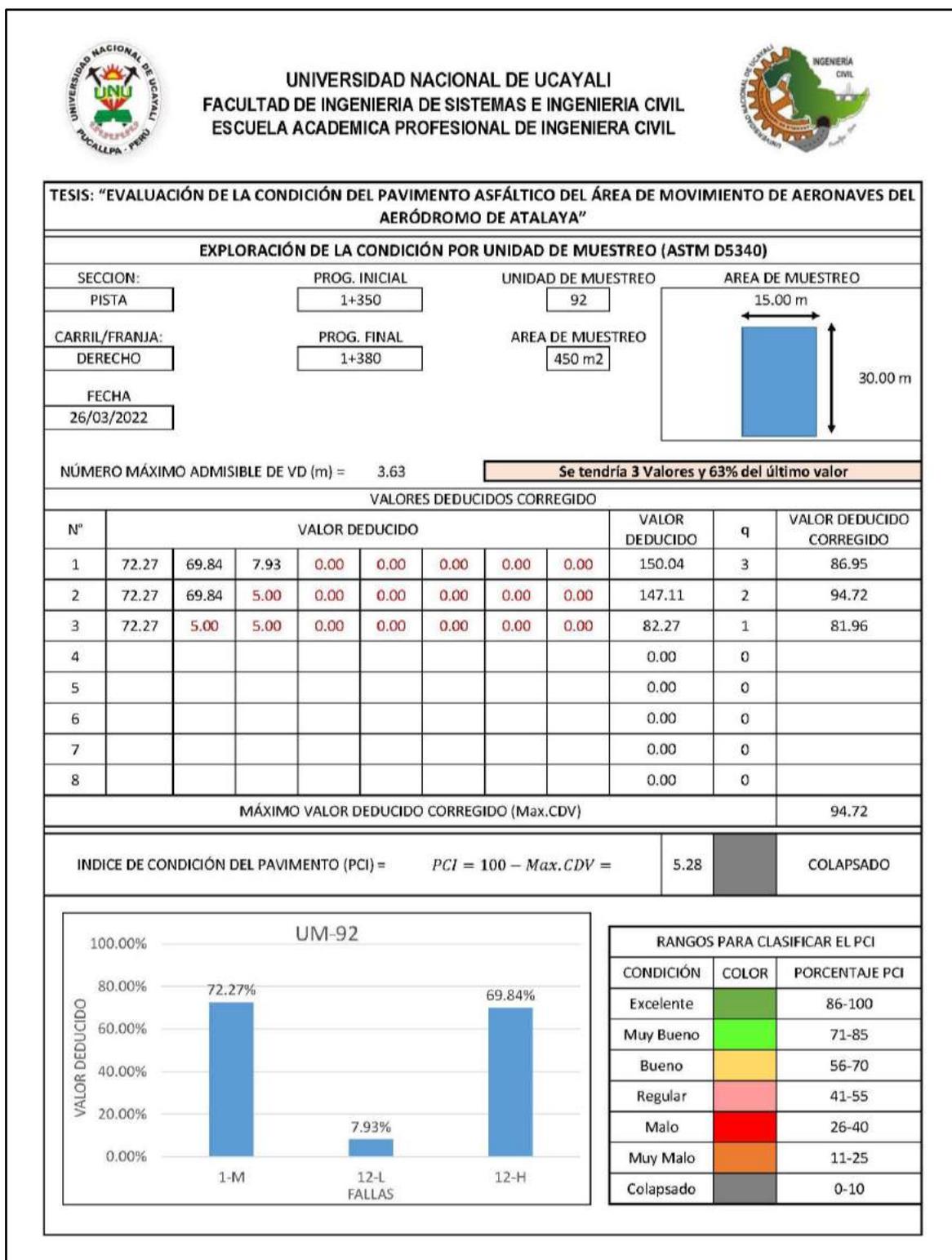


Figura 175

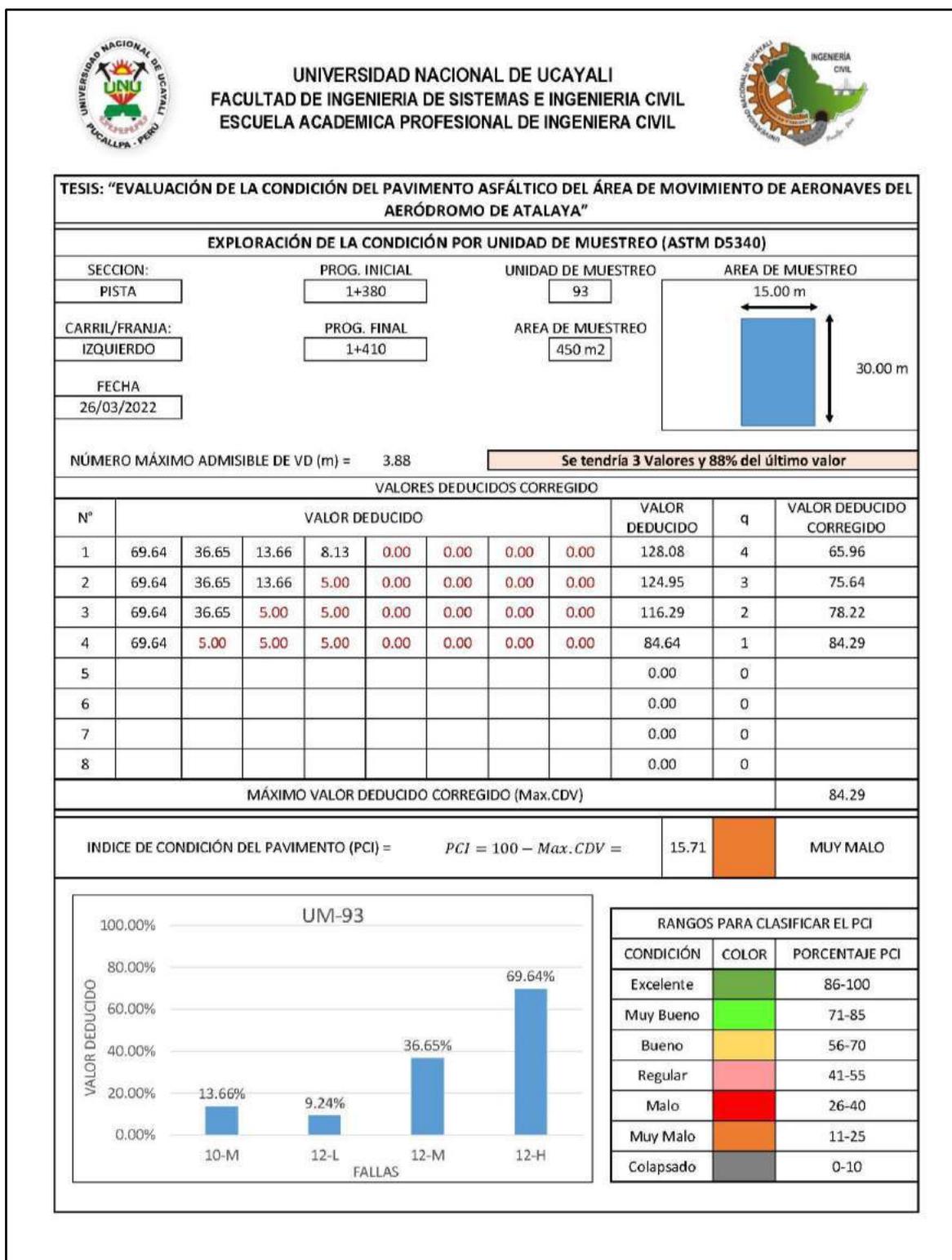
Memoria de cálculo – UM 92



Fuente: Elaboración propia.

Figura 176

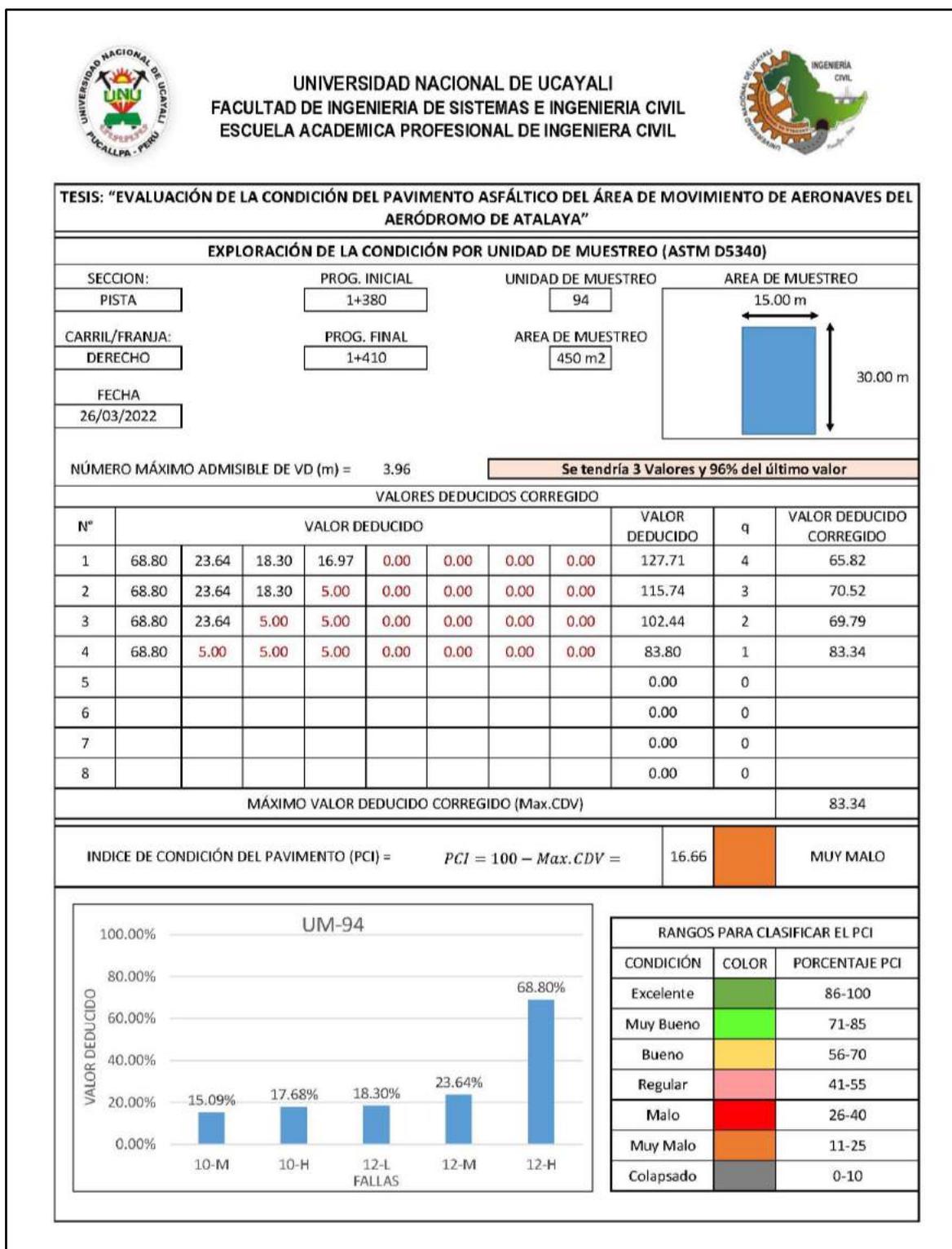
Memoria de cálculo – UM 93



Fuente: Elaboración propia.

Figura 177

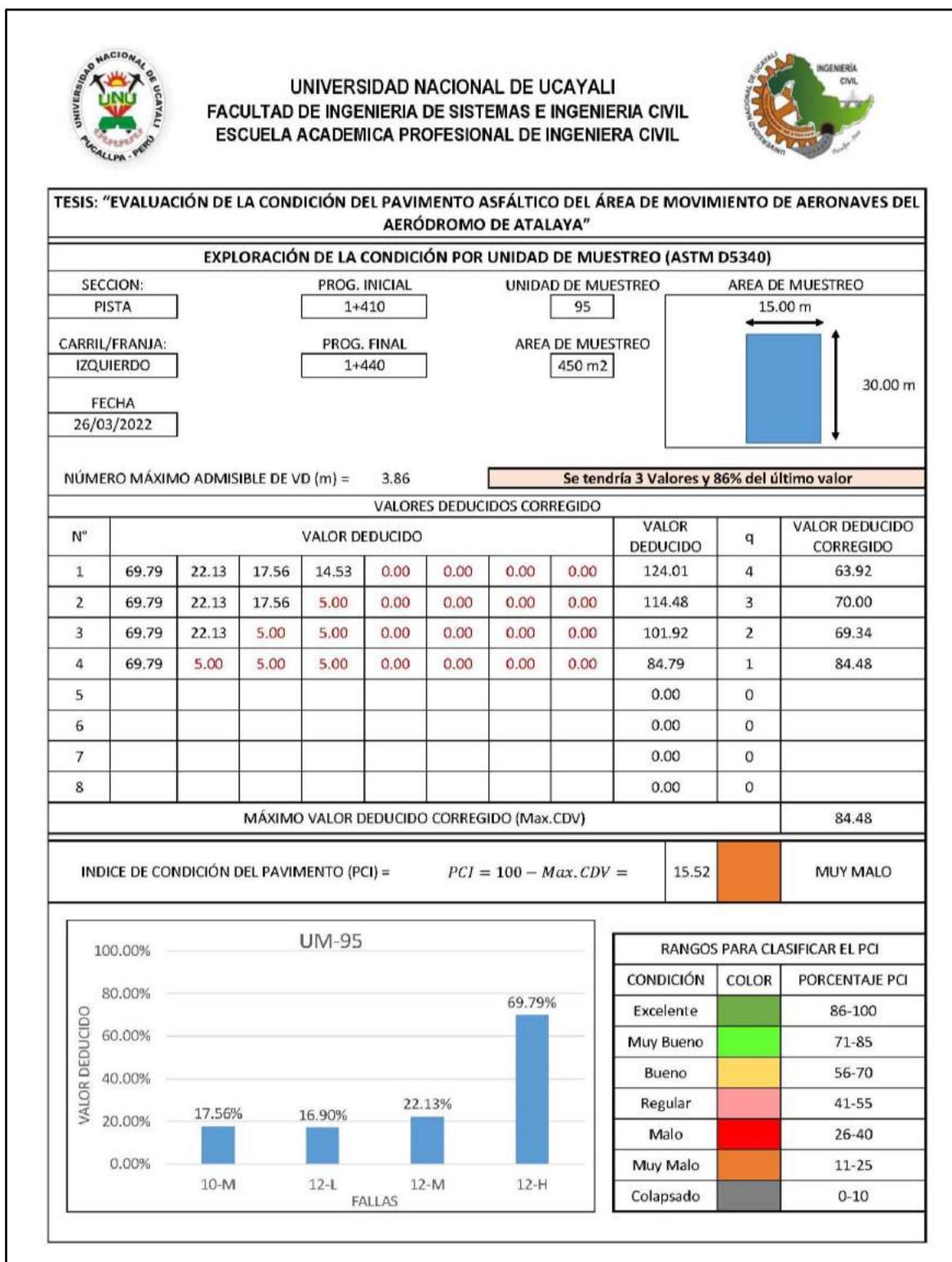
Memoria de cálculo – UM 94



Fuente: Elaboración propia.

Figura 178

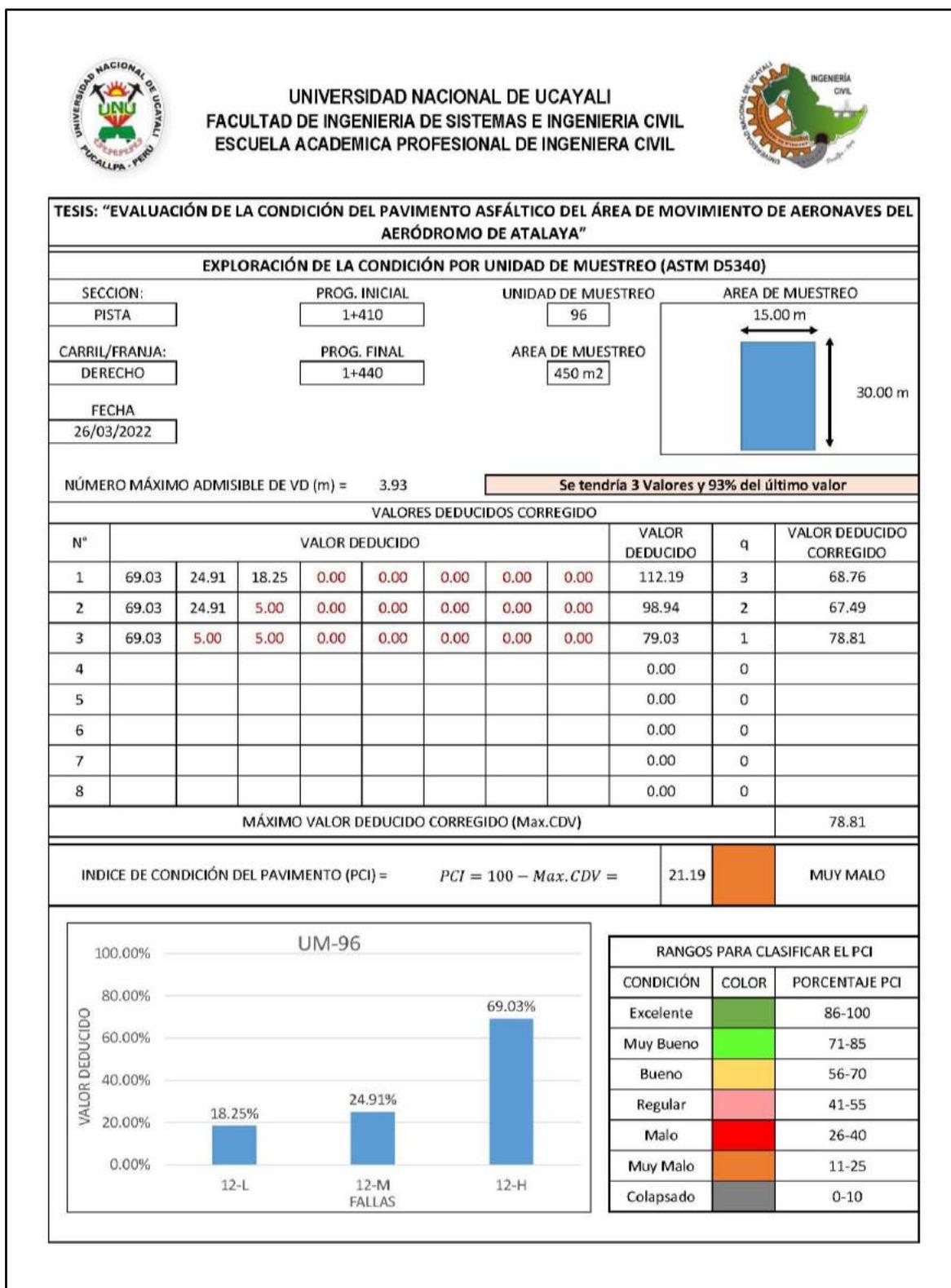
Memoria de cálculo – UM 95



Fuente: Elaboración propia.

Figura 179

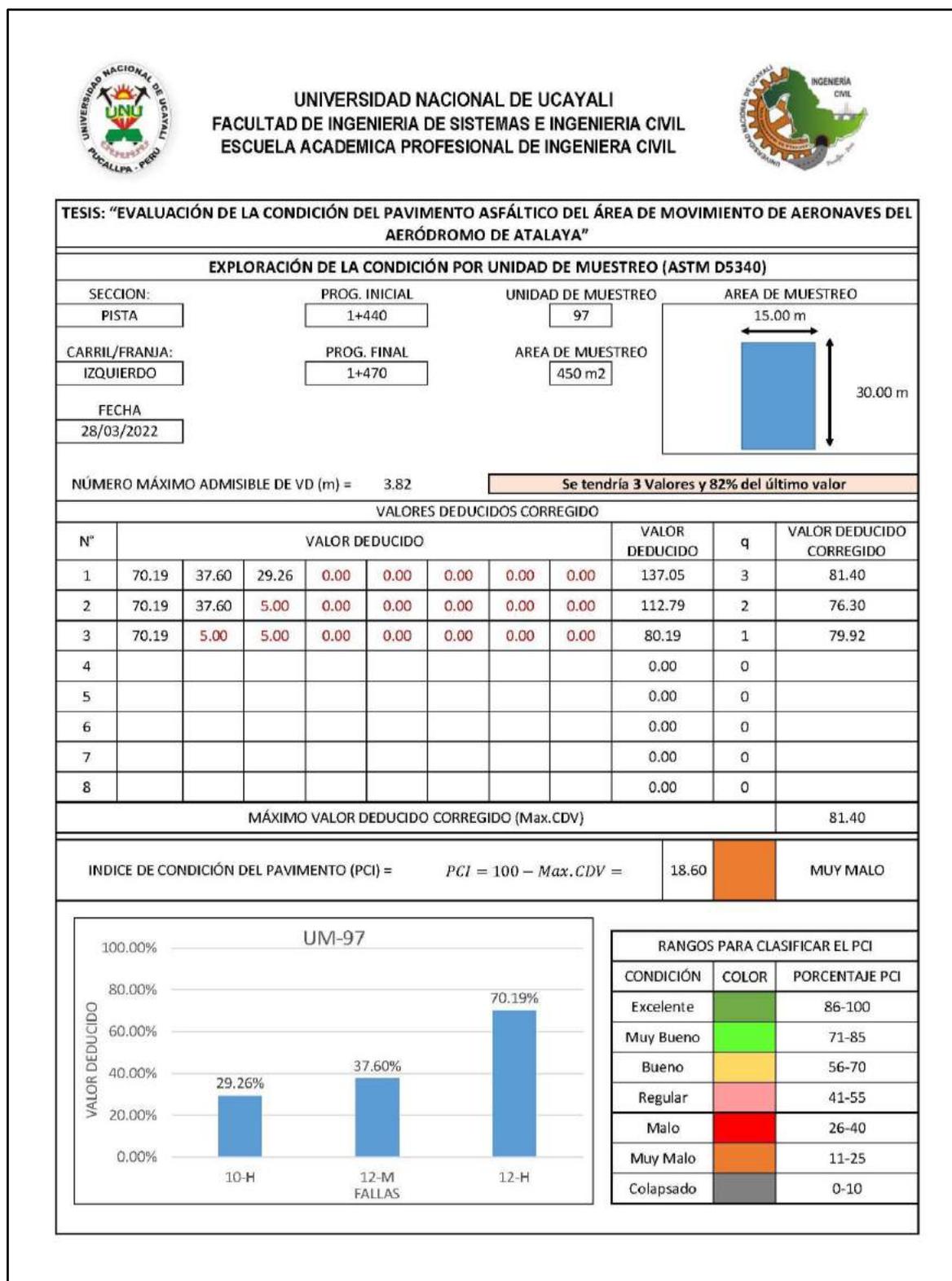
Memoria de cálculo – UM 96



Fuente: Elaboración propia.

Figura 180

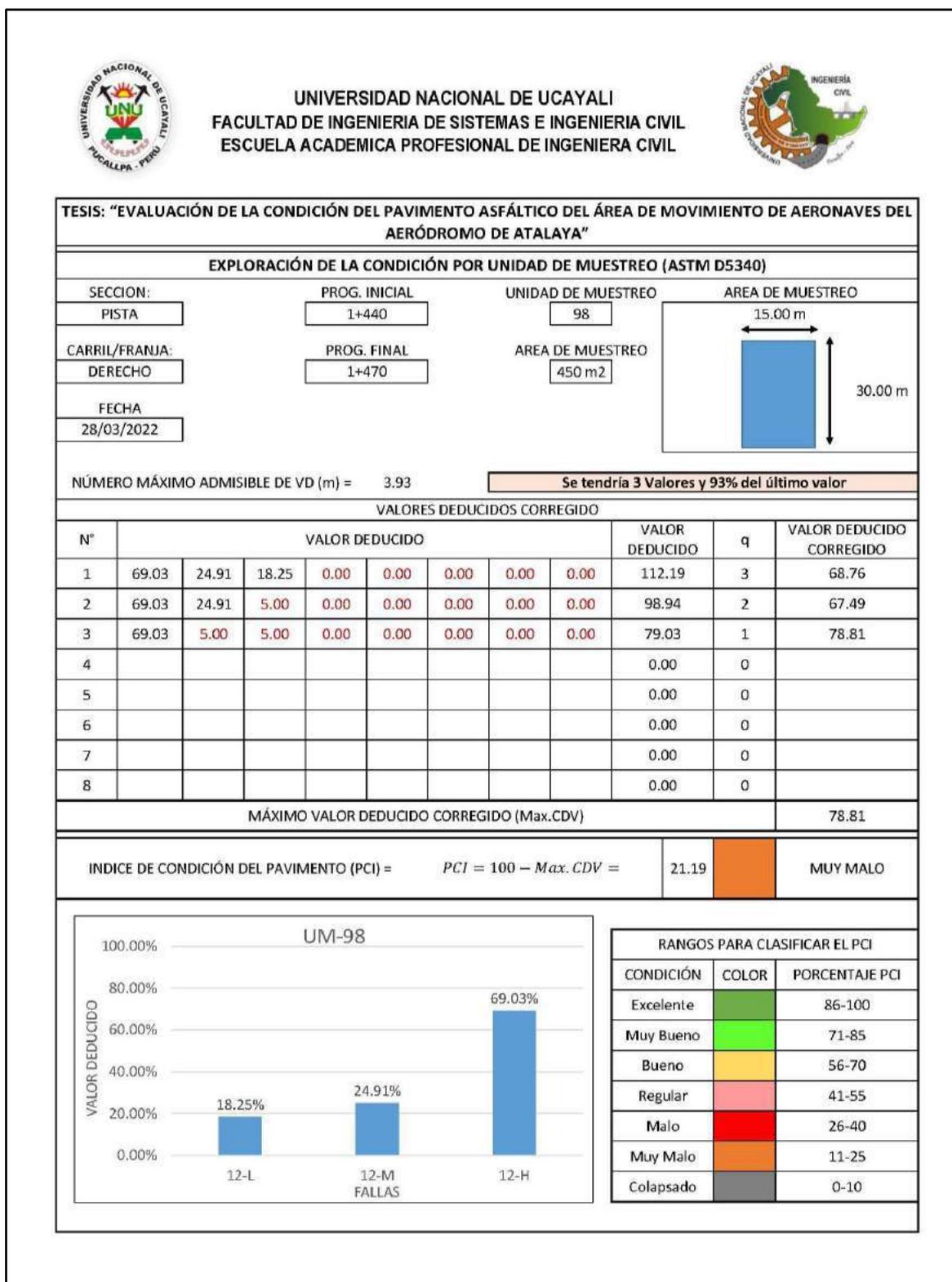
Memoria de cálculo – UM 97



Fuente: Elaboración propia.

Figura 181

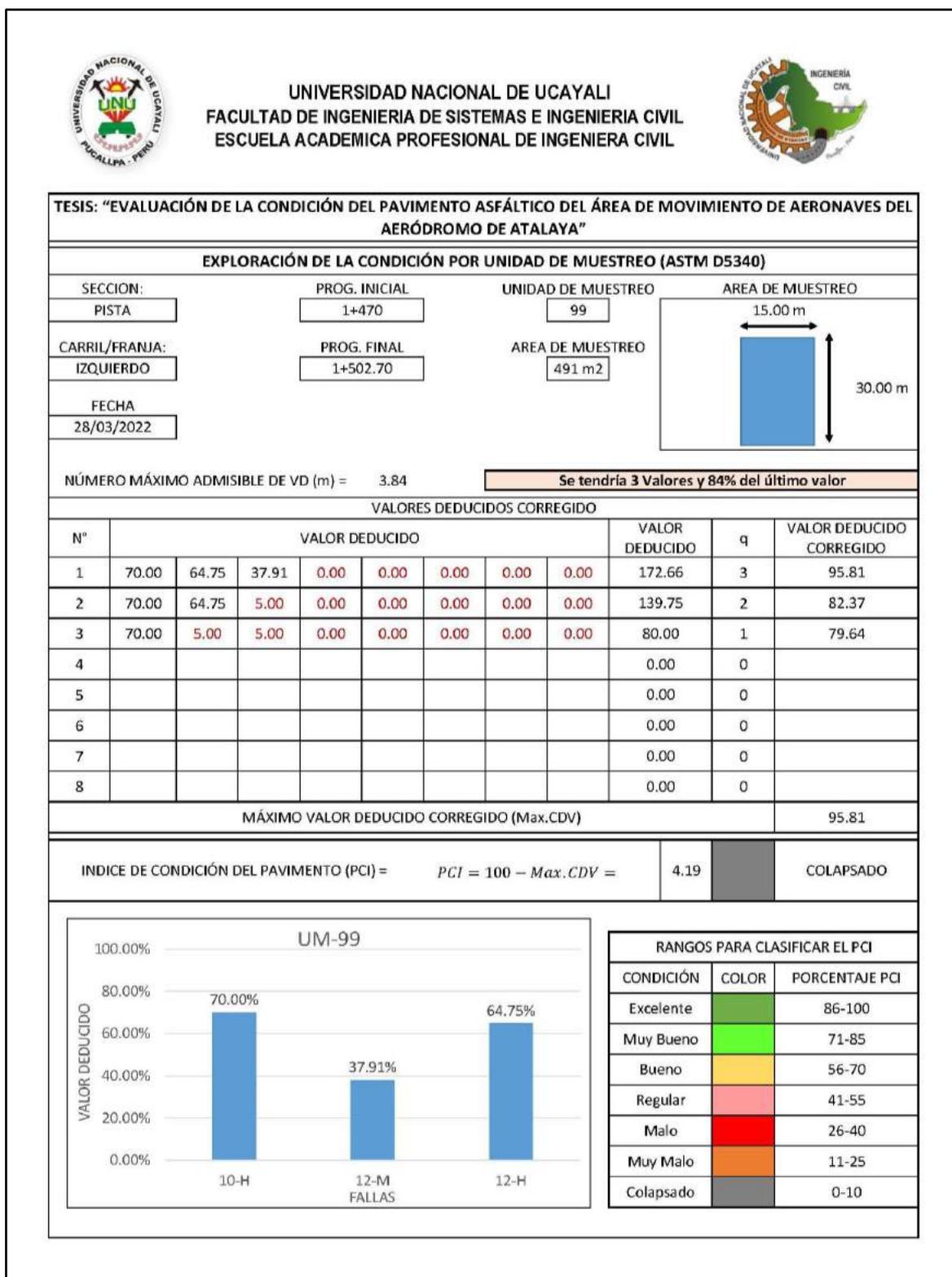
Memoria de cálculo – UM 98



Fuente: Elaboración propia.

Figura 182

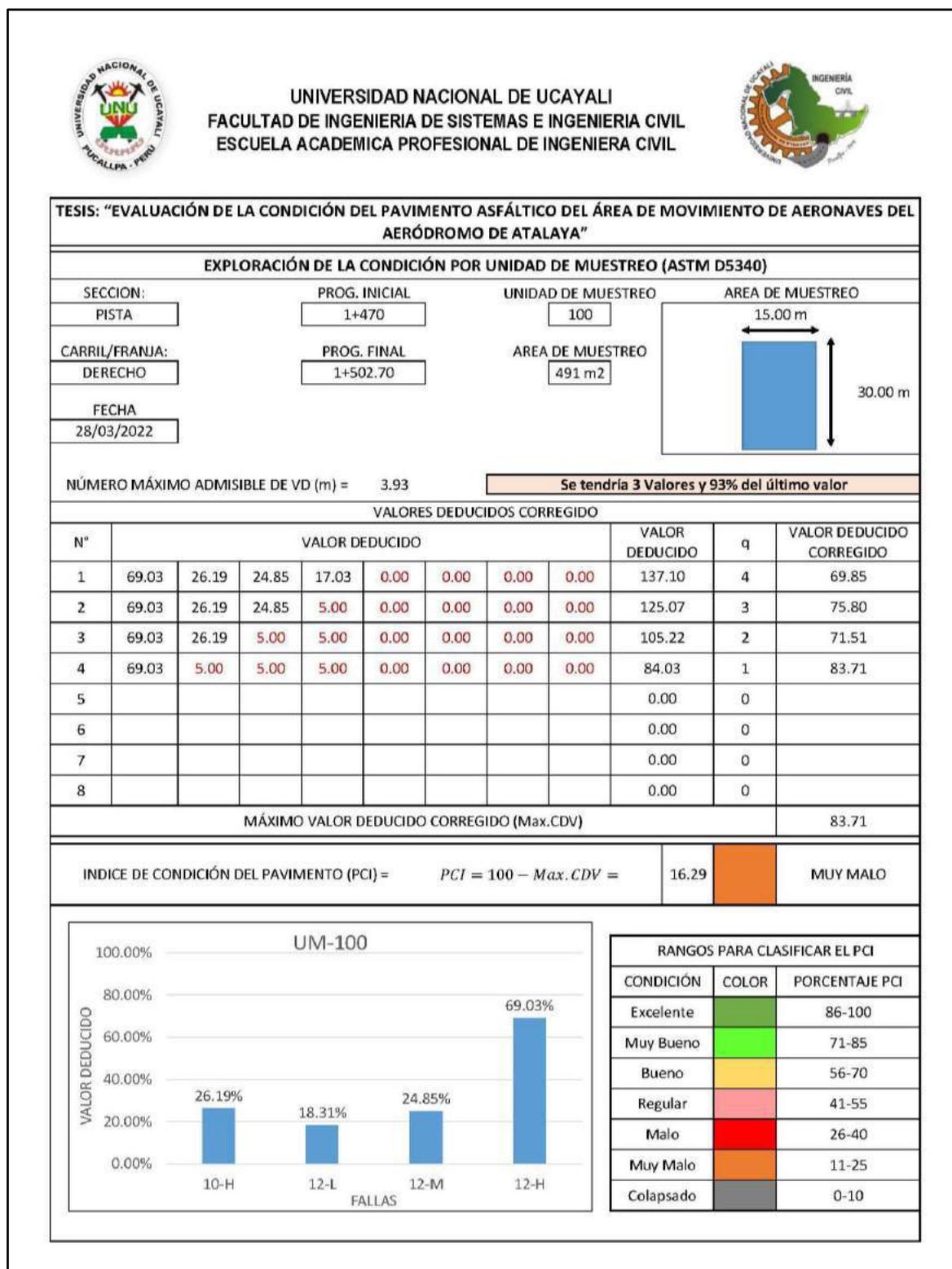
Memoria de cálculo – UM 99



Fuente: Elaboración propia.

Figura 183

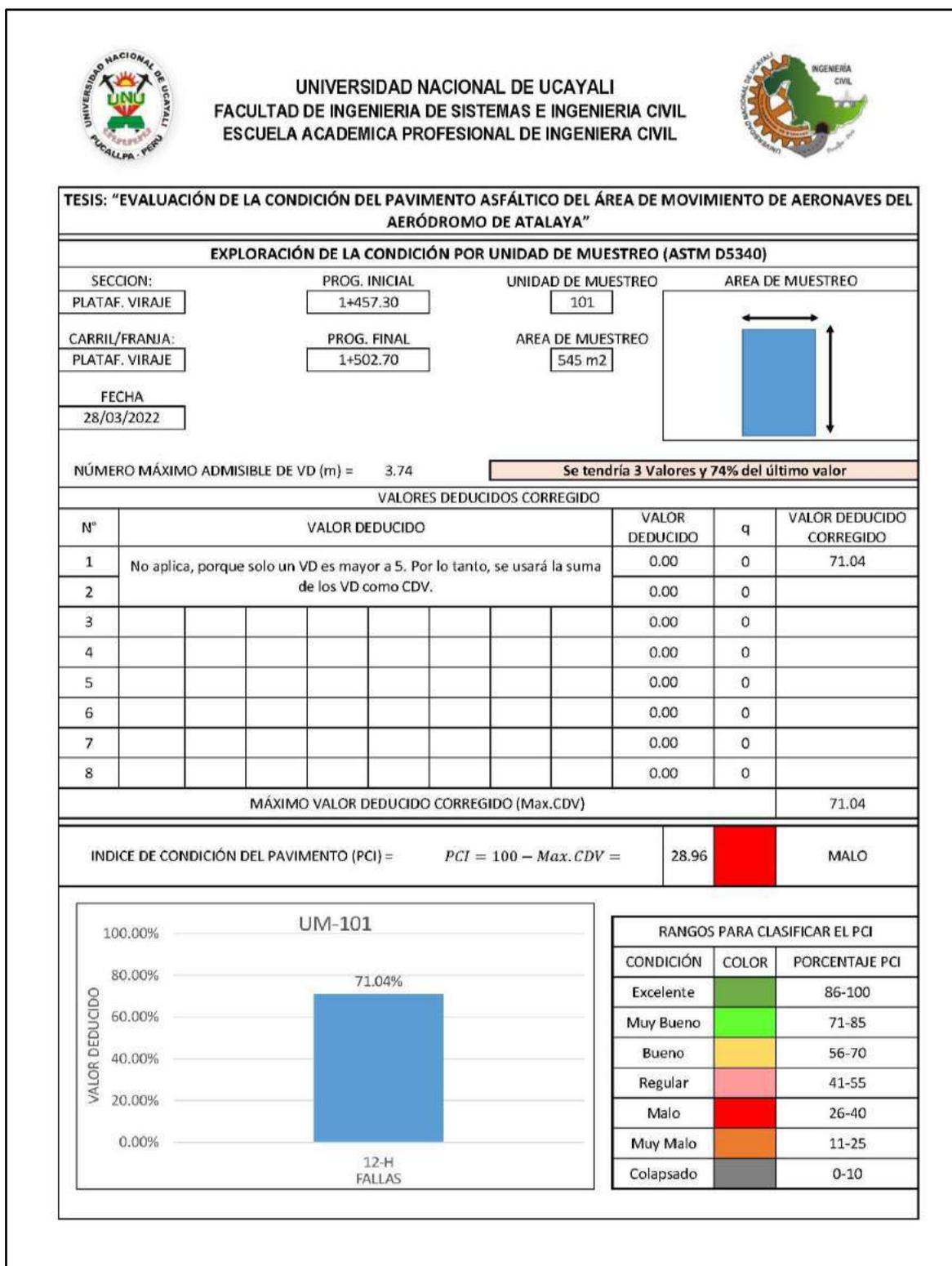
Memoria de cálculo – UM 100



Fuente: Elaboración propia.

Figura 184

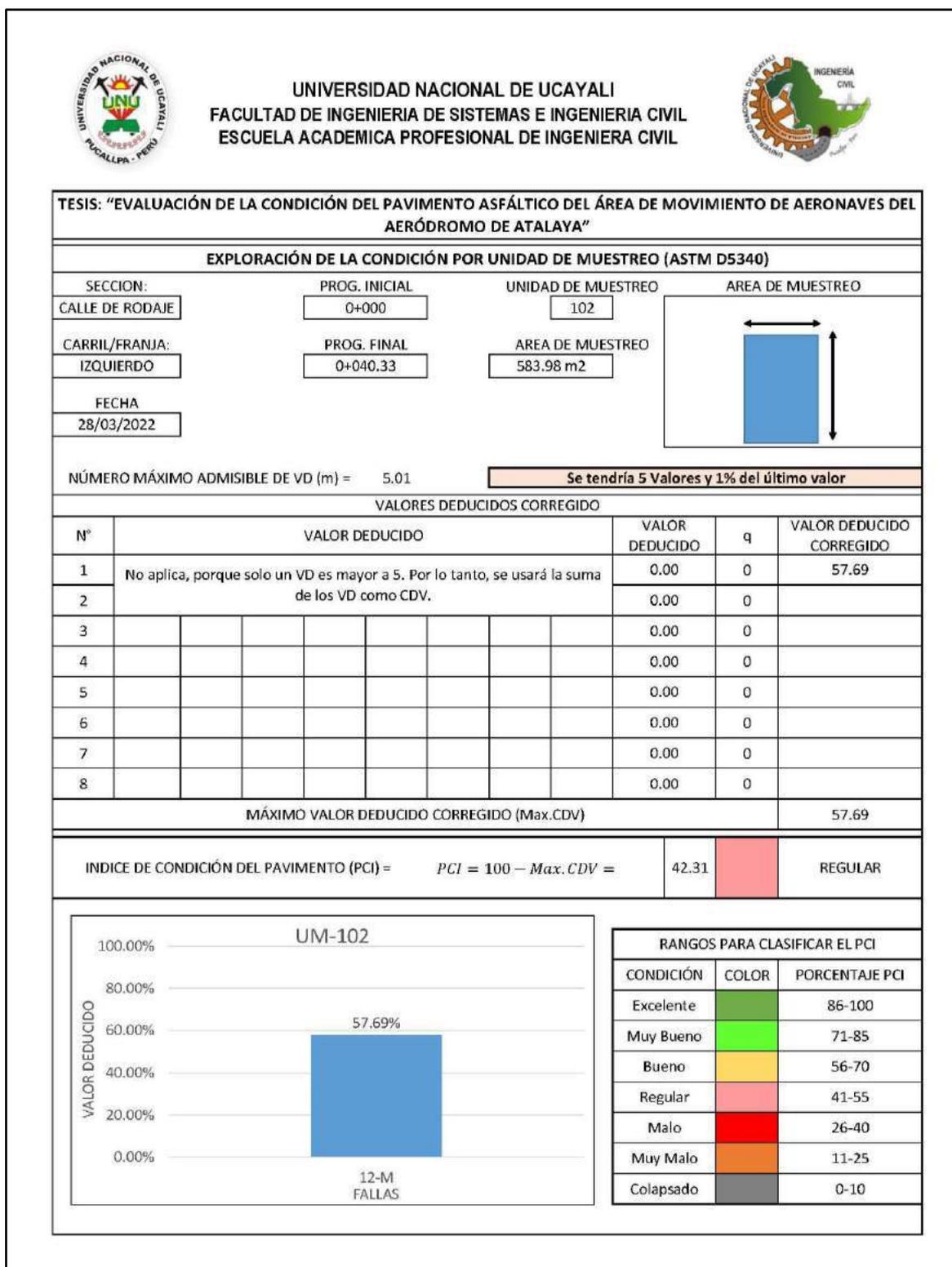
Memoria de cálculo – UM 101



Fuente: Elaboración propia.

Figura 185

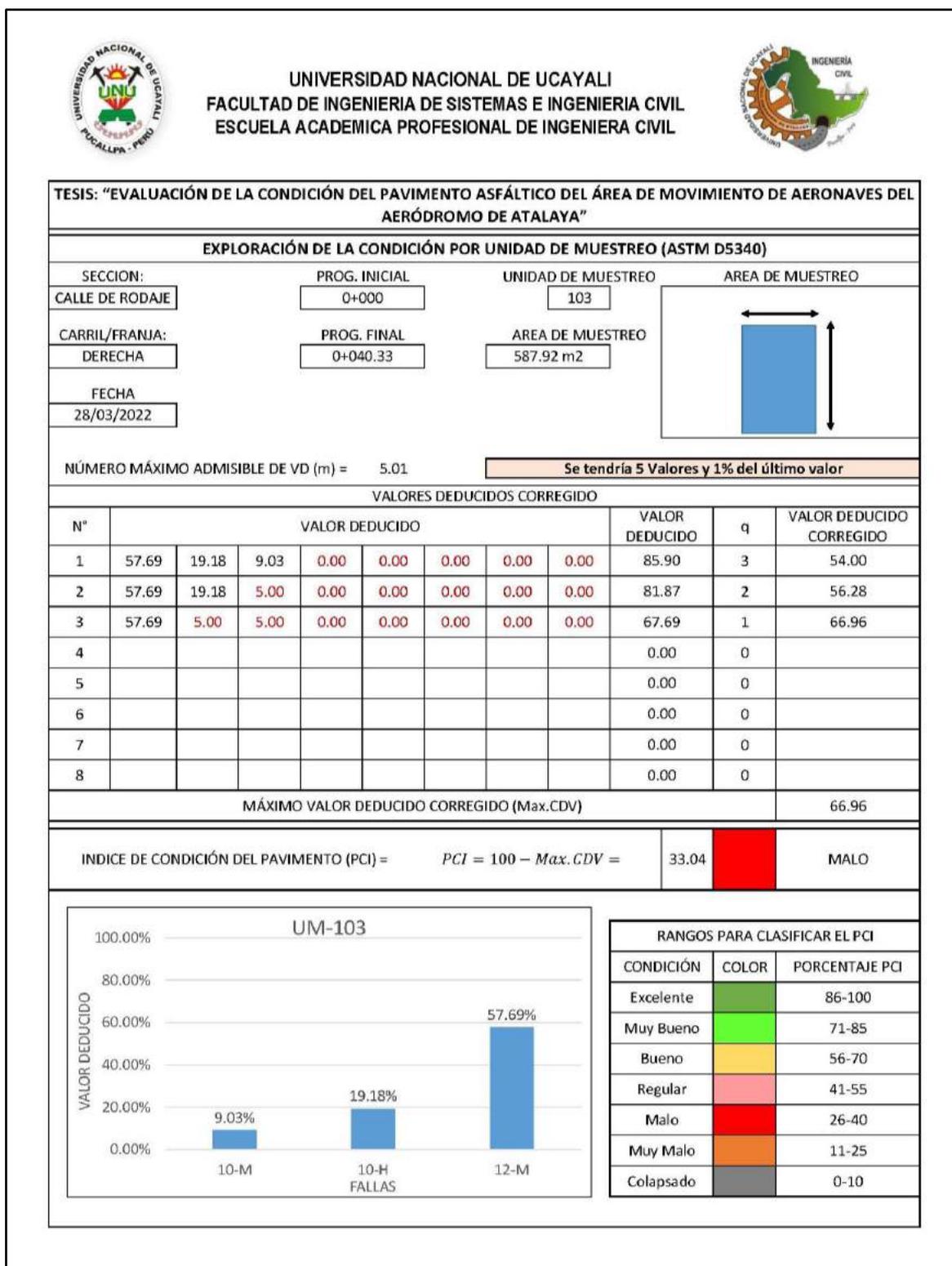
Memoria de cálculo – UM 102



Fuente: Elaboración propia.

Figura 186

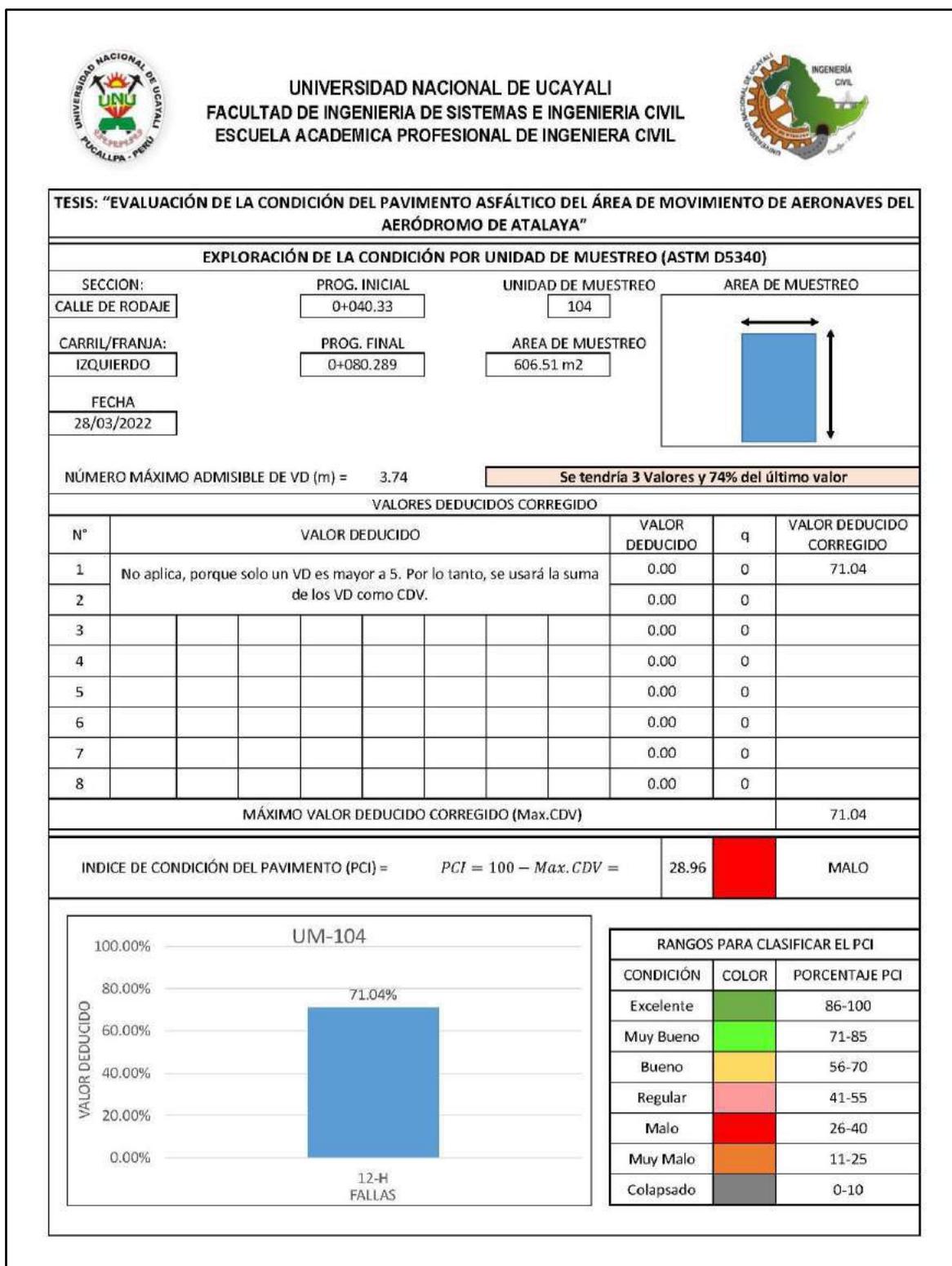
Memoria de cálculo – UM 103



Fuente: Elaboración propia.

Figura 187

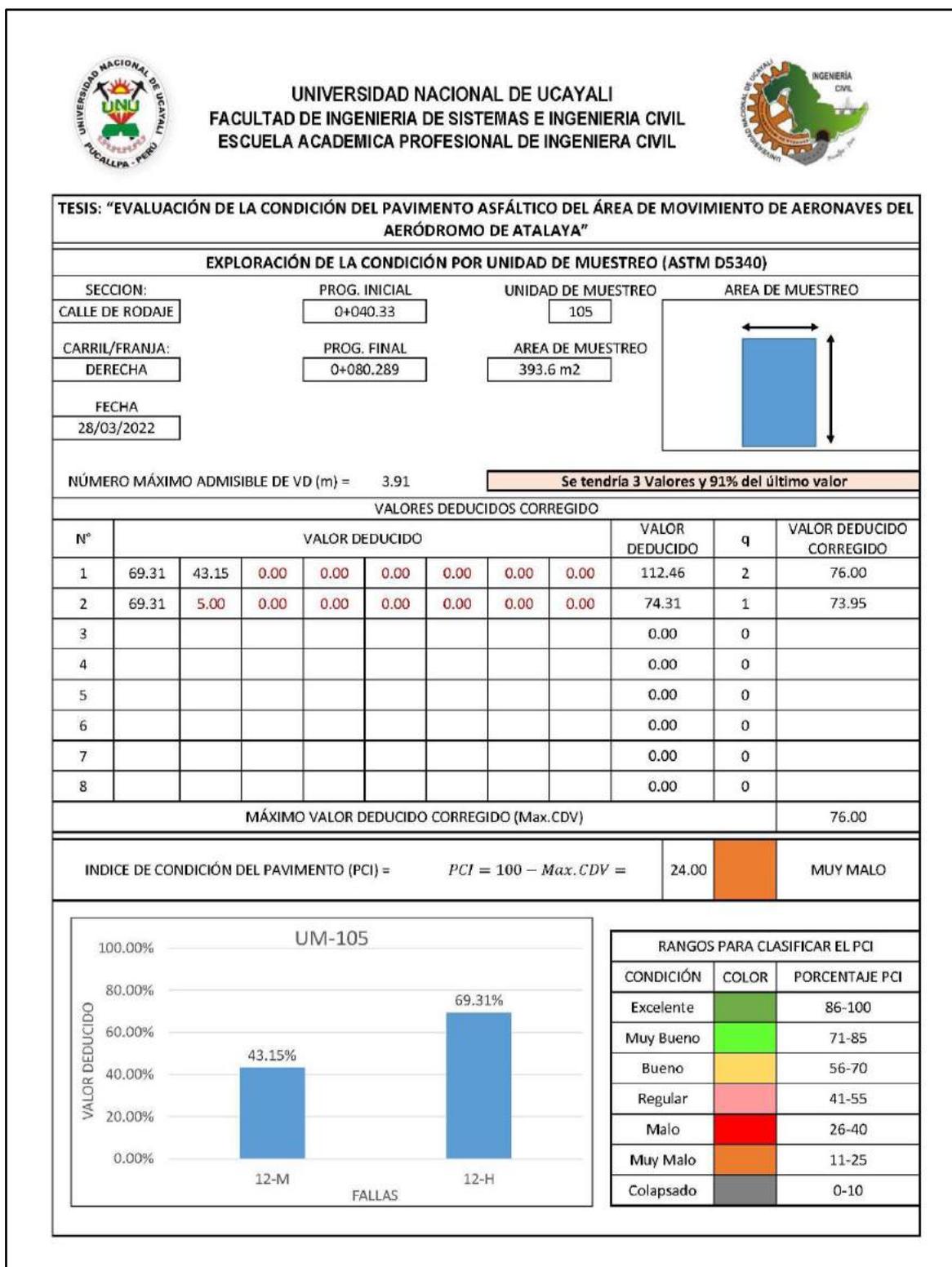
Memoria de cálculo – UM 104



Fuente: Elaboración propia.

Figura 188

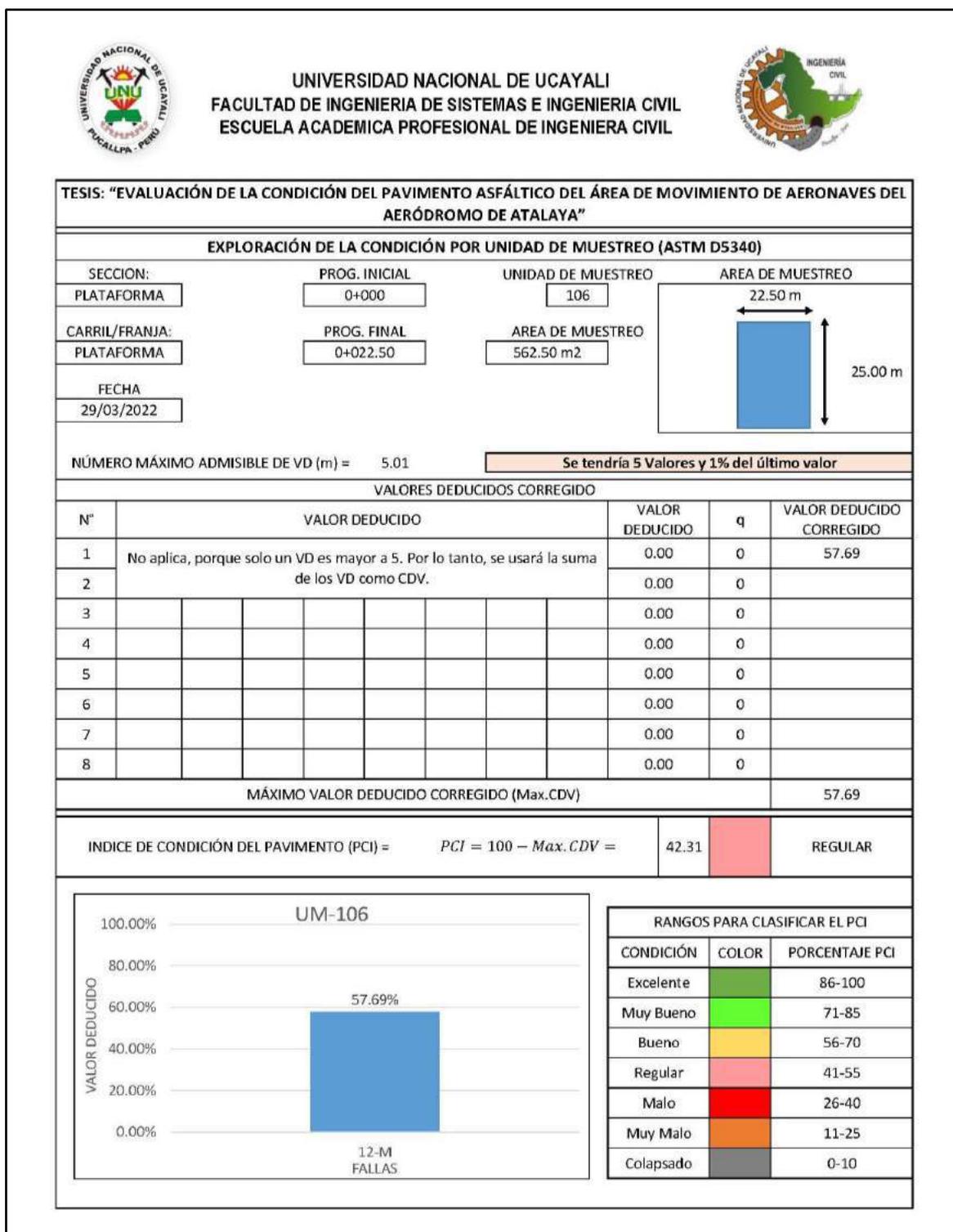
Memoria de cálculo – UM 105



Fuente: Elaboración propia.

Figura 189

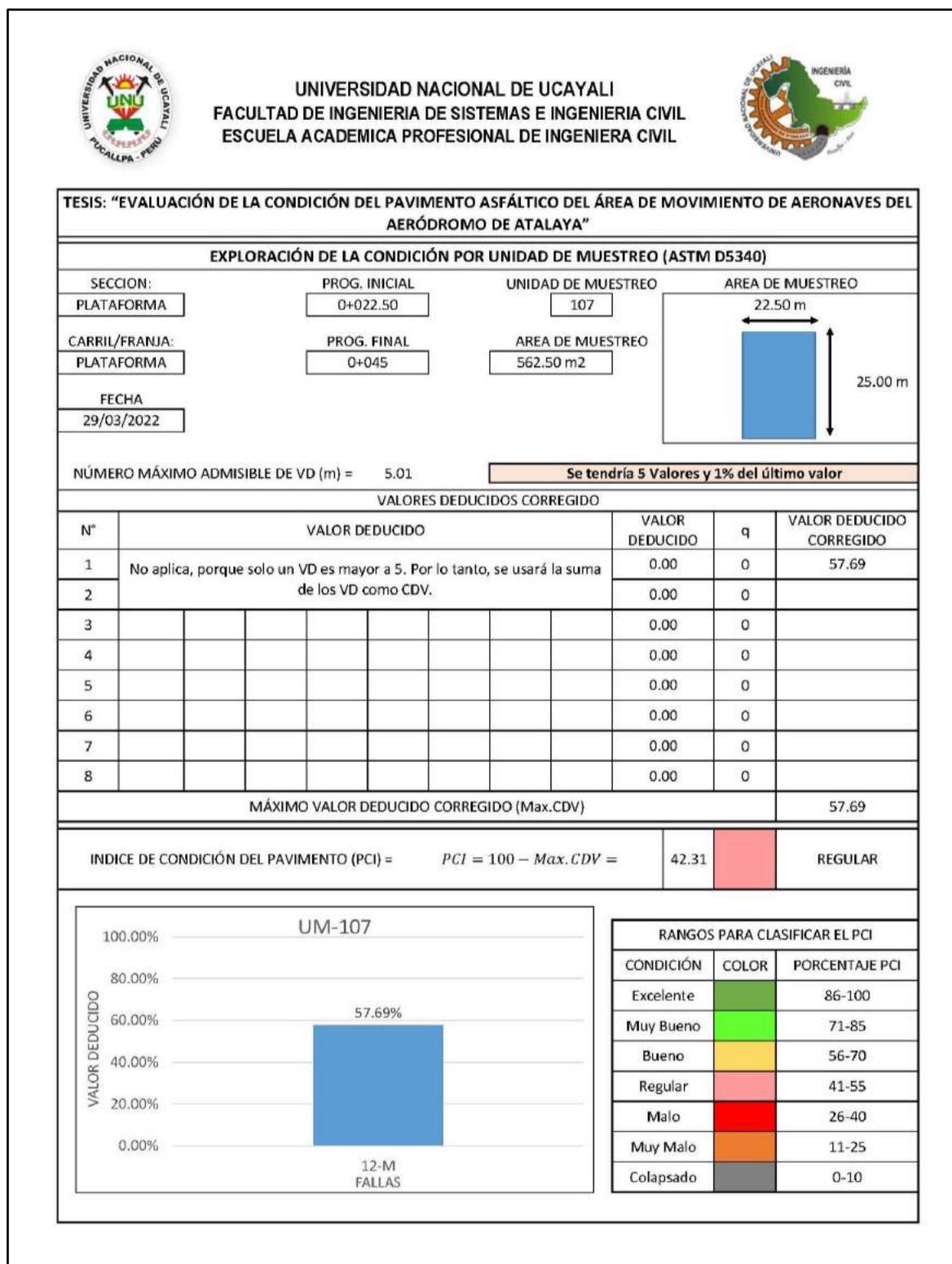
Memoria de cálculo – UM 106



Fuente: Elaboración propia.

Figura 190

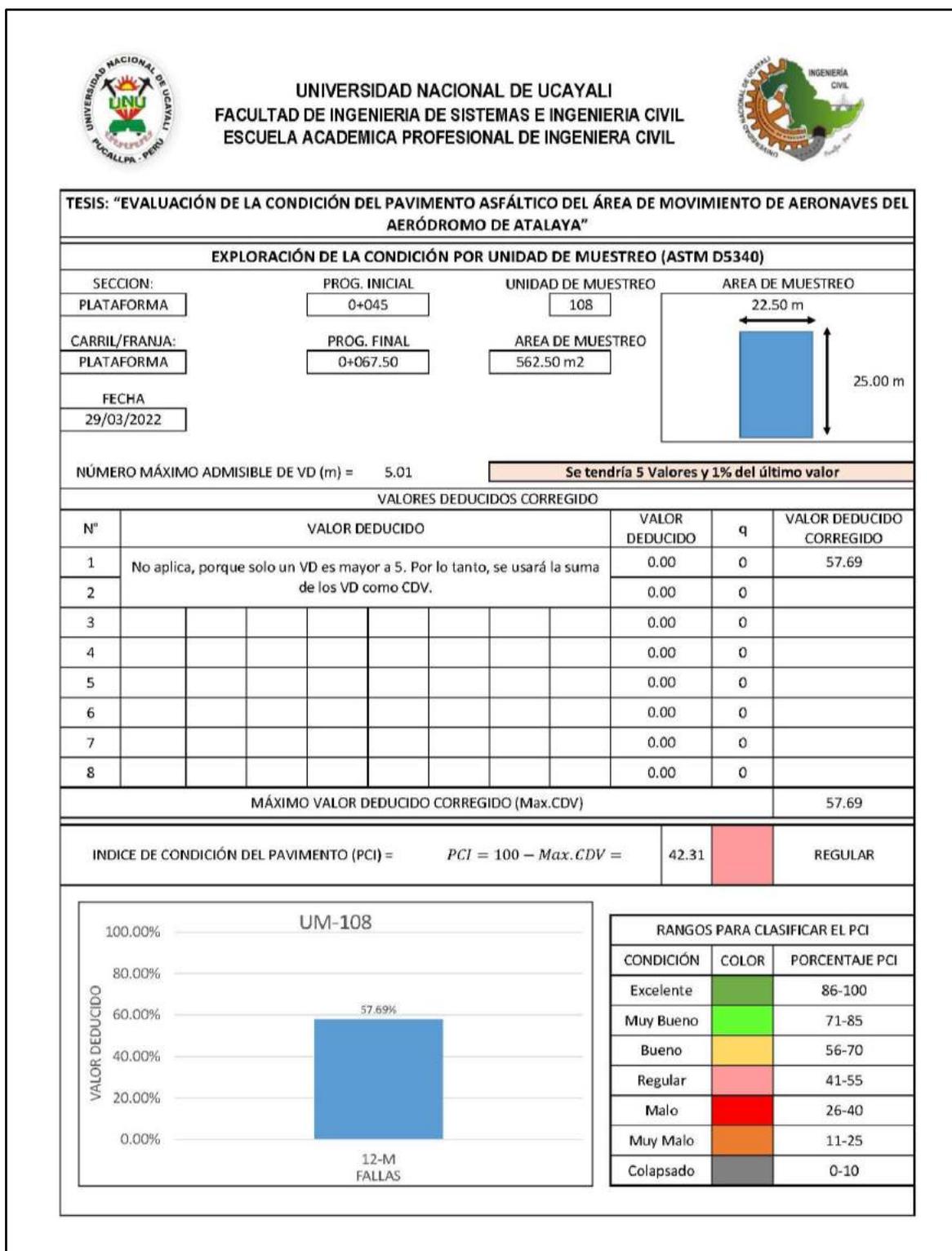
Memoria de cálculo – UM 107



Fuente: Elaboración propia.

Figura 191

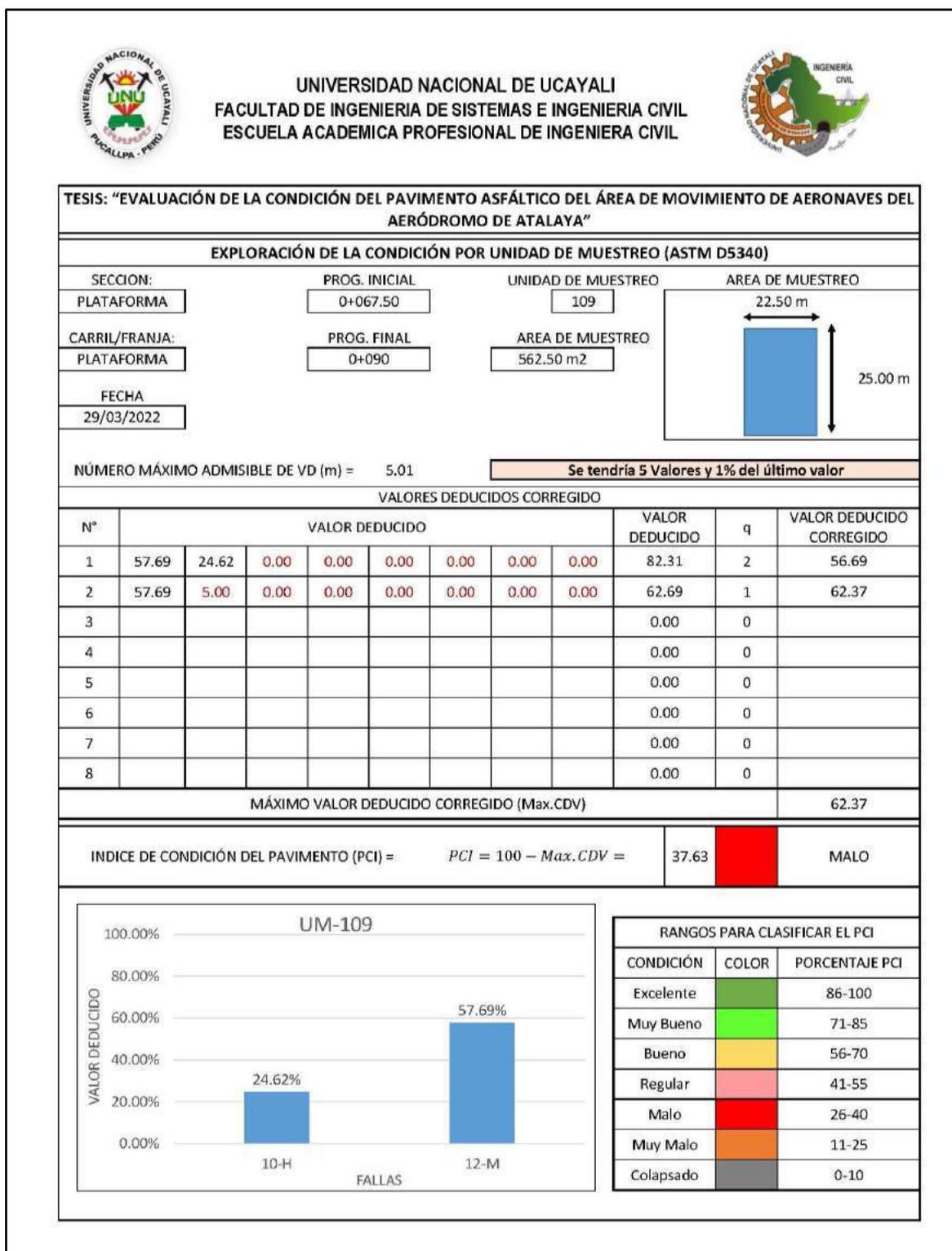
Memoria de cálculo – UM 108



Fuente: Elaboración propia.

Figura 192

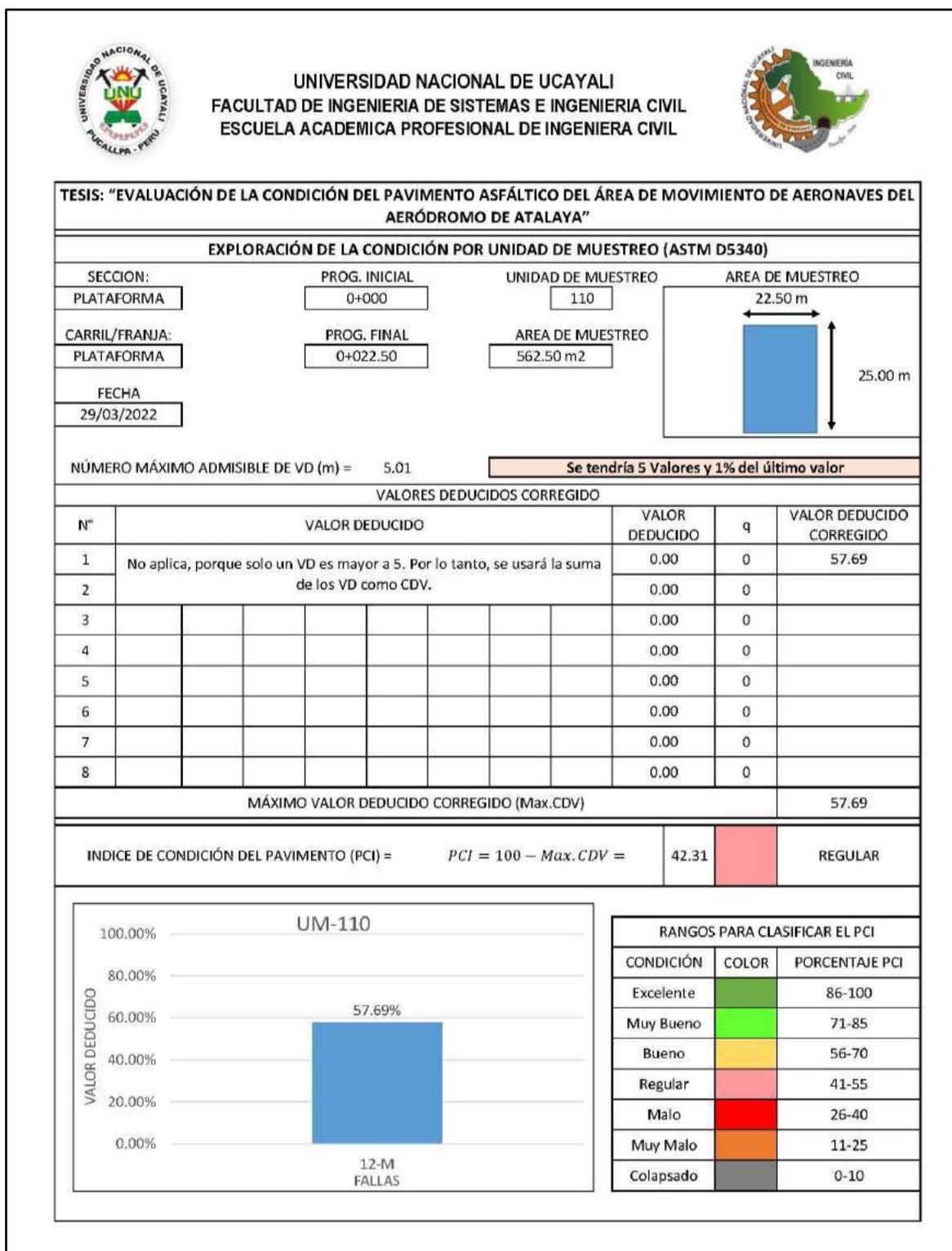
Memoria de cálculo – UM 109



Fuente: Elaboración propia.

Figura 193

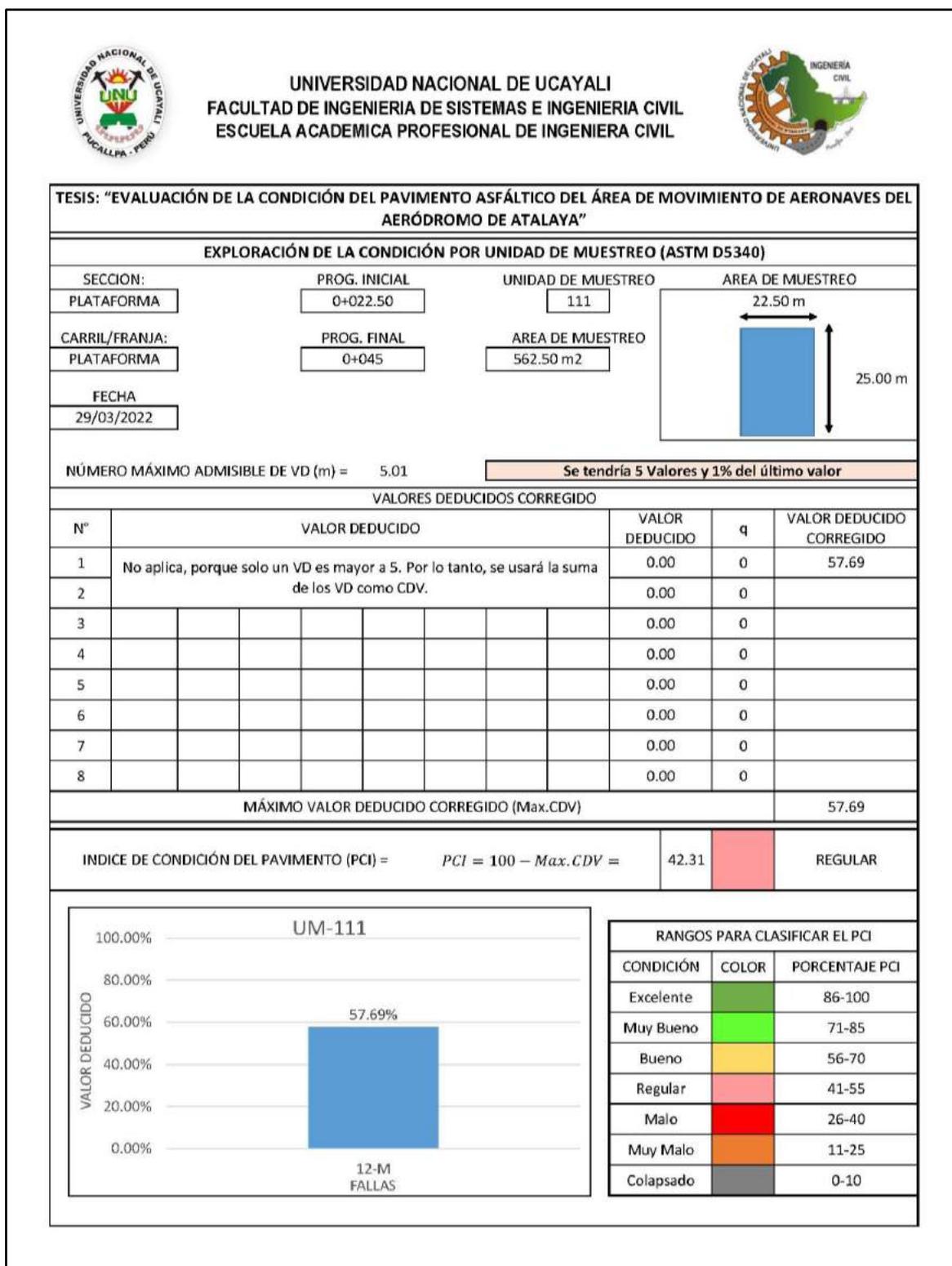
Memoria de cálculo – UM 110



Fuente: Elaboración propia.

Figura 194

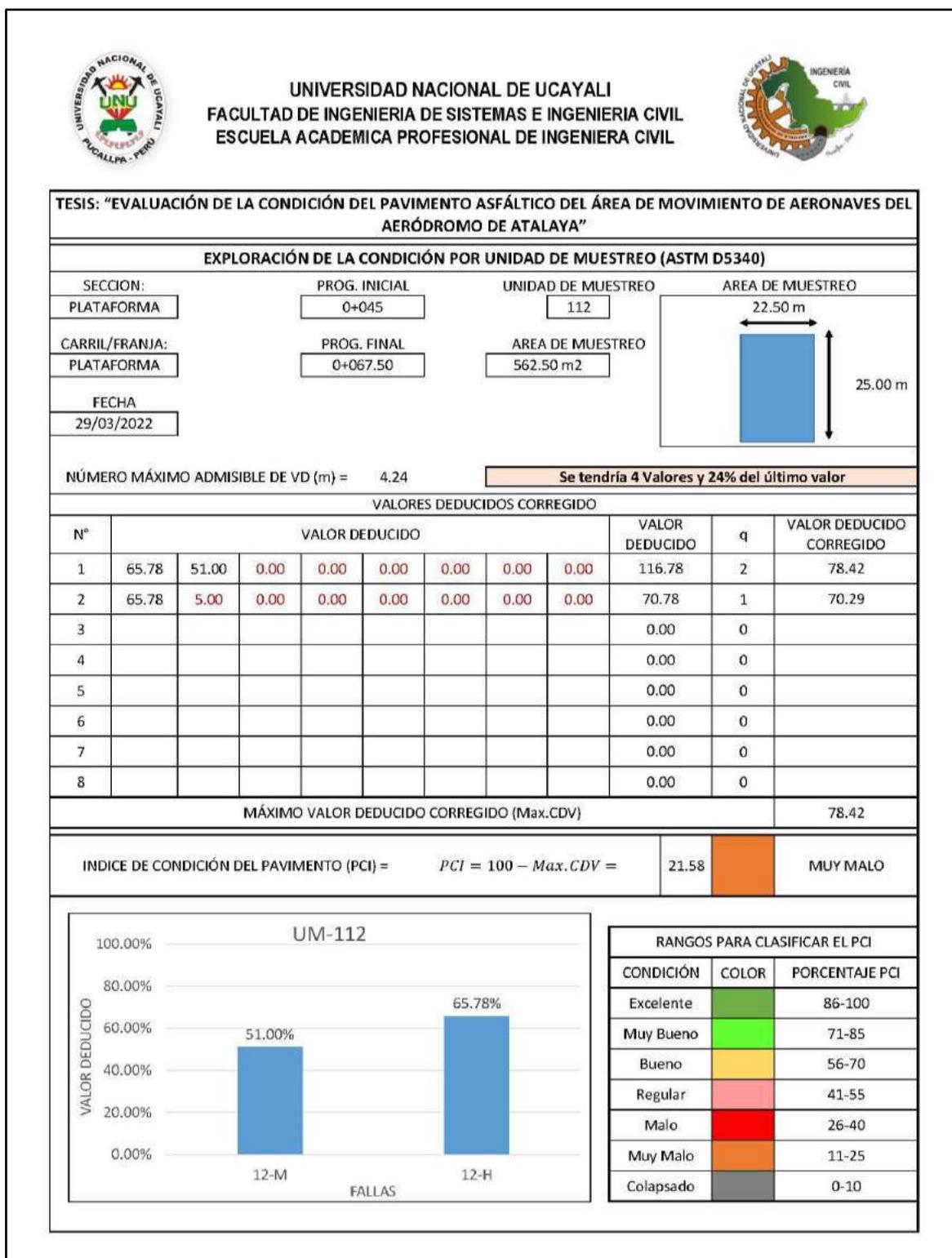
Memoria de cálculo – UM 111



Fuente: Elaboración propia.

Figura 195

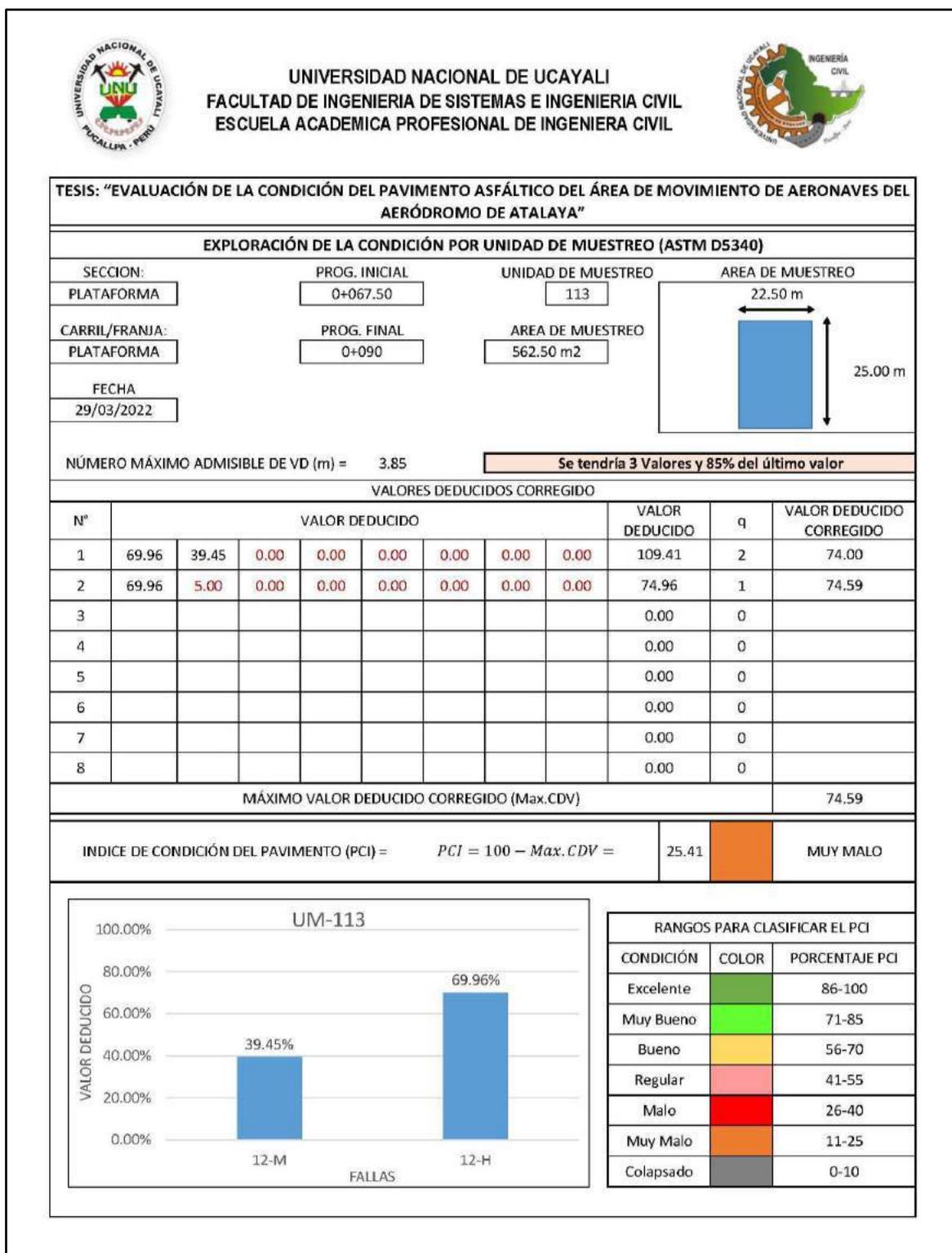
Memoria de cálculo – UM 112



Fuente: Elaboración propia.

Figura 196

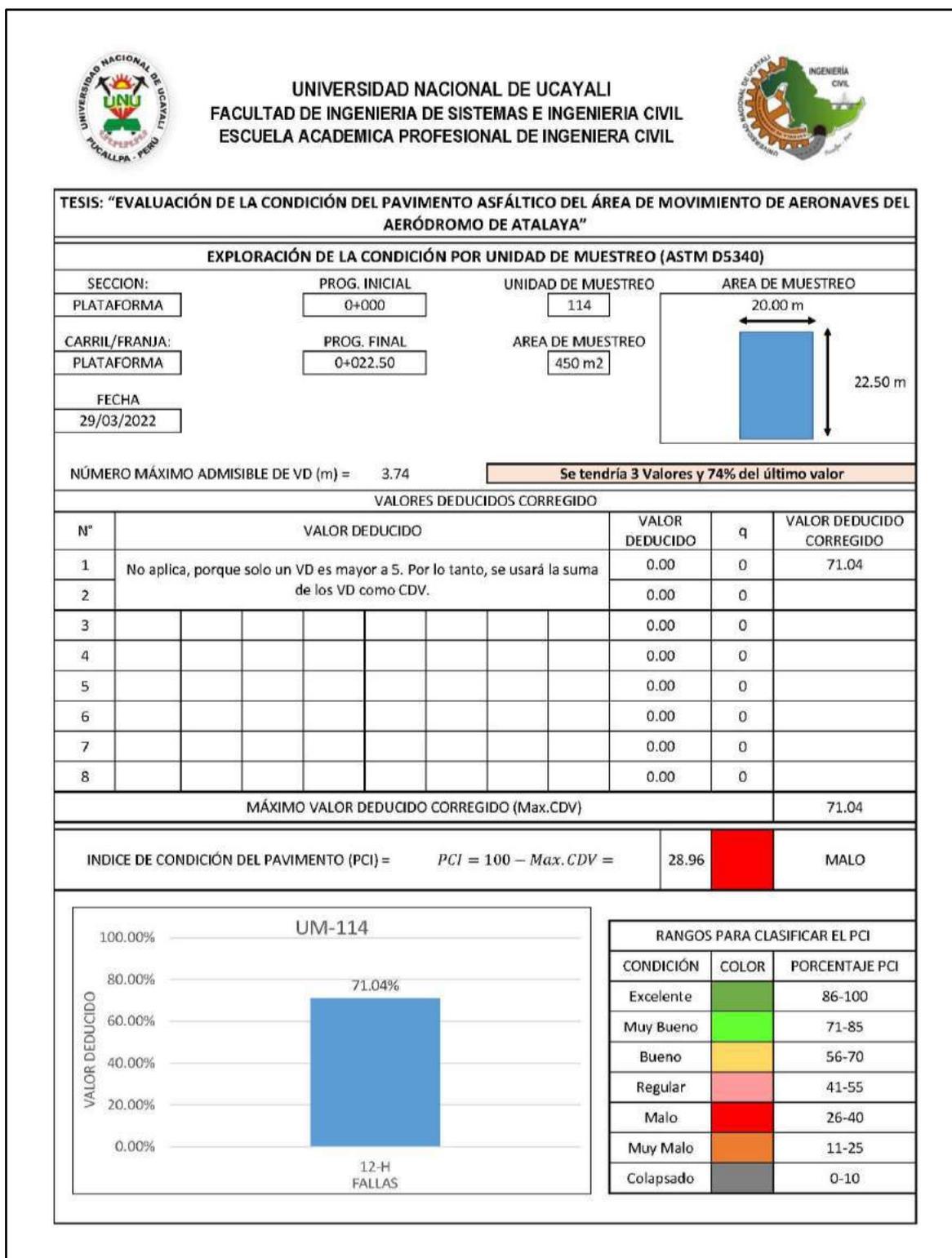
Memoria de cálculo – UM 113



Fuente: Elaboración propia.

Figura 197

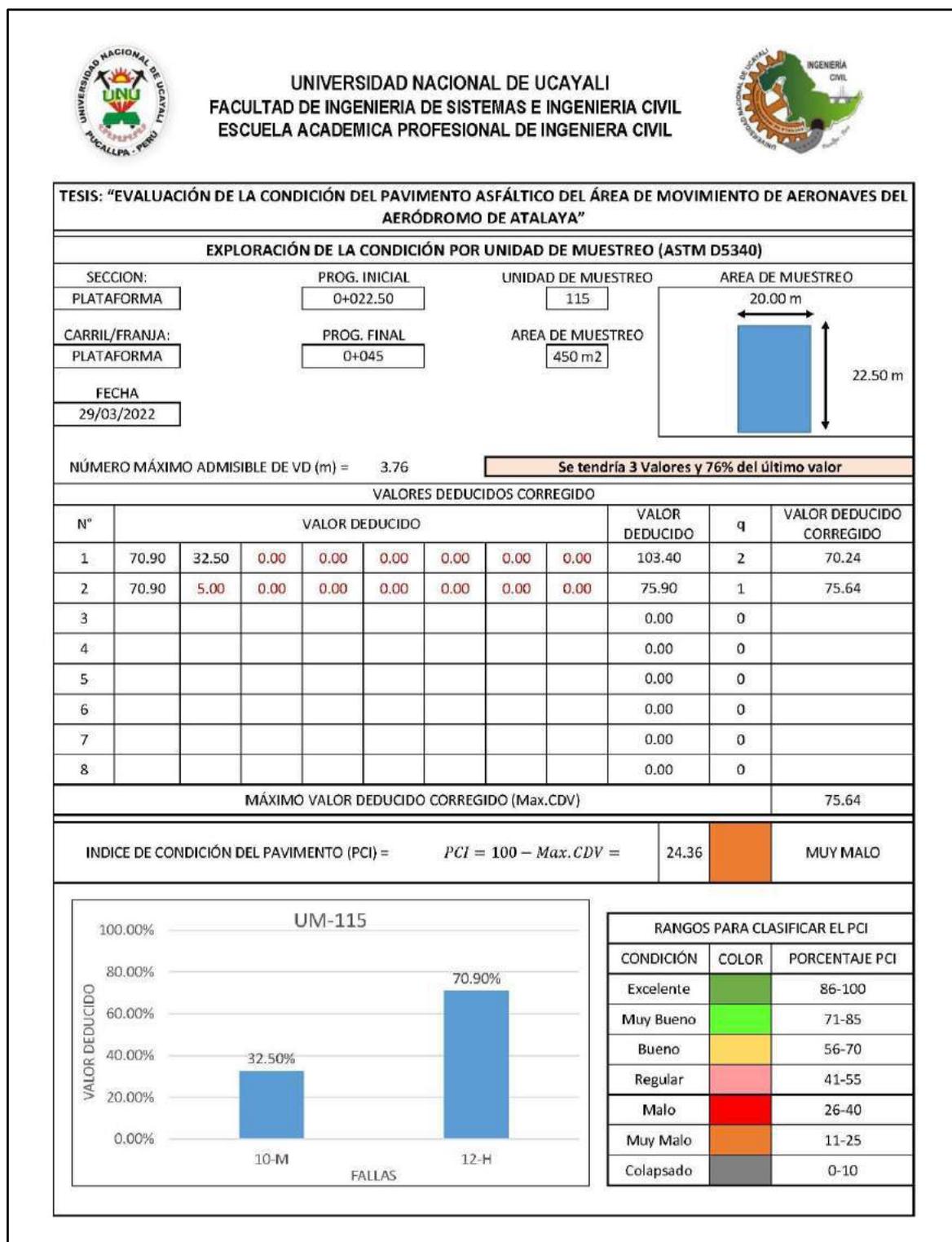
Memoria de cálculo – UM 114



Fuente: Elaboración propia.

Figura 198

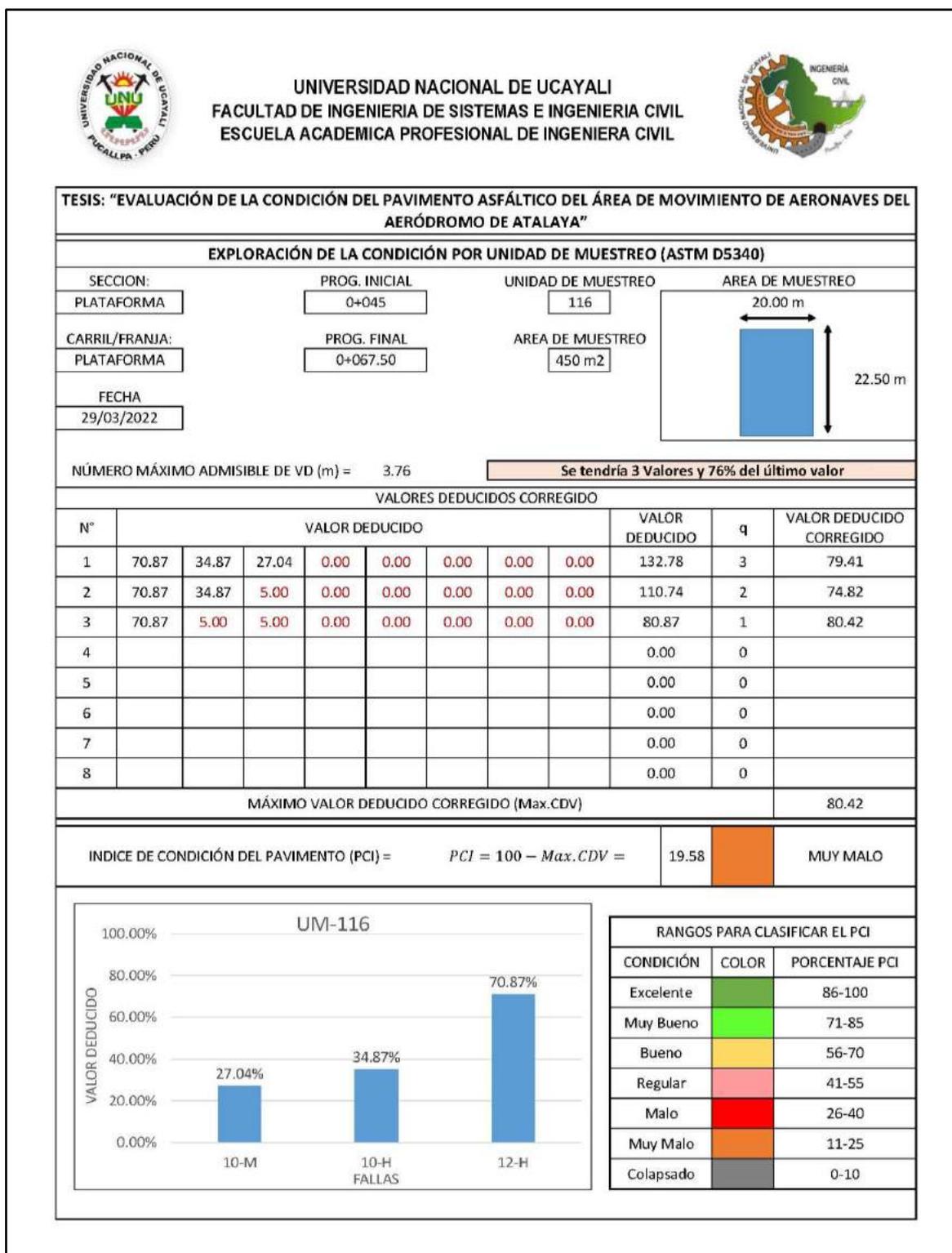
Memoria de cálculo – UM 115



Fuente: Elaboración propia.

Figura 199

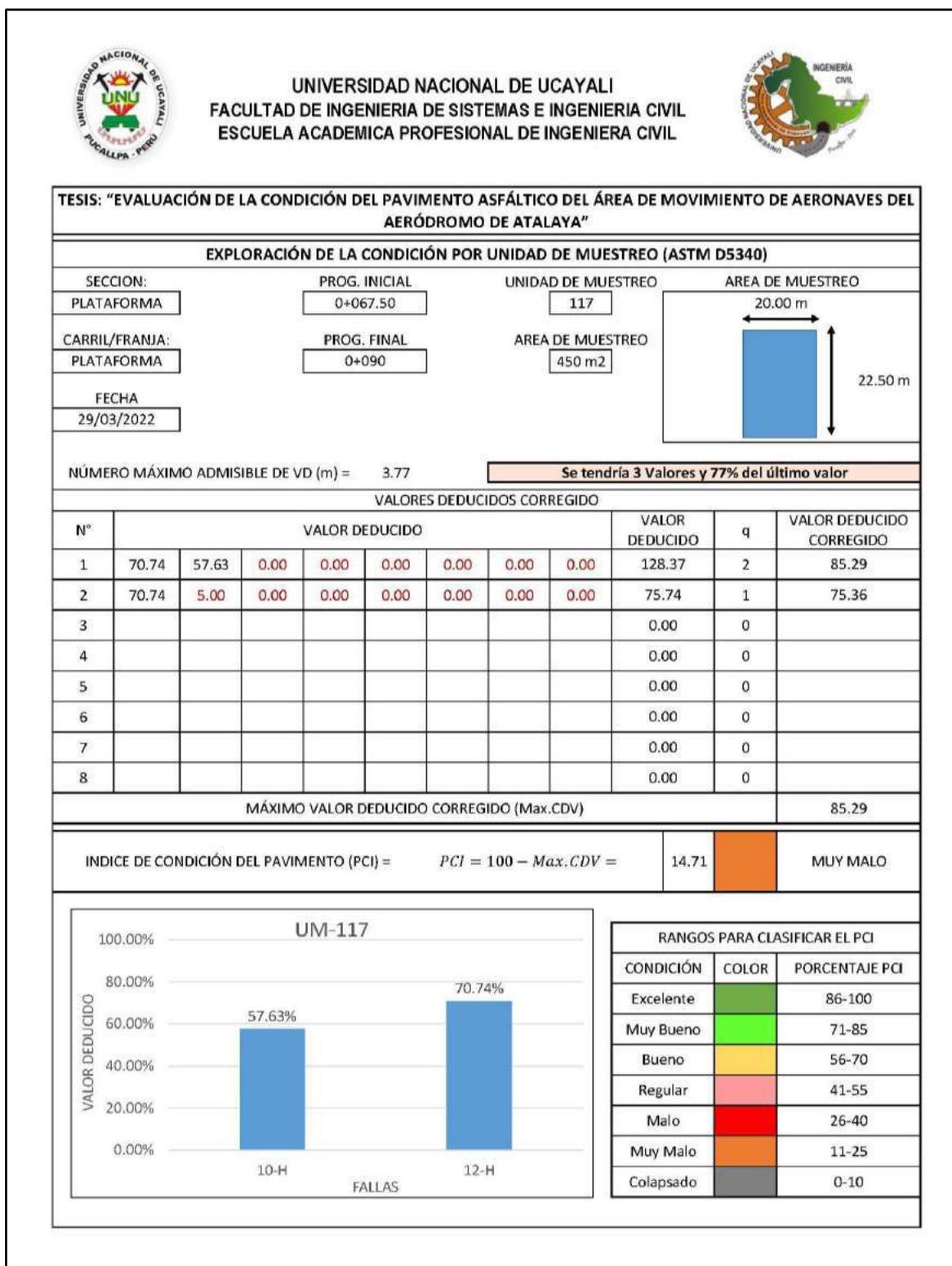
Memoria de cálculo – UM 116



Fuente: Elaboración propia.

Figura 200

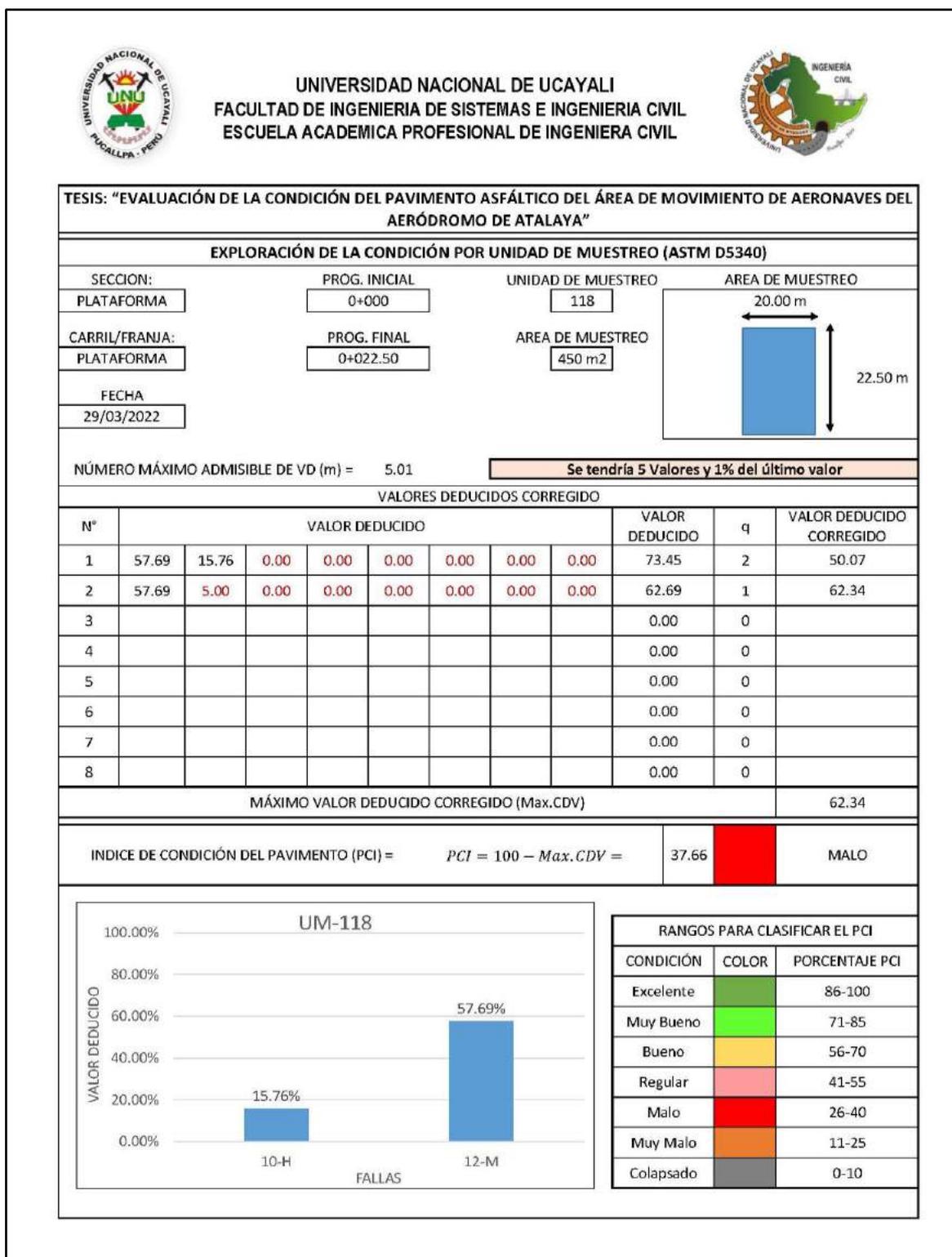
Memoria de cálculo – UM 117



Fuente: Elaboración propia.

Figura 201

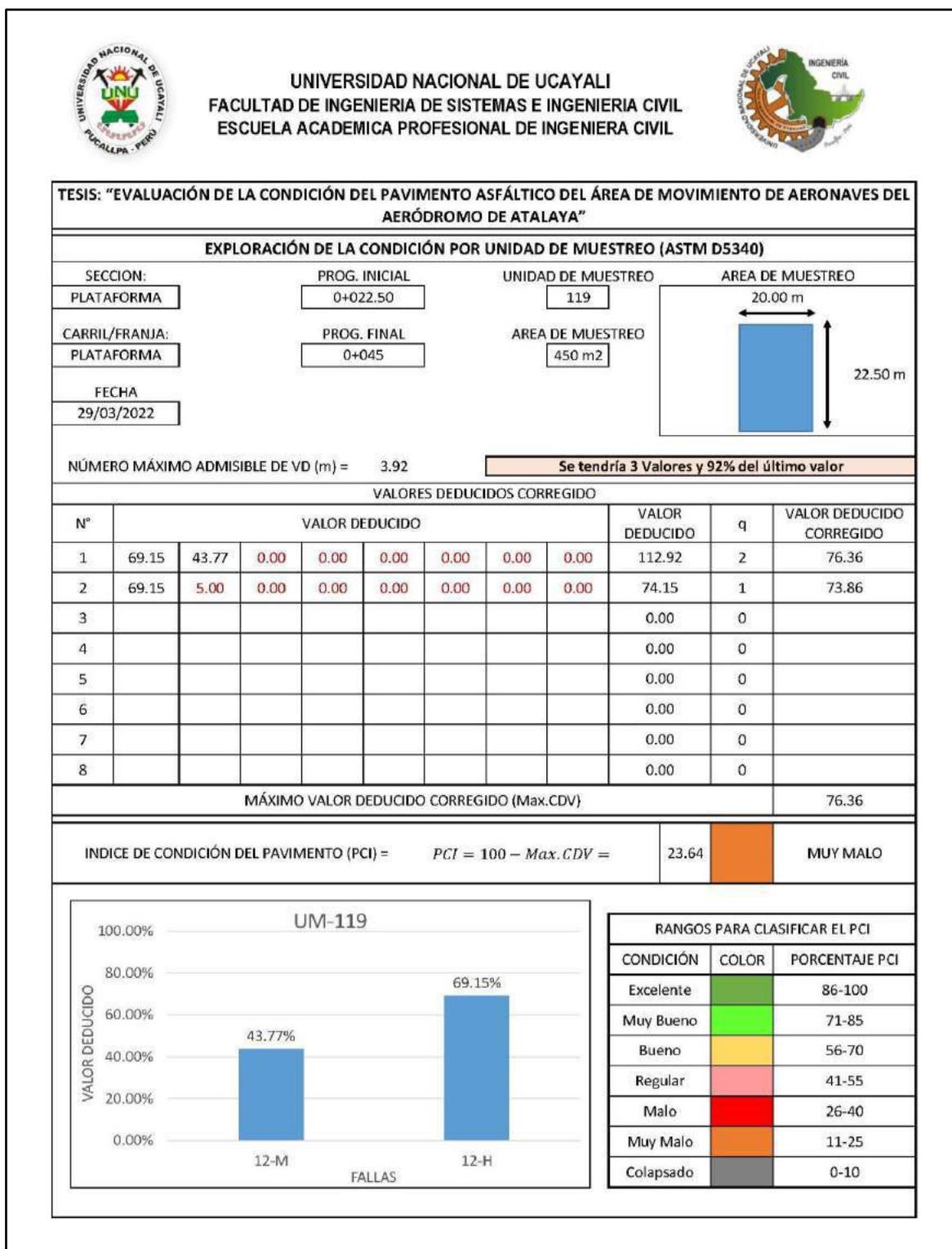
Memoria de cálculo – UM 118



Fuente: Elaboración propia.

Figura 202

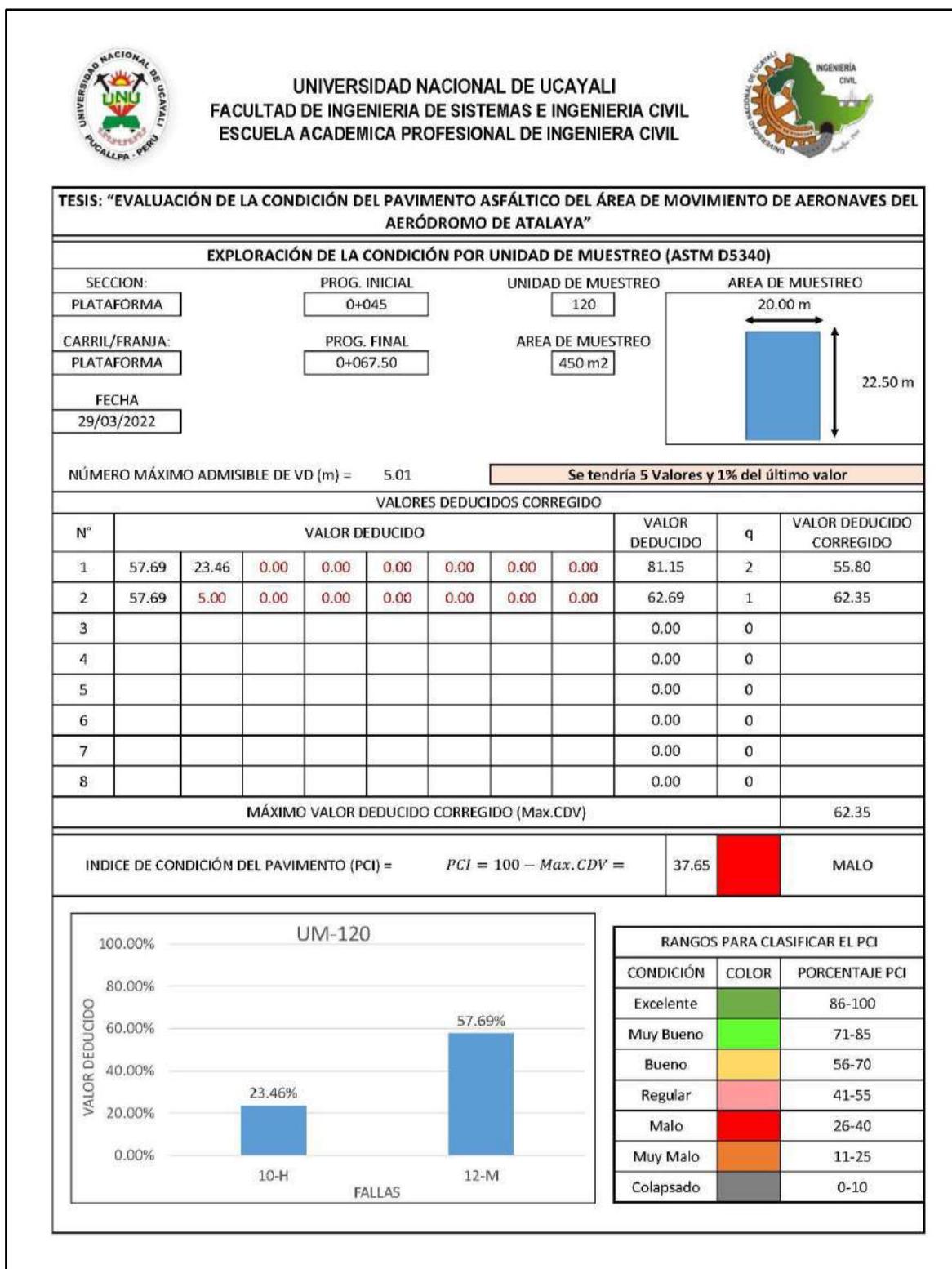
Memoria de cálculo – UM 119



Fuente: Elaboración propia.

Figura 203

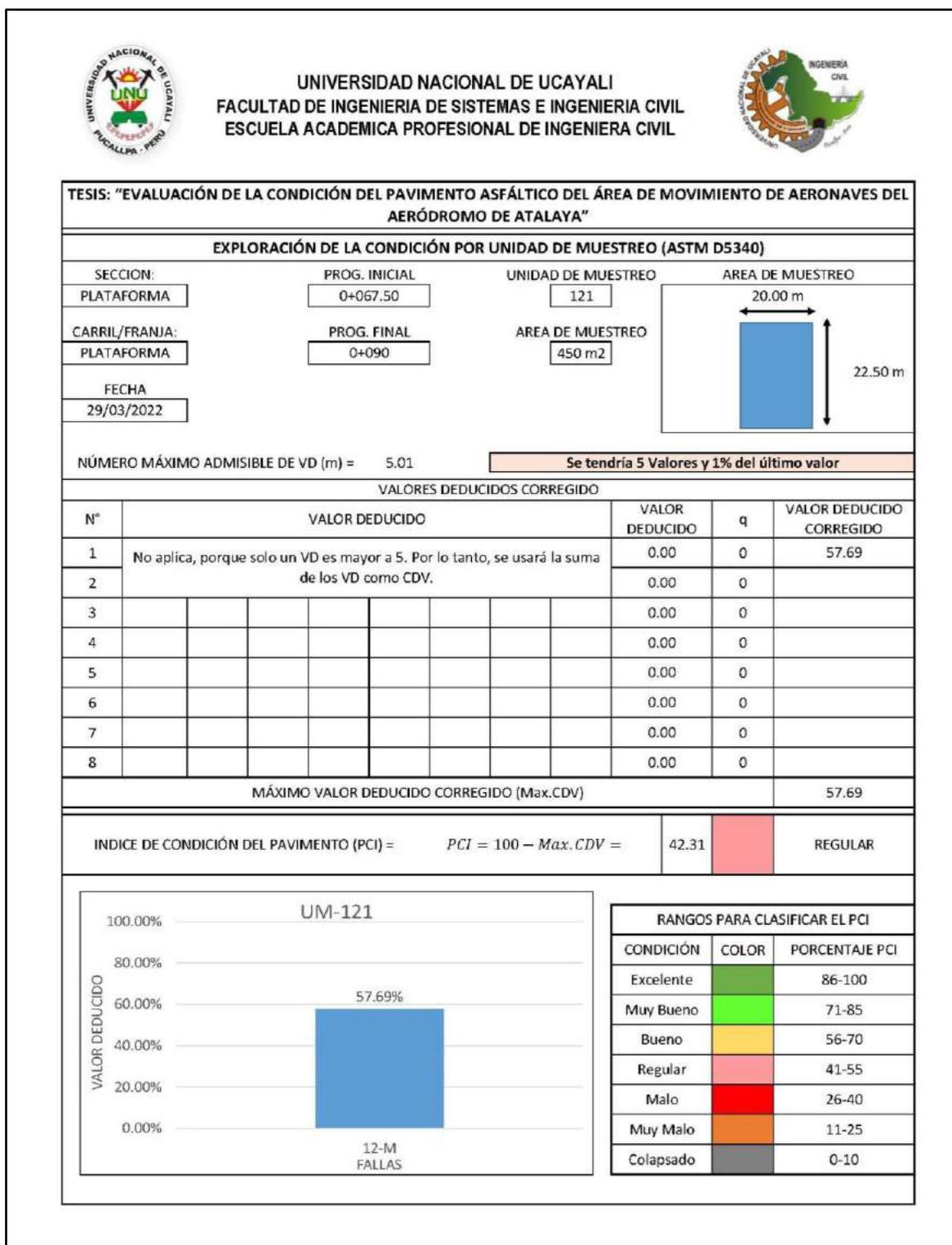
Memoria de cálculo – UM 120



Fuente: Elaboración propia.

Figura 204

Memoria de cálculo – UM 121



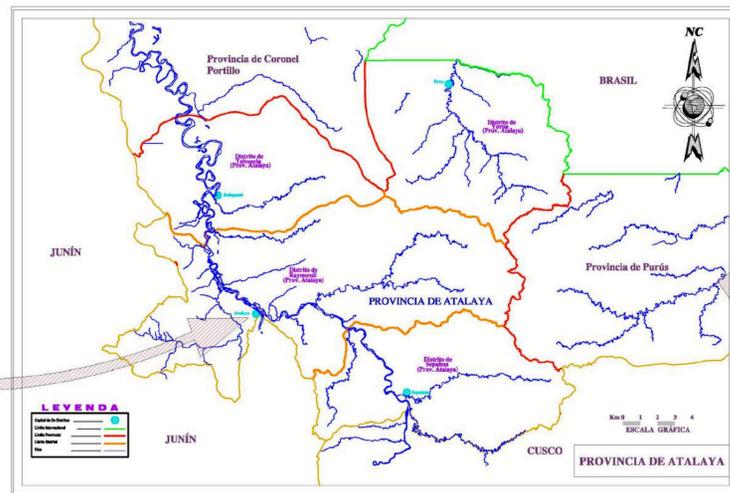
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N° 07

Planos



MAPA DEL DISTRITO DE RAIMONDI



MAPA DISTRITAL DE ATALAYA



MAPA DEL PERÚ



LOCALIZACION

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI		
TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA"		
ASESOR: ING. DEYVYÑ OMAR DONAYRE HERNÁNDEZ	PLANO: UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN	UL-01
TESISISTAS: BACH. JHOSDADO ANDERSON LEONARDO ROMERO CULQUICONDOR BACH. GIANCARLO TUESTA RAMOS		
FECHA: OCTUBRE-2022	ESCALA: SIN ESCALA	



 UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI 	
TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA"	
ASESOR: ING. DEVYN OMAR DONAYRE HERNÁNDEZ	PLANO: UBICACIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO - PCI
TESISISTAS: BACH. JHOSDADO ANDERSON LEONARDO ROMERO CULQUICONDOR BACH. GIANCARLO TUESTA RAMOS	
FECHA: AGOSTO-2022	ESCALA: INDICADA

UMP-01

ESCALA: 1/1000

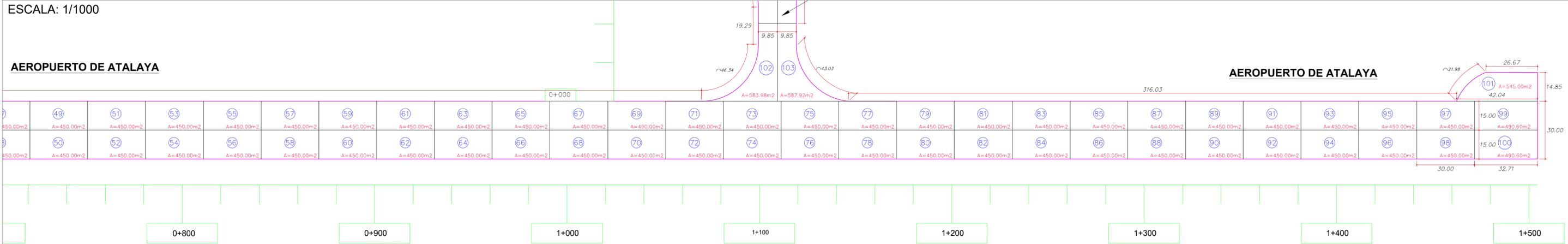
AEROPUERTO DE ATALAYA



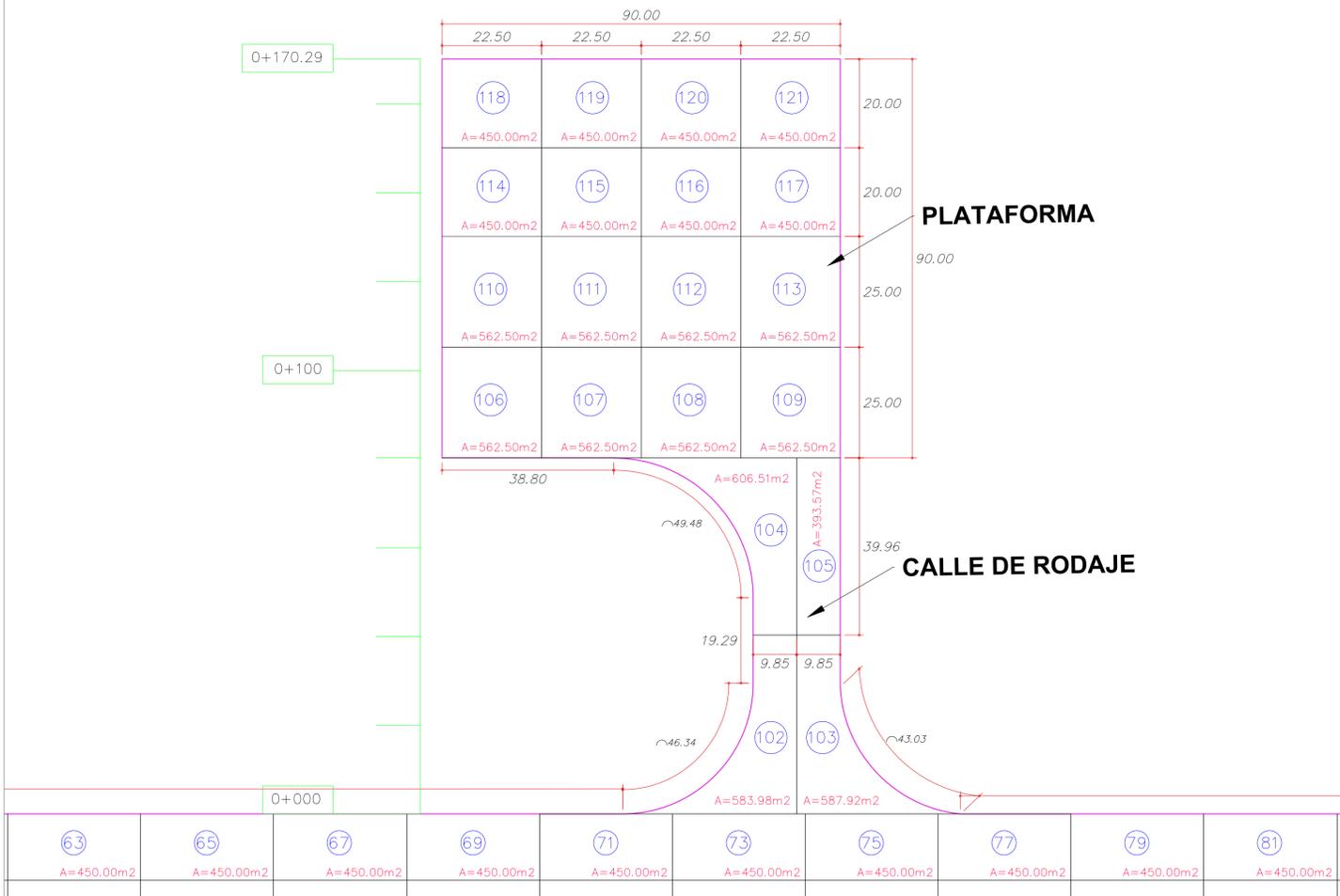
ESCALA: 1/1000

AEROPUERTO DE ATALAYA

AEROPUERTO DE ATALAYA



ESCALA: 1/750



UNIDADES DE MUESTREO

-Se divide la vía en secciones o "unidades de muestreo"

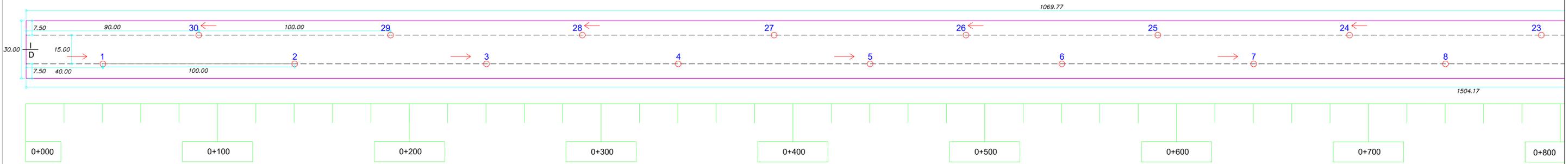
-Para aeroperuetos el área de la unidad de muestreo debe estar en el rango 450 ± 180.0m²

-Como mínimo se tiene área de 270.0m² y máximo de 630.0m².

LADO IZQUIERDO	LADO DERECHO
5	6
3	4
1	2
ANCHO DE CARRIL	ANCHO DE CARRIL

ESCALA: 1/1000

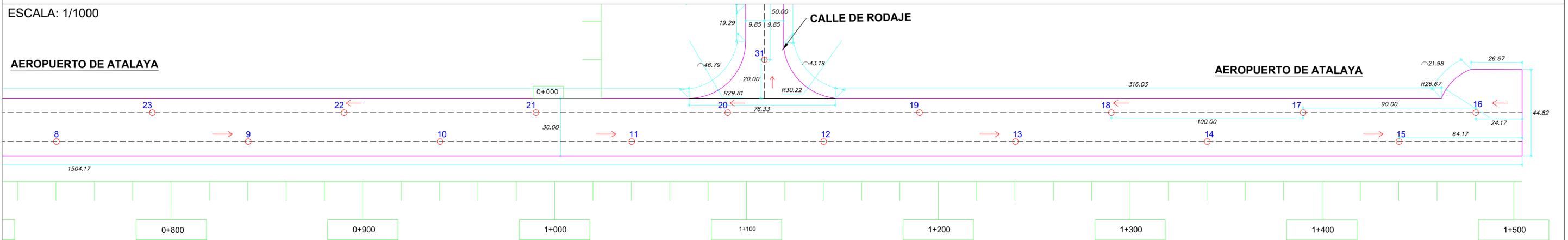
AEROPUERTO DE ATALAYA



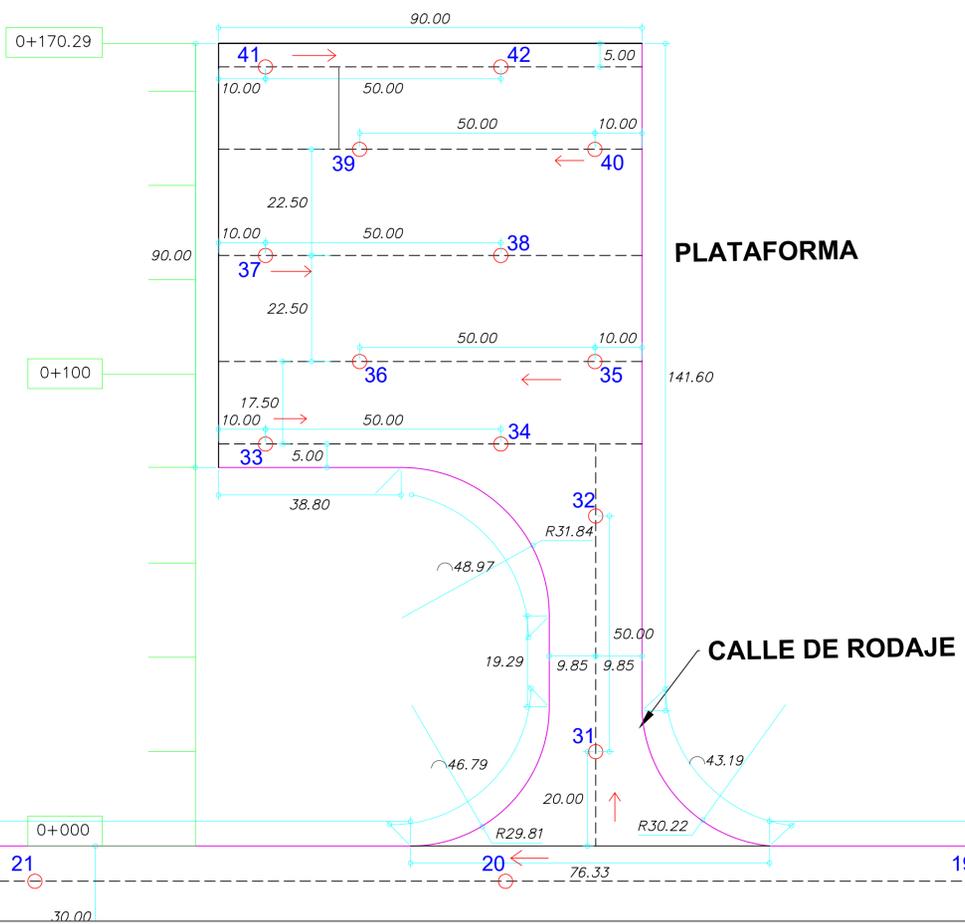
ESCALA: 1/1000

AEROPUERTO DE ATALAYA

AEROPUERTO DE ATALAYA

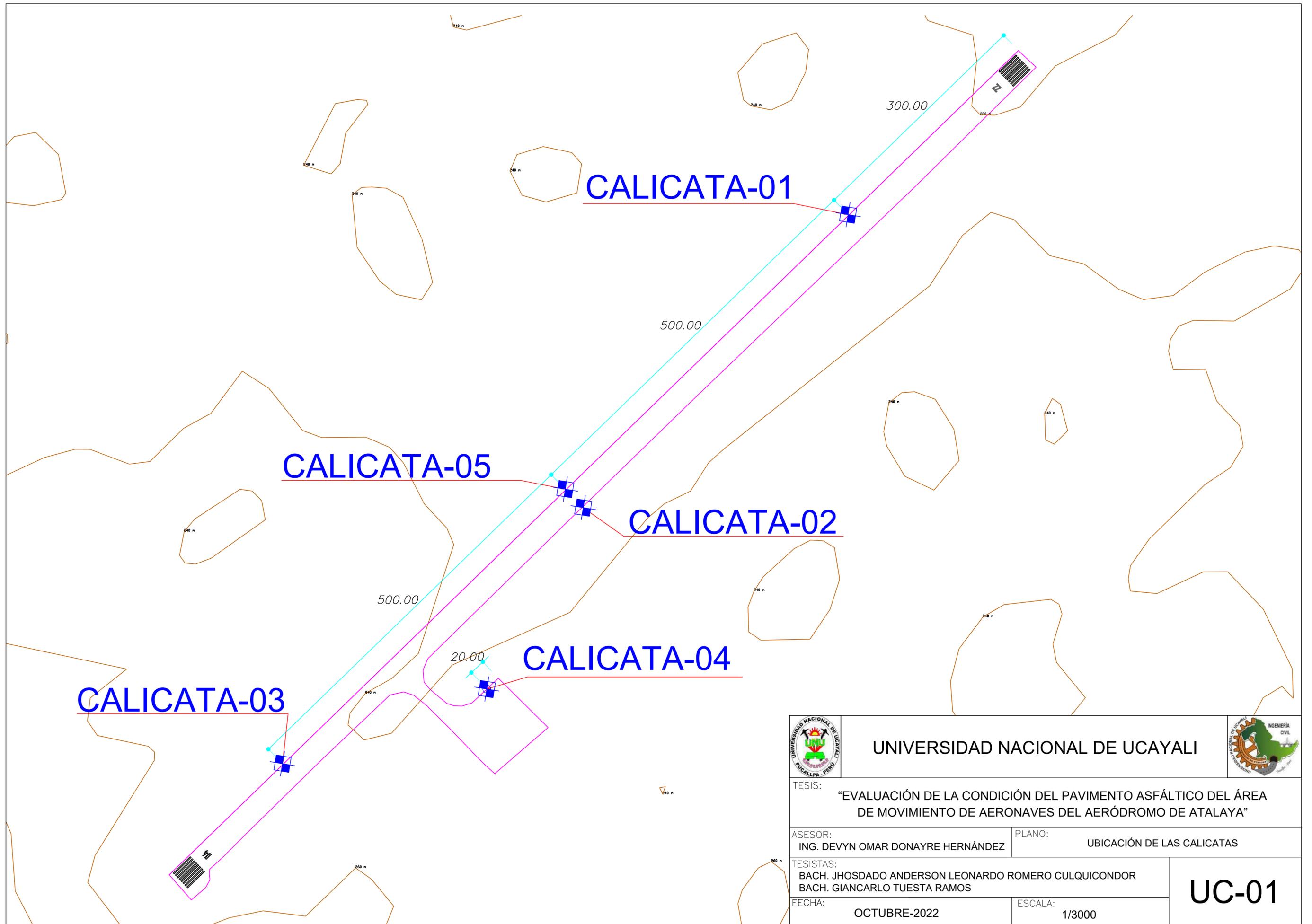


ESCALA: 1/750



LEYENDA	
	Puntos donde se realiza el ensayo de Viga Benkelman
	Sentido del camión al realizar el ensayo de Viga Benkelman
	Trayectoria del camión al realizar el ensayo de Viga Benkelman
42	Numeración consecutiva de los puntos a analizar

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI	
TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA"	
ASESOR: MG. DEVYN OMAR DONAYRE HERNÁNDEZ	PLANO: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS PARA EL ENSAYO DE VIGA BENKELMAN
TESISISTAS: BACH. JHOSDADO ANDERSON LEONARDO ROMERO CULQUICONDOR BACH. GIANCARLO TUESTA RAMOS	
FECHA: AGOSTO 2022	ESCALA: INDICADA
UVB-01	



	UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI		
	TESIS: "EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DEL ÁREA DE MOVIMIENTO DE AERONAVES DEL AERÓDROMO DE ATALAYA"		
ASESOR: ING. DEVYN OMAR DONAYRE HERNÁNDEZ	PLANO: UBICACIÓN DE LAS CALICATAS		<h1>UC-01</h1>
TESISTAS: BACH. JHOSDADO ANDERSON LEONARDO ROMERO CULQUICONDOR BACH. GIANCARLO TUESTA RAMOS			
FECHA: OCTUBRE-2022	ESCALA: 1/3000		

Anexo N° 08**Panel fotográfico**

Fotografía 1. Balanza por eje modelo Axle Weight IV Portable.



Fotografía 2. Viga Benkelman de dos brazos con relación 4:1.



Fotografía 3. Camión que se utilizó para el ensayo de deflectometría.



Fotografía 4. Pesaje del eje trasero del camión.



Fotografía 5. El peso del eje trasero del camión que aproximadamente es: 8200 kg.



Fotografía 6. Pto. 01 – Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman – Lado derecho Pista de aterrizaje.



Fotografía 7. Pto. 02 – Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman – Lado derecho Pista de aterrizaje.



Fotografía 8. Pto. 03 – Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman – Lado derecho Pista de aterrizaje.



Fotografía 9. Pto. 04 – Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman – Lado derecho Pista de aterrizaje.



Fotografía 10. Medición de las deflexiones en campo con la Viga Benkelman.



Fotografía 11. Medición de la temperatura del pavimento asfáltico.



Fotografía 12. Medición de la temperatura del ambiente.



Fotografía 13. Pto. 20 – Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman – Lado izquierdo Pista de aterrizaje.



Fotografía 14. Pto. 23 – Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman – Lado izquierdo Pista de aterrizaje.



Fotografía 15. Pto. 31 – Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman – Calle de Rodaje.



Fotografía 16. Pto. 32 – Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman – Calle de Rodaje.



Fotografía 17. Pto. 41 – Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman – Plataforma.



Fotografía 18. Pto. 42 – Ensayo de deflectometría con Viga Benkelman – Plataforma.



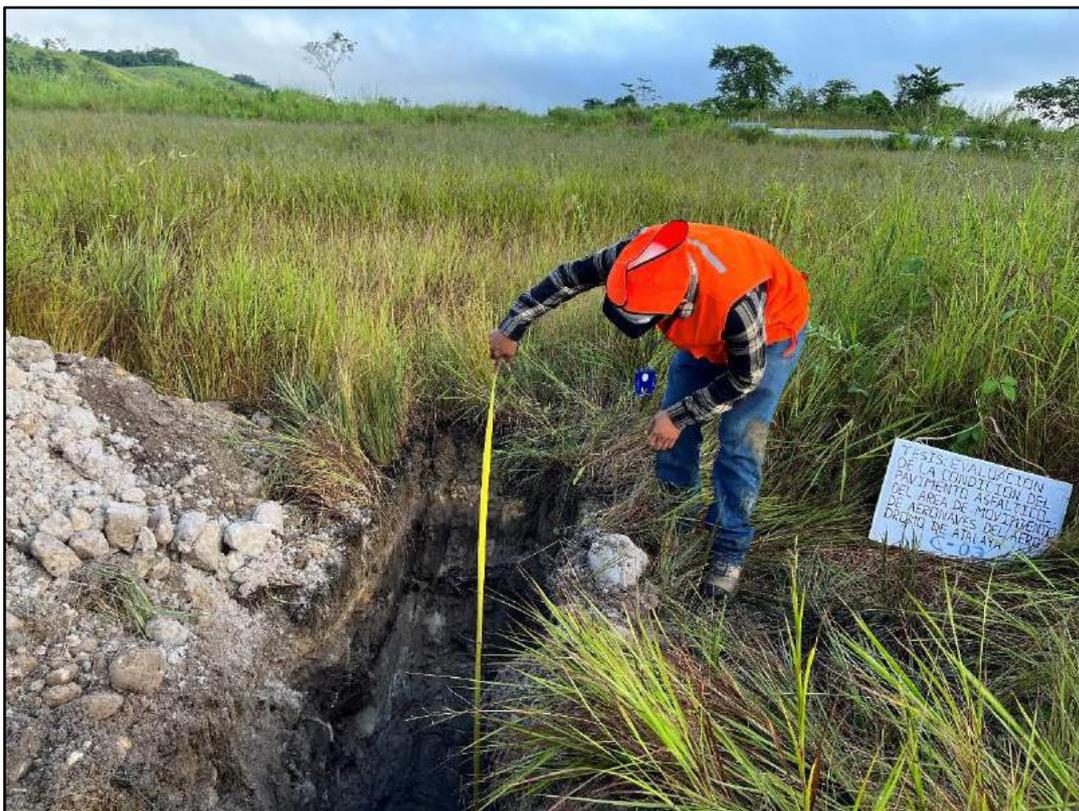
Fotografía 21. Calicata – 01.



Fotografía 22. Calicata – 01 con profundidad aproximada de 2.50m.



Fotografía 25. Calicata – 03.



Fotografía 26. Calicata – 03 con profundidad aproximada de 2.50m.



Fotografía 27. Ubicación de Calicata – 04 en la zona de plataforma.



Fotografía 28. Calicata – 04.



Fotografía 29. Calicata – 05.



Fotografía 30. Calicata – 05 con profundidad aproximada de 2.50m.



Fotografía 31. UM-01 para el cálculo del PCI.



Fotografía 32. En la UM-01 se midió el espesor y profundidad de la grieta haciendo uso del vernier.



Fotografía 33. En la UM-10 tenemos una grieta donde se usó el odómetro para medirlo.



Fotografía 34. En la UM-15 se encontró la falla Peladura y efecto de la intemperie con severidad media.



Fotografía 35. En la UM-42 se encontró la falla Piel de Cocodrilo con severidad grave.



Fotografía 36. En la UM-52 se tiene falla Parcheo con severidad grave.



Fotografía 37. El espesor aproximado de la carpeta asfáltica es de 2 pulgadas.



Fotografía 38. En la UM-54 se tiene falla Parcheo con severidad media.



Fotografía 39. Ensayo de granulometría de la Calicata – 01.



Fotografía 40. Ensayo de granulometría de la Calicata – 02.



Fotografía 41. Ensayo de granulometría de la Calicata – 03.



Fotografía 42. Ensayo de granulometría de la Calicata – 04.



Fotografía 43. Ensayo de granulometría de la Calicata – 05.



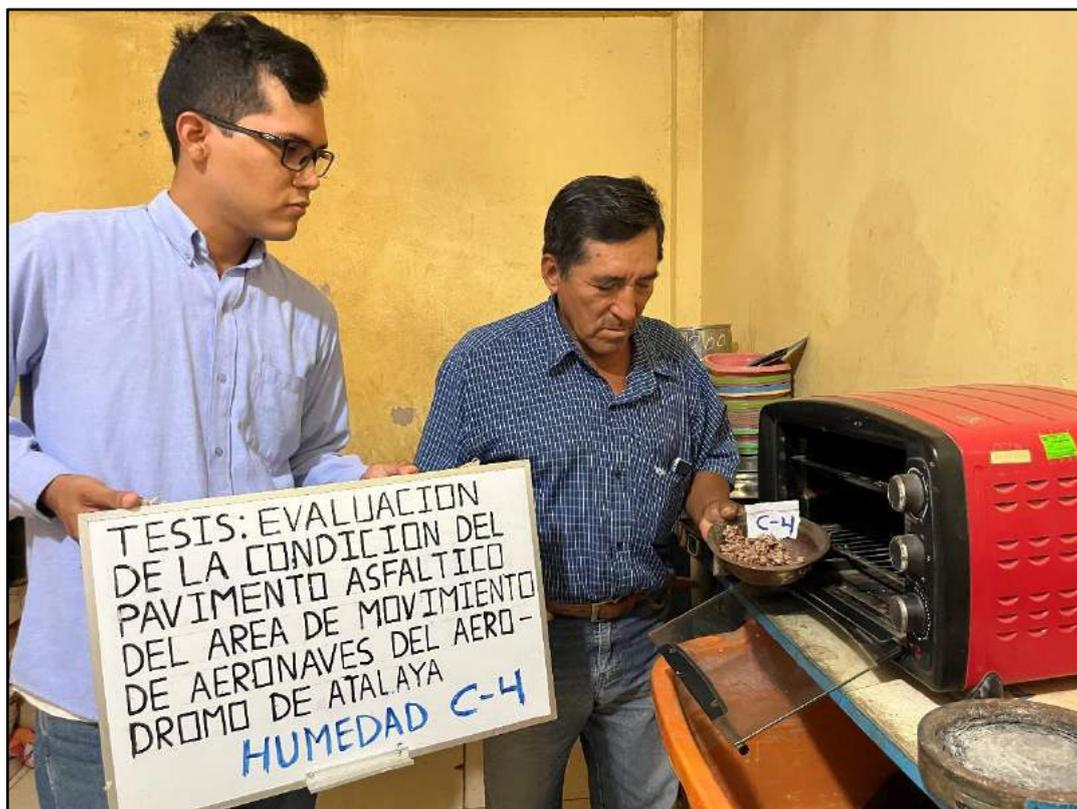
Fotografía 44. Ensayo de contenido de humedad de la Calicata – 01.



Fotografía 45. Ensayo de contenido de humedad de la Calicata – 02.



Fotografía 46. Ensayo de contenido de humedad de la Calicata – 03.



Fotografía 47. Ensayo de contenido de humedad de la Calicata – 04.



Fotografía 48. Ensayo de contenido de humedad de la Calicata – 05.



Fotografía 49. Ensayo de Proctor Modificado de la Calicata – 01.



Fotografía 50. Ensayo de Proctor Modificado de la Calicata – 03.



Fotografía 51. Ensayo de C.B.R. de la Calicata – 01.



Fotografía 52. Ensayo de C.B.R. de la Calicata – 03.