



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES



**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE
DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN
DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS
DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:
ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**

MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

**JULIACA – PERÚ
2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES**


**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN
DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN
DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS
DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024**

**TESIS PRESENTADA POR
ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES
APROBADA POR:**

PRESIDENTE DEL JURADO : 
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

MIEMBRO DEL JURADO : 
Dr. JAVIER ROMULO QUISPE ZAPANA

MIEMBRO DEL JURADO : 
Dr. JESUS MAMANI MAMANI

ASESOR DE TESIS : 
Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 067-2025-D-EPG-UANCV/J

Juliaca, Martes 06 de mayo del 2025

VISTOS:

El expediente N° 2024-014250 presentado por el (a) Bachiller, ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO, quien solicita nominación de jurados y Fecha y hora de sustentación de tesis, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez".

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Bachiller. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO, con número de DNI. 44437594 y con número de matrícula 1520100043, ha solicitado asignación de jurados, Fecha y hora de sustentación de la tesis titulado: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024., para optar el GRADO de MAESTRO en INGENIERIA CIVIL Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez;

Que, de conformidad con lo previsto en el artículo 18° del Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, COMITÉ DE INVESTIGACIÓN;

Que, mediante Resolución N° 1124-2024-USA-EPG/UANCV SE APRUEBA Y AUTORIZA LA EJECUCION DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACION y con Resolución N° 1872-2024-USA-EPG/UANCV, se APRUEBA y AUTORIZA EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) titulado: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024. La misma que pertenece a la Línea de Investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50;

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos en su artículo 28° DE LA SUSTENTACIÓN.

Y estando, la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación y el Director de la Escuela de Posgrado mediante acta de sorteo de jurado, con registro N° 00097 de fecha 06 de mayo del 2025 se nomina jurados.

Que, conforme al artículo 66° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la Tesis de Posgrado es un trabajo de investigación científica original de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el artículo 76° del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR APTO para la sustentación presencial del informe final de la investigación (BORRADOR DE TESIS), del (la) Bach: ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO, para optar el GRADO de MAESTRO en INGENIERIA CIVIL, Mención: GEOTECNIA Y TRANSPORTES, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO. - NOMINAR JURADOS para la sustentación presencial y defensa de la tesis a los siguientes docentes ordinarios:

- Presidente : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- Primer miembro : Dr. JAVIER ROMULO QUISPE ZAPANA
- Segundo miembro : Dr. JESUS MAMANI MAMANI
- Asesor : Dr. ARNALDO YANA TORRES

ARTÍCULO TERCERO. - PROGRAMAR FECHA Y HORA de sustentación como se detalla:

- Fecha : Viernes 16 de mayo del 2025
- Hora : 10:00 a.m.
- Lugar : Aula N° 309 EPG-UANCV-JULIACA

ARTÍCULO CUARTO. - el Director de la Escuela de Posgrado queda encargado del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO



Dr. Javier Romulo Quispe Zapana
DIRECTOR (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ" ESCUELA DE POSGRADO



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 01872-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 12 de noviembre de 2024

VISTOS:

El Expediente N° 2024-012627 de fecha 11 de octubre de 2024, el (la) Bach. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO, con DNI N° 44437594, código de matrícula N° 1520100043, quien solicita Revisión de Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis); **INFORME N° 00776-2024-UI-EPG-UANCV** y el **Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)"** del 05 de noviembre de 2024, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

CONSIDERANDO:

Que, las Unidades de Investigación son unidades académicas que agrupan a docentes y estudiantes de diversas disciplinas, en razón del desarrollo de investigación científica, tecnológica y humanista de acuerdo al Estatuto Universitario Modificado 2020 de nuestra primera Casa Superior de Estudios.

Que, con Expediente N° 2024-012627 el (la) Bach. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO, solicita la revisión y aprobación del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) titulado: **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024**. Línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50**, para optar el **GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**, mención: **GEOTECNIA Y TRANSPORTES**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos plasmado en la Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R.

Que, el Comité de Investigación emitió su opinión **FAVORABLE** al Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis).

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, corroboró el asesoramiento en el Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis) del **ASESOR Dr. ARNALDO YANA TORRES**; y,

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según **INFORME N° 00776-2024-UI-EPG-UANCV** y el **Anexo (04 o 05) "Ficha de Opinión del Informe Final de la Investigación (borrador de Tesis)"** en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR EL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, titulado: **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024**. presentado por el (la) Bach. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTICULO SEGUNDO.- RATIFICAR, como **ASESOR** al (a) **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTICULO TERCERO. - DISPONER que la Escuela de Posgrado, la Secretaría Académica y administrativa, quedan encargados del cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCIÓN



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 01124-2024-USA-EPG/UANCV

Juliaca, 12 de Agosto de 2024

VISTOS:

El Expediente N° 2024-08931 de fecha 22 de julio de 2024, el (la) Bach. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO, con DNI N° 44437594, código de matrícula N° 1520100043, quien solicita Revisión de propuesta de Investigación; INFORME N° 00229-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación" del 05 de agosto de 2024, que fue revisada por el Comité de Investigación de la Escuela de Posgrado.

CONSIDERANDO:

Que, las Unidades de Investigación son unidades académicas que agrupan a docentes y estudiantes de diversas disciplinas, en razón del desarrollo de investigación científica, tecnológica y humanista de acuerdo al Estatuto Universitario Modificado 2020 de nuestra primera Casa Superior de Estudios.

Que, con Expediente N° 2024-08931 el (la) Bach. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO, solicita la revisión y aprobación de la propuesta de Investigación titulado: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024. Línea de investigación TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN - P50, para optar el GRADO de MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL con mención en: GEOTECNIA Y TRANSPORTES.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos plasmado en la Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R.

Que, el Comité de Investigación emitió su opinión FAVORABLE a la propuesta de investigación.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado, corroboró la propuesta del ASESOR Mgtr. ARNALDO YANA TORRES, quien debe estar acreditado y facultado para orientar y ayudar al asesorado en el proceso de elaboración del trabajo de investigación (Tesis) de acuerdo a la DIRECTIVA N° 004-2019-UANCV-VRAD-OI; y,

Estando, la opinión favorable del Comité de Investigación, según INFORME N° 00229-2024-UI-EPG-UANCV y el Anexo (02 o 03) "Ficha de Opinión de la Propuesta de Investigación" en concordancia con el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos Resolución N° 0294-2023-UANCV-CU-R, de conformidad a lo que establece la Ley Universitaria N° 30220, Ley de Creación de la UANCV N° 23738 y Modificatoria N° 24661 y el Estatuto de la UANCV, que confiere facultades a la unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado.

SE RESUELVE:

ARTICULO PRIMERO.- APROBAR Y AUTORIZAR LA EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, titulado: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024, presentado por el (la) Bach. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO, en virtud de los considerandos expuestos.

ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER, como ASESOR al Mgtr. ARNALDO YANA TORRES.

ARTICULO TERCERO. - DISPONER que la Escuela de Posgrado, la Secretaría Académica y administrativa, quedan encargados del cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, comuníquese y archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO
Dr. Leopoldo Yana Torres
DIRECTOR (e)

DISTRIBUCIÓN:
DIRECCIÓN EPG, INTERESADO.
ARCH. LWCC/cqm.



15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de fuentes excluidas

Fuentes principales

- 10% Fuentes de Internet
- 5% Publicaciones
- 13% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

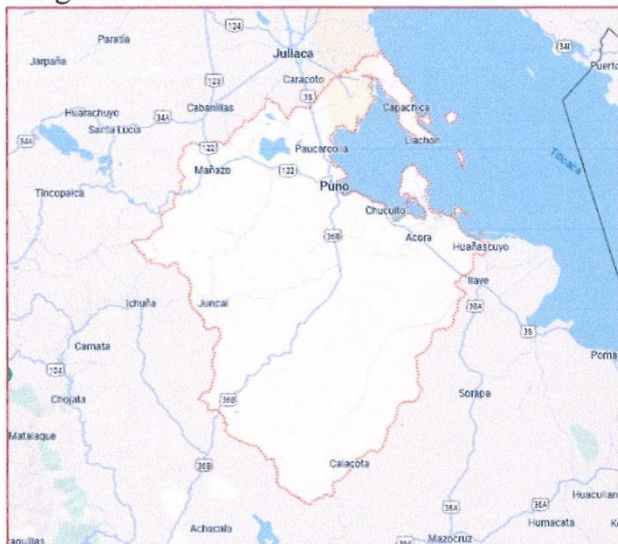
Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos Complementarios

Título de la tesis	
APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	Abel Darwin Velarde Del Castillo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	44437594
URL de ORCID	http://orcid.org/0000-0003-1552-4184
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Arnaldo Yana Torres
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	http://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Leonel Suasaca Pelinco
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Javier Romulo Quispe Zapana
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01324996
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Jesus Mamani Mamani
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02425043
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de la Construcción – P50
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: Puno Distrito: Puno Latitud: S 15° 50' 36'' Longitud: O 70° 01' 25''</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/QRhLmDDd8HBCBrjYA</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Julio 2024 - octubre 2024
URL de disciplinas OCDE - Librería	<p>Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</p> <p>Ingeniería de la Construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03</p>



UNIVERSIDAD ANTONIO NESTOR CÁCERES FLORESQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO

Dr. Jesús Mamani Mamani
DIRECTOR
DE INVESTIGACIÓN - EPG



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO, identificado con DNI Nro. 44437594 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES,

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:
“ APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024 ”

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 02 de junio del 2025


Firma del Asesor (obligatorio)


Firma del Estudiante (obligatorio)



Huella



DEDICATORIA

A la VIDA, por haberme dado la oportunidad de lograr un objetivo más. A mi madre REYNA, por haberme educado, haber creído en mí hasta en los momentos más difíciles y por el amor que siempre me ha brindado. A mis hermanos YENIFFERD y HAWAR, por estar ahí siempre alentándome en todo lo que hago, por las alegrías, las tristezas y los momentos inolvidables que nos ha tocado vivir juntos, los llevo siempre en mi corazón.



AGRADECIMIENTOS

A los docentes de la Maestría en Ingeniería Civil, por su contribución en la formación de profesionales al servicio de la sociedad. A mis Jurados y Asesor de tesis quienes con sus aportes y consejos engrandecieron la presente investigación.



ÍNDICE

ÍNDICE	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
INTRODUCCIÓN	X

CAPÍTULO I

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 EXPOSICIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	12
1.2 FORMULACIÓN DEL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2.1 Problema general	13
1.2.2 Problemas específicos.....	13
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.3.1 Justificación teórica.....	14
1.3.2 Justificación practica.....	14
1.3.3 Justificación metodológica	14
1.4 OBJETIVOS	15
1.4.1 Objetivo general.....	15
1.4.2 Objetivos específicos	15
1.5 IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.6 LIMITACIONES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.7 HIPÓTESIS	16
1.7.1 Hipótesis general	16
1.7.2 Hipótesis específicas	17



1.8 VARIABLES E INDICADORES 17

1.8.1 Conceptualización de las variables 17

1.8.2 Operacionalización de variables 18

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 19

2.1.1 A nivel internacional..... 19

2.1.2 A nivel nacional..... 20

2.1.3 A nivel regional 21

2.2 BASES TEÓRICAS 22

2.2.1 Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) 22

2.2.2 Análisis de regresión..... 30

2.2.3 Análisis de varianza (ANOVA) 31

2.2.4 Método de los mínimos cuadrados 32

2.3 MARCO CONCEPTUAL..... 35

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN..... 37

3.2 MÉTODO APLICADO EN LA INVESTIGACIÓN 38

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN 38

3.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN 39

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN..... 39

3.6 POBLACIÓN Y MUESTRA..... 40

3.6.1 Población..... 40

3.6.2 Muestra..... 40

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN..... 41

3.7.1 Técnica de la investigación 41

3.7.2 Instrumentos de la investigación 41



3.8 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO 42

 3.8.1 Validación de los instrumentos 42

 3.8.2 Confiabilidad de los instrumentos 42

3.9 DISEÑO DE LA ESTRATEGIA PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS 43

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS..... 46

 4.1.1 Muestreo de material 46

 4.1.2 Ensayos de laboratorio 48

 4.1.3 Construcción del modelo 52

 4.1.4 Revisión del modelo..... 54

 4.1.5 Implementación de la MSR en el cálculo del porcentaje óptimo de cemento
de los suelos estabilizados con cemento. 56

 4.1.6 Implementación de la MSR en el cálculo de los días óptimos de curado de
los suelos estabilizados con cemento. 61

 4.1.7 Identificación de la Variación de la resistencia a la compresión simple entre
el diseño aprobado para la ejecución y el calculado aplicando la MSR..... 66

4.2 PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS 67

4.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 69

CONCLUSIONES 72

RECOMENDACIONES 74

REFERENCIAS 75

ANEXOS..... 80



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	18
Tabla 2 Número de corridas en los diseños de segundo orden	27
Tabla 3 Análisis de varianza para una prueba F	31
Tabla 4 Número de corridas en los diseños de segundo orden	44
Tabla 5 Ensayos requeridos según el diseño de composición central (DCC)	48
Tabla 6 Numero de ensayos realizados.....	49
Tabla 7 Resultados de los ensayos de laboratorio.....	52
Tabla 8 Coeficientes de regresión para el modelo planteado.....	53
Tabla 9 Parámetros estadísticos del modelo	55
Tabla 10 Distribución de la resistencia a la compresión simple (MPa) para distintos valores del porcentaje de cemento y días de curado.....	60
Tabla 11 Distribución de la resistencia a la compresión simple (MPa) para distintos valores del porcentaje de cemento y días de curado.....	65
Tabla 12 Resultados de la maximización del modelo matemático	66
Tabla 13 Especificaciones técnicas de tipos de estabilizadores y parámetros	69



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Relación diseño-modelo	25
Figura 2 Representación y construcción de los DCC para $k = 2$ y 3 factores.....	26
Figura 3 Superficies de respuesta: a) descrita por un modelo de primer orden; b), c) y d) descritas por modelos de segundo orden.....	28
Figura 4 Ubicación de la cantera Km 12+280 (PU-121)	47
Figura 5 Muestreo de material en cantera (Km 12+280).....	47
Figura 6 Moldeo de probetas de suelo-cemento.....	50
Figura 7 Curado y guardado de probetas de suelo-cemento	50
Figura 8 Dial analógico con aproximación 0.01mm	51
Figura 9 Rotura de probetas de suelo-cemento.....	51
Figura 10 Probetas después del ensayo de compresión	52
Figura 11 Superficie de respuesta del modelo de segundo orden	53
Figura 12 Distribución F para un nivel de significancia del 95%	55
Figura 13 Distribución T-Student de β_1 para $\alpha = 5\%$	56
Figura 14 Distribución T-Student de β_3 para $\alpha = 5\%$	58
Figura 15 Distribución T-Student de β_4 para $\alpha = 5\%$	59
Figura 16 Distribución T-Student de β_2 para $\alpha = 5\%$	61
Figura 17 Distribución T-Student de β_3 para $\alpha = 5\%$	63
Figura 18 Distribución T-Student de β_5 para $\alpha = 5\%$	64
Figura 19 Valor ajustado vs Residuos	70



RESUMEN

La presente tesis de grado resulta de un estudio de investigación correlacional y experimental de las variables independientes que son el porcentaje de cemento y los días de curado, y la variable dependiente resistencia a la compresión simple para la muestra circunscrita en la Provincia de Puno, esta correlación se verifico mediante la aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MSR).

El objetivo planteado en la investigación es de optimizar los diseños de suelos estabilizados con cemento aplicando la metodología de superficie de respuesta para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.

Mediante la aplicación de la metodología de superficie de respuesta se analizaron un total de 21 pruebas experimentales con la finalidad de obtener un modelo matemático de predicción que nos ayude a optimizar la resistencia a la compresión simple, así mismo se realizó el contraste del modelo obtenido mediante la distribución F para un nivel de significancia del 95%.

Dentro de los resultados obtenido se tiene que para un porcentaje igual a 1.36% de cemento y 7.20 días de curado se logró alcanzar una resistencia a la compresión simple de 2.00 MPa, cumpliendo así con lo requerido en la norma para carreteras no pavimentadas, con esta optimización se reduce el porcentaje de 2.00% de cemento utilizado en ejecución la carretera Llungo – Atuncolla.

Palabras clave: Correlación, estabilización, cemento, superficie de respuesta.



ABSTRACT

This thesis is the result of a correlational and experimental research study of the independent variables that are the percentage of cement and the days of curing, and the dependent variable simple compressive strength for the sample circumscribed in the Province of Puno, this correlation was verified by applying the response surface methodology (RSM).

The objective of the research is to optimize the designs of cement-stabilized soils by applying the response surface methodology for the conformation of the granular base of unpaved roads in the Province of Puno, 2024.

By applying the response surface methodology, a total of 21 experimental tests were analyzed in order to obtain a mathematical prediction model that helps us optimize the simple compressive strength, and the model obtained was contrasted by using the F distribution for a significance level of 95%.

Among the results obtained, it is noted that for a percentage equal to 1.36% of cement and 7.20 days of curing, a simple compressive strength of 2.00 MPa was achieved, thus complying with the requirements of the standard for unpaved roads. With this optimization, the percentage of 2.00% of cement used in the construction of the Llungo – Atuncolla highway is reduced.

Keywords: Correlation, stabilization, cement, response surface.



INTRODUCCIÓN

En la actualidad se vienen ejecutando las carreteras de la red vial departamental o regional mediante servicios de mejoramiento y conservación vial por niveles de servicio, la región Puno no es ajeno a esta realidad y como muestra de esta situación en los últimos años se han venido ejecutando las vías dentro de su circunscripción mediante soluciones básicas para carreteras no pavimentadas como el uso de la mezcla suelo-cemento para bases granulares, dentro de la Provincia de Puno tenemos la carretera Llungo - Atuncolla en la que se utilizó suelo estabilizado con cemento como material para base granular y otta seal para el recubrimiento superficial.

Para obtener el diseño de la mezcla suelo-cemento se procede a aumentar directamente el cemento al suelo obtenido de cantera, este aumento se realiza en porcentajes del peso total de las probetas de ensayo, las probetas de suelo-cemento según el documento "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas" del Ministerio de Transportes y Comunicaciones deberán cumplir con dos ensayos que son la "resistencia a la compresión simple" y "humedecimiento-secado", en la presente investigación se ha tomado el ensayo de resistencia a la compresión simple puesto que nos ayuda a determinar la carga última de un suelo compactado, en ese sentido el documento antes mencionado nos indica que la resistencia a la compresión simple deberá tener un valor de 1.80 Mpa como mínimo.

De lo expuesto en los párrafos precedentes, la presente investigación ha tenido como objetivo desarrollar una forma de cálculo basado en procedimientos matemáticos y estadísticos con la finalidad de optimizar el porcentaje de cemento y los días curado necesarios para alcanzar una resistencia que cumpla con los requerimientos técnicos mínimos para carreteras no pavimentadas.

En el Capítulo I se presenta la situación problemática actual en referencia a la dosificación del cemento para estabilizar suelos granulares para uso en obras viales, del



mismo modo se realiza el planteamiento del problema, justificación, objetivos, importancia de la investigación, hipótesis y la respectiva operacionalización de variables.

En el Capítulo II se presentan las diferentes referencias históricas utilizadas para la investigación, así como las bases teóricas y conceptuales. En el Capítulo III se desarrolla la metodología utilizada como base para la investigación, dentro del mismo tenemos el tipo y diseño de la investigación, la población enmarcada en la Provincia de Puno y la muestra que viene a ser la carretera no pavimentada Llungo – Atuncolla, así mismo se hace referencia a las técnicas y herramientas utilizadas en la recolección de datos que fueron obtenidos mediante la experimentación en laboratorio.

En el Capítulo IV se desarrolla el análisis de datos y su respectiva interpretación, todo esto luego de realizar el respectivo modelamiento de la ecuación de regresión lineal y contraste del mismo mediante el análisis de varianza, validándose así las hipótesis planteadas en la presente investigación.

Finalmente se presenta las conclusiones alcanzadas con la investigación, así como las recomendaciones para mayores alcances y/o mejora de procedimientos respecto a la estabilización de suelos para el uso en obras viales.



CAPÍTULO I

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 EXPOSICIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El creciente desarrollo social y económico de país demanda la apertura de nuevas vías de comunicación, así como la mejora y/o rehabilitación de las vías de existentes, todo esto con la finalidad de mejorar la transitabilidad y el intercambio comercial entre las ciudades de las distintas regiones del país.

La Región Puno y en específico la Provincia de Puno no es ajena a esta realidad, por ello resulta de suma importancia el mejoramiento y/o rehabilitación de las vías vecinales o rurales, sin embargo, la intervención de las mismas mediante proyectos viales definitivos resultaría en grandes inversiones difíciles de asumir por la Municipalidad Provincial de Puno, por ello la atención debería de realizarse mediante la aplicación de soluciones básicas para carreteras no pavimentadas donde los costos de ejecución son menores, así como su mantenimiento rutinario o periódico.

Una de las soluciones más frecuentes es la ejecución de una base estabilizada asociado a una superficie de rodadura que funja la función de aislante y/o impermeabilizante para su conservación frente a los agentes climáticos.

En ese sentido un agente estabilizante idóneo es el cemento, el mismo que se puede utilizar para los distintos materiales (suelos) que se encuentran en la Provincia de Puno, sin embargo, la dosificación se viene realizar de manera mecánica mediante la prueba y error,



resultando en muchos casos el exceso de cemento en la dosificación necesaria para alcanzar la resistencia mínima requerida en el Documento Técnico de Soluciones Básicas en Carreteras no Pavimentadas del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).

En consecuencia, para lo expuesto anteriormente la presente investigación formula un procedimiento para obtener la dosificación requerida de cemento y los días de curado de la mezcla suelo-cemento aplicando una serie de procedimientos matemáticos y estadísticos que nos puedan ayudar en optimizar los diseños para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno.

1.2 FORMULACIÓN DEL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 *Problema general*

¿Será posible aplicar la metodología de superficie de respuesta en la optimización de los porcentajes de cemento y días de curado de suelos estabilizados con cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024?

1.2.2 *Problemas específicos*

- ¿Será posible implementar la metodología de superficie de respuesta en el cálculo del porcentaje óptimo de cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024?
- ¿Será posible implementar la metodología de superficie de respuesta en el cálculo de los días óptimos de curado de los suelos estabilizados con cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024?
- ¿Cuál será la variación de la resistencia a la compresión simple entre el diseño aprobado para la ejecución y el calculado aplicando la metodología de superficie de respuesta de los suelos estabilizados con cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024?



1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Según (Mendez, 1995) para justificar la investigación se debe establecer “las motivaciones de que llevan al investigador a desarrollar el proyecto.” (p. 92), estas motivaciones pueden ser de carácter teórico, metodológico y práctico como se describen a continuación:

1.3.1 *Justificación teórica*

Mediante la presente investigación se realiza una revisión del estado actual respecto a los procedimientos establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) para el diseño de las mezclas suelo-cemento que son utilizadas en bases granulares de carreteras no pavimentadas.

1.3.2 *Justificación practica*

De acuerdo con los resultados de la investigación, se comprueba que se pueden optimizar los valores de cemento y días curado para la dosificación de suelos estabilizados con cemento, los mismos que podrán ser utilizados en bases granulares para carreteras no pavimentadas, siempre cumpliendo con los requerimientos técnicos establecidos en el documento técnico “Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

1.3.3 *Justificación metodológica*

Con el desarrollo de la presente investigación se establece una alternativa basada en procedimientos matemáticos y estadísticos como lo es la metodología de Superficie de Respuesta (MSR), que podrá ser utilizado a posterior en la optimización de los porcentajes de cemento y los días de curado para el diseño de suelos estabilizados con cemento. Siempre en cumplimiento de los manuales técnicos emitidos por el MTC como son “Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas”, “Especificaciones técnicas generales para construcción” y “Suelos geología, geotecnia y pavimentos – Sección suelos y pavimentos”.



1.4 OBJETIVOS

1.4.1 *Objetivo general*

Optimizar los porcentajes de cemento y días de curado de los diseños de suelos estabilizados con cemento aplicando la metodología de superficie de respuesta para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Implementar la metodología de superficie de respuesta en el cálculo del porcentaje óptimo de cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.
- Implementar la metodología de superficie de respuesta en el cálculo de los días óptimos de curado de los suelos estabilizados con cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.
- Identificar la variación de la resistencia a la compresión simple entre el diseño aprobado para la ejecución y el calculado aplicando la metodología de superficie de respuesta de los suelos estabilizados con cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.

1.5 IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

La importancia de la presente investigación radica en conseguir optimizar las cantidades de cemento y los días de curado para el diseño de mezclas de suelo-cemento para la ejecución de bases granulares en carreteras no pavimentadas sin descuidar los requerimientos mínimos de resistencia a compresión simple establecidos en el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas" y el Manual de ensayos de materiales, ambos documentos de reglamentados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

El alcance de la presente investigación se enmarca en las carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno con la finalidad de optimizar el diseño suelo-cemento planteadas en las mismas para la conformación de base granular siempre en concordancia con los establecido en los manuales de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

1.6 LIMITACIONES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Dentro de las limitaciones encontradas en la investigación, la principal radica en las canteras utilizadas en la ejecución de carreteras no pavimentadas, al ser de distintas composiciones se debería realizar una evaluación para cada tipo de suelo, sin embargo, el análisis realizado en la investigación queda como procedimiento estándar para futuras aplicaciones.

Respecto a las delimitaciones de la investigación se ha tenido en cuenta solo la cantera utilizada en la ejecución, la misma que ya cuenta con estudios de caracterización previos, los mismo que fueron utilizados para realizar el análisis comparativo respecto a la resistencia a compresión simple establecido en el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas".

1.7 HIPÓTESIS

1.7.1 *Hipótesis general*

Aplicando la metodología de superficie de respuesta es posible optimizar los porcentajes de cemento y días de curado de los diseños de suelos estabilizados con cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.



1.7.2 Hipótesis específicas

- La implementación de la metodología de superficie de respuesta determina el porcentaje óptimo de cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.
- La implementación de la metodología de superficie de respuesta determina los días óptimos de curado de los suelos estabilizados con cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.
- La resistencia a la compresión simple entre el diseño aprobado para la ejecución y el calculado aplicando la metodología de superficie de respuesta de los suelos estabilizados con cemento varía en un 5% para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.

1.8 VARIABLES E INDICADORES

Las variables son determinadas características o propiedades de un objeto o fenómeno y que pueden tomar una serie de valores en función a determinadas circunstancias o condiciones en ese sentido (Arias, 2012) indica que una "variable es una característica o cualidad; magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación." (p. 57)

1.8.1 Conceptualización de las variables

1.8.1.1 Variable independiente

Las variables independientes consideradas en la presente investigación son:

- Porcentaje de cemento (C)
- Días de curado (D)

1.8.1.2 Variable dependiente

La variable dependiente considerada en la presente investigación es:



- Resistencia a la compresión simple (qu)

1.8.2 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables.

VARIABLE	INDICADOR	MEDICIÓN	RANGO DE VARIABILIDAD
Variable independiente			
Porcentaje de cemento	Cantidad de cemento	% en peso	2% - 5%
Tiempo de curado	Cantidad de días de curado	Días	5 - 9
Variable dependiente			
Resistencia a la compresión simple	▪ Porcentaje óptimo de cemento	Ensayo de resistencia a la compresión simple (MTC E 1103)	1.8 MPa mínimo
	▪ Cantidad de días óptimos de curado		

Nota: Elaboración propia



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se desarrollan los antecedentes con la información recabada en el siguiente orden: internacional, regional y local.

2.1.1 *A nivel internacional*

En su investigación denominada “Estabilización de suelo con CBR insatisfactorio para el uso en carreteras, mediante el uso de material reciclado y cemento para ser utilizado en proyectos viales” (Llusco & Quisber, 2019) mencionan que “La influencia del material reciclado PET y cemento Portland IP-30, en la estabilización del suelo para conformar la estructura de pavimento, se reflejó en la reducción de su índice de plasticidad, expansión volumétrica e incremento de su índice C.B.R.” (p. 102).

Así mismo (García & Romero, 2019) en su investigación denominada “Verificación de resistencia entre la estabilización de suelo – cemento y la estabilización con suelo – cemento y fibra de fique” concluyen que “Los estudios realizados muestran que la mejor opción fue la mezcla de suelo y cemento, debido a que presentó un CBR de 171,84%, sin embargo se debe tener en cuenta que se puede utilizar para vías no pavimentadas” (p. 38).



Del mismo modo (García, 2019) en su investigación denominada "Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín" concluyen que "el cemento funciona muy bien como agente estabilizador de suelos, en este caso se comprobó que los porcentajes superiores al 8 % de cemento en la mezcla mejoran considerablemente la resistencia ante cargas monotónicas" (p. 73).

De otro lado (Zambrano & Zambrano, 2023) en su investigación denominada "Estabilización de suelo con cal y cemento para el mejoramiento de subrasante" concluye que "estabilizando el material para capa de subrasante con características y propiedades determinadas, adicionando un 2 % de cal y 4 % de cemento reduce la plasticidad al 8.16 % y aumenta la resistencia al 8.80%." (p. 123).

Finalmente (Enrique & Darwin, 2019) en su investigación denominada "Estudio de suelo, estabilización del material granular existente con cemento MH y diseño de pavimento flexible en las calles del sector La Milina, parroquia José Luis Tamayo, Cantón Salinas, Provincia de Santa Elena" determino que "el porcentaje de cemento óptimo fue del 5%, alcanzando una resistencia promedio a compresión simple de 10,42 Kg/cm² y 16,11 Kg/cm² a los 7 y 28 días respectivamente, con un módulo elásticos de 3553 MPa a los 34 días de edad" (p. 99).

2.1.2 A nivel nacional

(Rodriguez, 2022) en su investigación denominada "Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021" concluyen que la adición de cloruro de sodio y cemento "influyen significativamente en la estabilización de suelos con gravas y arenas limo arcillosas ya que se logra reducir la plasticidad, se logra incrementar la máxima densidad seca y reducir el contenido de humedad del suelo, así como también se logra valores de CBR superiores a la categoría excelente para subrasantes" (p. 83).



Así mismo (Becerra & Calderon, 2022) en su investigación denominada "Influencia del cemento portland tipo I en la capacidad soporte (CBR) de la subrasante de la avenida Arana Vidal sector La Colina, Jaén 2021" concluye que las diversas adiciones de cemento portland tipo I "tuvieron mejoras muy sobresalientes, en la capacidad de soporte (CBR) con respecto a la muestra patrón, para todos sus porcentajes" (p. 49).

Finalmente (Ramirez & Guerra, 2021) en su investigación denominada "Estabilización de la subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020" concluye que la "estabilización con cemento influye considerablemente en la resistencia de la capacidad portante del suelo, el CBR del suelo sin estabilizar es de 2.45, la resistencia del suelo estabilizado al 4%, 8% y 12% es de 7.70, 13.90 y 22.50 respectivamente." (p. 108).

2.1.3 A nivel regional

(Gonzales, 2018) en su investigación denominada "Análisis experimental de suelos estabilizados con ceniza volante, cemento y cal para subrasante mejorada de pavimentos en la Ciudad de Puno" concluye que "La combinación de ceniza volante, cemento y cal con el material de cantera funciona como un material estabilizador disminuyendo los efectos de plasticidad; teniendo una disminución del Índice de Plasticidad para la M-03 en 7.63% y para la M-04 en 8.81%." (p. 90).

Así mismo (Hanco, 2021) en su investigación denominada "Estabilización de Suelos Cohesivos con Cal y Cemento para Mejorar la Subrasante de la Avenida Santa Rosa, Puno, 2021" concluye que "la cal y el cemento combinados realizan grandes cambios significativos en materiales críticos como es un suelo cohesivo con alta plasticidad y baja resistencia." (p. 117).

Finalmente (Yana, 2021) en su investigación denominada "Efectos del uso de cemento en la estabilización de suelos dispersivos de la carretera Desvío Desaguadero - Kelluyo, Puno



2021" concluye que "debido a la reacción puzolánica del cemento y las partículas de la arcilla dispersiva, las propiedades dispersivas, los límites de consistencia, la capacidad de soporte (CBR) y la resistencia a la compresión uniaxial (CNC) se alteraron lo suficiente y el suelo se convirtió en un material aceptable y seguro para construir cualquier obra civil sobre este" (p. 173).

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Metodología de Superficie de Respuesta (MSR)

La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) según (Gutierrez & De la Vara, 2008) es la "estrategia experimental y de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, es decir, aquellas que dan por resultado -valores óptimos- de una o varias características de calidad del producto." (p. 386).

Así mismo para (Kuehl, 2001) la superficie de respuesta "permite que el investigador inspeccione, de manera visual, la respuesta para cierta zona de los niveles de los factores de interés y evaluar su sensibilidad a los factores de tratamiento" (p. 424).

En esa misma línea (Montgomery, 2004) indica que la MSR es "una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y el análisis de problemas en los que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables y donde el objetivo es optimizar la respuesta" (p. 427).

2.2.1.1 Elementos de la MSR

La metodología de superficie de respuesta (MSR) involucra tres aspectos importantes que son: diseño, modelo y técnica de optimización. Al respecto (Gutierrez & De la Vara, 2008) indican lo siguiente "El diseño y el modelo se piensan al mismo tiempo, y dependen del tipo de comportamiento que se espera en la respuesta. De manera específica, el modelo puede ser de primero o segundo orden; por ello, el tipo de diseño utilizado y el método de optimización se clasifican, según sea el caso, como de primero o segundo orden." (p. 389).



A continuación, se detallan los aspectos antes nombrados para su mayor comprensión:

- a) Diseño: Según (Gutierrez & De la Vara, 2008) es el “experimento apropiado basado en el conocimiento actual acerca de la posible ubicación del punto óptimo y el modelo de regresión que se quiere ajustar” (p.389).
- b) Modelo: para (Gutierrez & De la Vara, 2008) es la “ecuación matemática que relaciona la variable de respuesta con los factores estudiados en el diseño. Por lo general es un modelo de regresión múltiple” (p.389).
- c) Optimización: Según (Gutierrez & De la Vara, 2008) es la “Técnica matemática que sirve para extraer la información sobre el punto óptimo que tiene el modelo ajustado” (p.389).

2.2.1.2 Diseños de superficie de respuesta

Los diseños de superficie de respuesta por lo general se clasifican según el grado del modelo a utilizarse en la experimentación, al respecto (Gutierrez & De la Vara, 2008) mencionan que “los diseños proporcionan los tratamientos a correr para generar datos que permitan ajustar un modelo que describa una variable de respuesta en una región experimental.” (p. 413).

También se debe tener en cuenta que los diseños deberán tener algunas propiedades que resultan necesarias o deseables para su aplicación, estas pueden ser:

- El diseño deberá generar una serie de puntos y/o corridas experimentales que puedan abarcar la región de experimentación y contar con una simetría respecto al centro de este.
- El diseño deberá contar con una cantidad mínima de corridas experimentales que puedan ayudar en la generación de un modelo lo más cercano a la realidad,



evidentemente siempre puede existir la insolvencia de recursos para realizar cada prueba, por ello es importante tener un conocimiento previo del tema de investigación para una buena selección del diseño de superficie de respuesta.

- El diseño deberá dar opción a poder generar un diseño de mayor orden a partir de uno inicial.
- El diseño deberá poder identificar la falta de ajuste y proporcionar un estimador de varianza, por ello es necesario contar con repeticiones en el centro del diseño.
- Finalmente es recomendable que el diseño cuentes con las propiedades de Ortogonalidad y rotabilidad; al respecto sobre la Ortogonalidad (Gutierrez & De la Vara, 2008) mencionan que “los coeficientes estimados en el modelo ajustado no están correlacionados entre sí, lo cual hace que el efecto de cada término, representado por el parámetro correspondiente, se estime de manera más precisa.” (p. 413).

Y sobre la rotabilidad mencionan lo siguiente “Un diseño se llama rotable si la varianza de $Y=f(x)$ sólo depende de la distancia del punto x al centro del diseño y no de la dirección en la que se encuentra” (p. 413).

Relación modelo-diseño

Los diseños de superficie de respuesta tienen una relación directa con los modelos a los cuales se intentan ajustar, es decir si un diseño experimental solo otorgara información en función a la cantidad de corridas asociadas al modelo del mismo como se puede evidenciar a continuación:

Figura 1
Relación diseño-modelo.

DISEÑO	MODELO ASOCIADO
	$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \varepsilon$ <p>(primer orden)</p>
	$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \text{curvatura} + \varepsilon$ <p style="text-align: center;"> $\beta_{11} x_1^2 \text{ o } \beta_{22} x_2^2$</p>
	$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \varepsilon$ <p>(segundo orden)</p>

Nota: (Gutierrez & De la Vara, 2008)

Diseños de primer orden

Según (Gutierrez & De la Vara, 2008) los diseños de primer orden son “diseños para ajustar modelos en los que sólo son importantes los efectos principales y no existen efectos de interacción.” (p. 415).

A continuación, se mencionan los diseños de primer orden más utilizados:

- Diseños factoriales 2^k
- Diseños factoriales fraccionados 2^{k-p}
- Diseño de Plackett-Burman
- Diseño simplex



Diseños de segundo orden

Según (Gutierrez & De la Vara, 2008) los diseños de segundo orden son los que “permiten estudiar efectos lineales, de interacción y efectos cuadráticos o de curvatura pura.” (p. 415).

Los diseños de segundo orden más utilizados son el Box-Behnken y el Diseño de composición central, este último es que utilizaremos en la presente investigación por tanto se procede a detallar algunos aspectos de este.

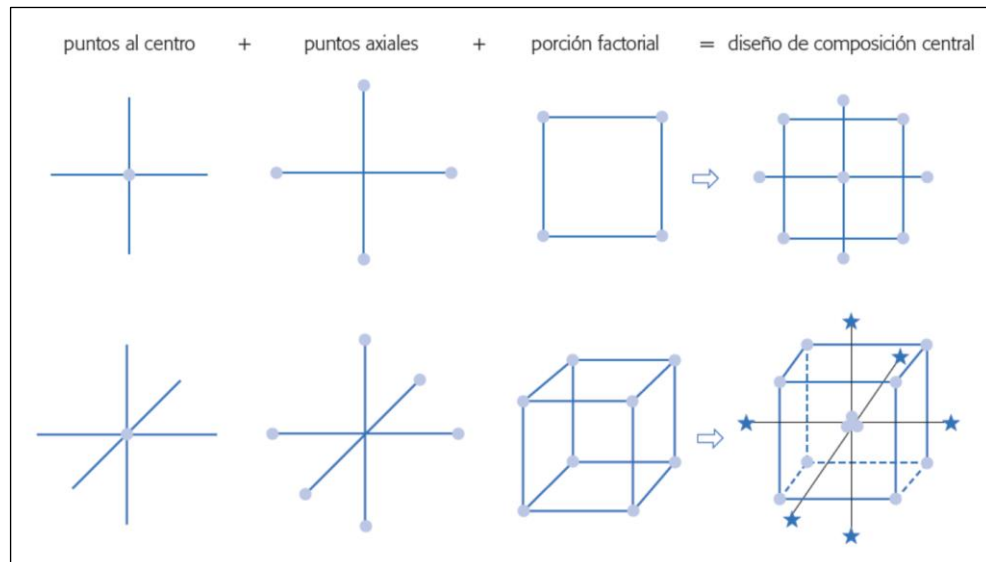
a) Diseño de composición central (DCC)

Según (Kuehl, 2001) los diseños centrales compuestos son “diseños de tratamientos factoriales 2^n con $2n$ combinaciones adicionales, llamadas puntos axiales, a lo largo de los ejes coordinados de los niveles de factor codificados” (p. 431).

A continuación, en la Figura 2 se muestra las representaciones gráficas de los diseños de composición central.

Figura 2

Representación y construcción de los DCC para $k = 2$ y 3 factores.



Nota: (Gutierrez & De la Vara, 2008)

Para los diseños de composición central (DCC) se recomienda tener en cuenta el número de corridas detallado en la Tabla N° 1.

Tabla 2
Número de corridas en los diseños de segundo orden.

Numero de factores	Diseño de composición central
2	13-16
3	17-23
4	27-36
5	29-36
6	47-59

Nota: (Gutierrez & De la Vara, 2008)

2.2.1.3 Modelos

Los modelos utilizados en la metodología de superficie de respuesta (MSR) son generalmente polinomios de primero orden o de segundo orden, en este último para ver los puntos óptimos que pueden ser mínimos o máximos según sea el caso de estudio.

Al respecto (Kuehl, 2001) indica que los modelos polinomiales “se usan como aproximaciones prácticas a la función de respuesta verdadera o real. En general, la

función real se desconoce y las funciones polinomiales con frecuencia proporcionan buenas aproximaciones en zonas relativamente pequeñas de los niveles de los factores cuantitativos.” (p. 424).

En esa misma línea (Montgomery, 2004) sostiene que “es probable que un modelo polinomial sea una aproximación razonable de la verdadera relación funcional en el espacio completo de las variables independientes ...” (p. 429).

Y respecto a los tipos de modelos a utilizar y su aplicabilidad (Melo, López, & Melo, 2020) sostiene que “Usualmente, se inicia con un diseño de primer orden y en la cercanía del óptimo se usa un diseño de segundo orden, rara vez se utiliza un diseño de tercer orden; esto es por considerar que el óptimo será un máximo o un mínimo absoluto” (p. 543).

De lo anterior podemos definir que se tendrán básicamente dos tipos de modelos frecuentemente utilizados para la optimización de resultados, los cuales son el modelo de primer orden dado por la siguiente expresión:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i$$

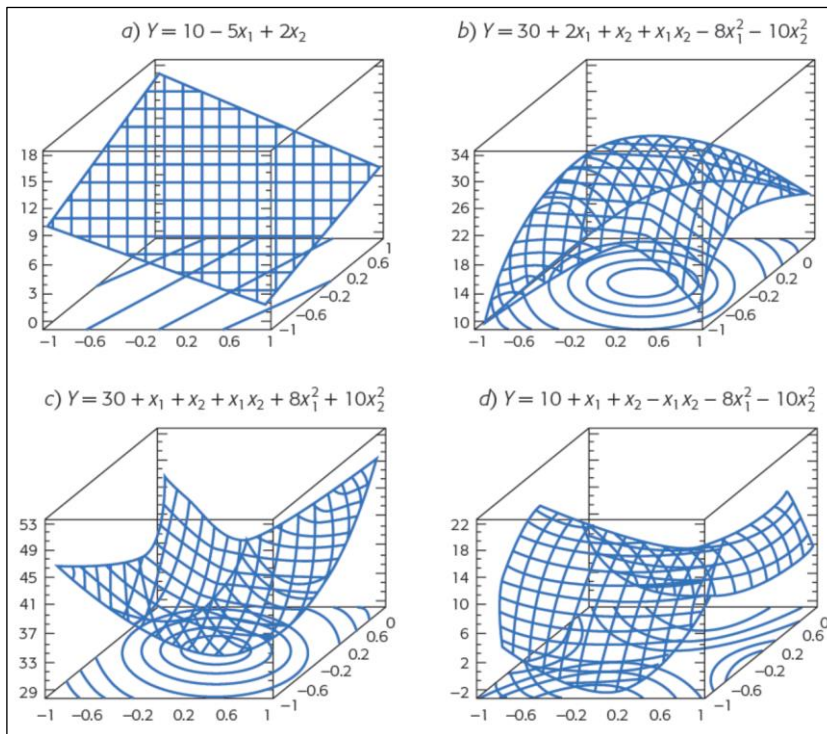
Y el modelo de segundo orden dado por la siguiente expresión:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j$$

A continuación, en la Figura N° 1 se presenta una serie de representaciones graficas en alusión a los modelos de primer orden y segundo orden.

Figura 3

Superficies de respuesta: a) descrita por un modelo de primer orden; b), c) y d) descritas por modelos de segundo orden.



Nota: (Gutierrez & De la Vara, 2008)

2.2.1.4 Optimización

Posterior a la evaluación del diseño y el modelo de la superficie de respuesta se procede a la optimización de la misma, para ubicar los puntos donde se nos proporcionen los valores óptimos de respuesta en función a determinadas combinaciones de los factores independientes.

Sobre este punto (Gutierrez & De la Vara, 2008) indica lo siguiente “se procede a encontrar la combinación de niveles en los factores que dan por resultado un valor óptimo de la respuesta, o bien, para determinar la dirección óptima de movimiento en la que se debe experimentar en el futuro.” (p. 393).

Así mismo para la optimización de los modelos se tienen los siguientes métodos:

- Escalamiento ascendente (o descendente)
- Análisis canónico
- Análisis de cordillera



2.2.2 Análisis de regresión

El análisis de regresión según (Gutierrez & De la Vara, 2008) tiene como objetivo “modelar en forma matemática el comportamiento de una variable de respuesta en función de una o más variables independientes (factores).” (p. 340).

Así mismo (Montgomery, 2004) indica lo siguiente “en muchos problemas hay dos o más variables relacionadas, y el interés se centra en modelar y explorar esta relación” (p. 392)

2.2.2.1 Regresión lineal múltiple

(Gutierrez & De la Vara, 2008) manifiesta que en muchos contextos “existen varias variables independientes que se cree que influyen o están relacionadas con una variable de respuesta Y, y por lo tanto será necesario tomar en cuenta si se quiere predecir o entender mejor el comportamiento de Y.” (p. 360).

En esa misma línea (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012) indican que “en la mayoría de los problemas de investigación en los que se aplica el análisis de regresión se necesita más de una variable independiente para el modelo de regresión” (p. 443).

De lo anterior podemos deducir que para una variable Y de tipo respuesta, existen una serie de variables independientes $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$, en consecuencia, el modelo de regresión lineal múltiple con “k” variables regresoras se define como un polinomio de primer orden como se muestra a continuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

De esta expresión se desprende que los β_j son los coeficientes de regresión del modelo, el mismo que es un polinomio de primer orden.

En muchos de los casos es preciso realizar un polinomio de segundo orden para el modelo de regresión en el entendido que la relación es cuadrática entre “Y” y las variables independientes; en ese sentido la expresión para dos variables independientes sería la siguiente:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2$$

Y en general la expresión para los modelos de regresión múltiple sería la siguiente:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ji}$$

Donde $i = 1, 2, \dots, n$

2.2.3 Análisis de varianza (ANOVA)

Según (Rodríguez L. , 2007) el análisis de varianza “es un procedimiento mediante el cual la variación total de la variable dependiente se subdivide en componentes significativos, que luego se observan y se tratan en forma sistemática” (p. 290).

En esa misma línea para (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012) el análisis de varianza “es un procedimiento mediante el cual la variación total de la variable dependiente se subdivide en componentes significativos, que luego se observan y se tratan en forma sistemática” (p. 414).

Para verificar si un modelo puede explicar la variación de forma significativa se toma una hipótesis de la siguiente forma:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k = 0$$

Es así que el análisis de varianza involucra una prueba F, con una tabla desarrollada de la siguiente manera:

Tabla 3
Análisis de varianza para una prueba F.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F
Regresión	SCR	k	$CMR = \frac{SCR}{k}$	$f = \frac{CMR}{CME}$
Error	SCE	$n - (k + 1)$	$CME = \frac{SCE}{n - (k + 1)}$	
Total	STCC	$n - 1$		



Nota: (Walpole & Myers, 2012)

Lo anterior se trata de una prueba de cola superior. El rechazo de la hipótesis H_0 significa que la ecuación de regresión difiere de una constante. En otras palabras, al menos una de las variables regresoras es importante en el modelo planteado.

2.2.3.1 Coeficiente de determinación (R^2)

Para (Rodríguez L. , 2007) el coeficiente de determinación es “es otra medida de la relación lineal entre las variables (X) y (Y). Es útil para interpretar la eficiencia del modelo de mínimos cuadrados para explicar la variación de la variable de respuesta.” (p. 316).

La misma se encuentra definida por la siguiente expresión:

$$r^2 = \frac{SCR}{SCT} , \quad 0 \leq r^2 \leq 1$$

Para una breve explicación se puede decir que si el valor de r^2 se encuentra muy próximo a 1 significaría que el modelo utilizado se ajusta de manera eficiente a los datos tomados en la investigación.

2.2.4 Método de los mínimos cuadrados

El método de los mínimos cuadrados es un método de larga data, el mismo ha sido desarrollado por el matemático Carl Friedrich Gauss, sobre este método (García C. , 1990) sostiene que “de todas las rectas (en general, curvas) la que mejor se ajuste a la nube de puntos es aquella que hace mínima la suma de los cuadrados de las distancias verticales de los puntos a la recta (o curva)” (p. 159).

Considerando lo siguiente:

$$\hat{y} = a + bx$$



Se tiene que la ecuación anterior es la recta de regresión, donde “a” es el estimador de A y “b” es el estimador de B, también denominados estimadores de mínimos cuadrados por la metodología que se está desarrollando.

La diferencia entre “y” y \hat{y} , se denota por la letra “e”, esta se denomina como residual y se expresa de la siguiente manera:

$$e = y - \hat{y} = y - a - bx$$

$$e_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - a - bx_i ; \quad i = 1, 2, \dots , n$$

Ahora se procede a estimar los parámetros A y B por el método de los mínimos cuadrados como sigue a continuación:

Sea:

$$q = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

Considerando el método de los mínimos cuadrados tenemos:

$$q = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \min$$

$$q = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 = \min$$

Como “q” es una función directa de “a” y “b”, para cumplir con las condiciones de mínimos procedemos a aplicar derivadas parciales como sigue a continuación:

$$\frac{\partial q}{\partial a} = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) (-1) = 0$$

$$\frac{\partial q}{\partial b} = 0$$



$$\frac{\partial q}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) (-x_i) = 0$$

Las ecuaciones anteriores las podemos reescribir de la siguiente manera:

$$an + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

Esto último en notación matricial sería de la forma:

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{bmatrix}$$

Esta última expresión se denomina "Sistema de ecuación normales".

Ahora para el caso de la regresión lineal múltiple las ecuaciones normales, se expresan de la siguiente manera:

$$BX = Y$$

Donde:

$$B = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}$$

$$Y = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{1i}y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ki}y_i \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n n & \sum_{i=1}^n x_{1i} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ki} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i}y_i & \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 & \dots & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{ki} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_{ki} & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{ki} & \dots & \sum_{i=1}^n x_{ki}^2 \end{bmatrix}$$

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Agua

Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) indica que el agua es un "líquido inodoro, incoloro e insípido, ampliamente distribuido en la naturaleza. Representa alrededor del 70% de la superficie de la tierra" (p. 300).

Cemento portland

(Pasquel, 1998) menciona que el cemento portland es "un aglomerante hidrófilo, resultado de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua endurece adquiriendo propiedades resistentes y adherentes" (p. 17).

Curado



Según (IECA, 2013) el curado “se puede realizar manteniendo la superficie húmeda mediante un riego con agua pulverizada, o bien extendiendo una emulsión bituminosa de rotura rápida y baja viscosidad ...” (p. 8).

Estabilización de suelos

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) define la estabilización de suelos como “el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizadores, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre ...” (p. 92).

Suelos estabilizados con cemento

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) define este tipo de producto como “... el obtenido de la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado endurecido, mucho más resistente.” (p. 102).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque utilizado en la presente investigación es el "Cuantitativo" debido a que se realizara un conjunto de etapas y/o fases en orden sucesivo, todo esto en concordancia a lo descrito por (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) quien indica lo siguiente "el enfoque cuantitativo representa, como dijimos, un conjunto de procesos que es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos eludir pasos" (p. 04).

Así mismo uno de los objetivos de las investigaciones cuantitativas según (Baena, 2017) es la de "Indicar las posibilidades de aplicar en la práctica las leyes sobre la naturaleza que han sido identificadas" (p. 34).

Del mismo modo (Bernal, 2010) indica lo siguiente "en su forma general, la investigación cuantitativa parte de cuerpos teóricos aceptados por la comunidad científica" (p. 60).

De lo expuesto anteriormente se deduce que las investigaciones de enfoque cuantitativo tienen como finalidad aplicar los conocimientos ya existentes (aceptados y reglamentados) para poder definir determinados fenómenos existentes o concebidos en las investigaciones, sin olvidar que la experimentación deberá realizarse mediante un conjunto de procesos (fases y/o etapas) definidos en un orden determinado, esto último aunado a que



la presente investigación se realiza en el ámbito de la ingeniería, y teniendo en cuenta que la misma es la aplicación del conocimiento para la solución de problemas existentes en el medio ambiente.

3.2 MÉTODO APLICADO EN LA INVESTIGACIÓN

Para (Calduch, 2003) el método de investigación es el “conjunto de tareas o procedimientos y de técnicas que deben emplearse, de una manera coordinada, para poder desarrollar en su totalidad el proceso de investigación” (p. 23).

Dentro de los métodos de investigación científica se pueden identificar una variedad, los mismos que están en función a las características particulares de cada investigación, teniendo en cuenta esto último y verificando que la presente investigación contempla la comprobación de la relación existente entre variables que intervienen en la estabilización de suelos para bases granulares de carreteras no pavimentadas, en ese sentido (Vara, 2010) nos indica que el método analítico como método científico nos “permite descubrir las principales relaciones de causalidad que existen entre los sucesos o variables de la realidad investigada. Se convierte así en un método fundamental para toda investigación científica o académica” (p. 25).

3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene por objeto exponer la relación que existe entre las variables porcentaje de cemento y días de curado con respecto a la resistencia a la compresión simple de los suelos estabilizados para bases granulares de carreteras no pavimentadas en ese sentido según (Salkind, 1998) la investigación correlacional “tiene como propósito mostrar o examinar la relación entre variables o resultados de variables” (p. 12).

Así mismo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) indica que los estudios correlacionales tienen como propósito conocer “la relación o grado de asociación que exista entre dos variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la



relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre varias variables." (p. 93).

3.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Según (Arias, 2012) la investigación explicativa "se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas, como de los efectos, mediante la prueba de hipótesis" (p. 26).

De otro lado (Vara, 2010) explica que "las investigaciones explicativas son altamente complejas, y como tales, también exploran, describen y establecen correlaciones" (p. 196).

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tiene por finalidad identificar la relación existente o no entre las variables independientes "porcentaje de cemento" y "días de curado" con la variable dependiente "resistencia a la compresión simple", y de esta manera poder obtener la optimización de las variables en función a un requerimiento técnico establecido en la Norma Técnica Peruana (MTC E 1103) para bases granulares estabilizadas con cemento.

En tal sentido el diseño a aplicarse en esta investigación es la "experimental", al respecto (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) menciona lo siguiente "se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes)" (p. 129).

Así mismo (Rodríguez & Valldeoriola, 2014) indica que las investigaciones experimentales "se caracterizan, básicamente, por la manipulación intencional de unas o más variables independientes, para observar/medir su influencia en una o más variables dependientes" (p. 32).



Del mismo modo (Supo, 2015) refiere que en “los estudios experimentales, necesariamente debe existir un argumento, una razón evidente que amerite una intervención sobre la variable causa para producir el efecto” (p. 35).

3.6 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.6.1 Población

Según (Balestrini, 2006) “una población o universo puede estar referido a cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación” (p. 137).

Para (Rodríguez E. , 2005) “población es el conjunto de mediciones que se pueden efectuar sobre una característica común de un grupo de seres u objetos” (p. 79).

En la presente investigación se utilizará la población se constituirá por las carreteras no pavimentadas de la provincia de Puno las mismas que son las siguientes: PU-118, PU-119, PU-121, PU-122 y PU-126.

3.6.2 Muestra

La muestra viene a ser una porción de la población que deberá ser obtenida considerando las características generales o específicas que se vayan a estudiar en una determinada investigación en ese sentido (Salinas, 2010) indica que “en ocasiones es necesario seleccionar una muestra o subconjunto de la población, debido a que no podemos, por falta de tiempo o recursos, abarcar el colectivo completo, como sería tal vez nuestra intención inicial e ideal” (p. 21).

Según (Ramírez, 2004) la muestra es “consiste en un grupo reducido de elementos de dicha población, al cual se le evalúan características particulares, generalmente -aunque no siempre-, con el propósito de inferir tales características a toda la población” (p. 55).



Así mismo para (Acho, 2018) la muestra es “un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus necesidades al que llamamos población” (p. 25).

En la presente investigación se tomará como muestra la carretera no pavimentada PU-121 (Empalme PE-34A – Cabana – Cahuaría – Llungo – Atuncolla – Empalme PE-3S).

3.7 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para determinar la relación entre las variables de estudio se deberá realizar la toma de datos de las canteras ubicadas en las carreteras no pavimentadas de la provincia de Puno, para esta recolección de información nos asistimos mediante el uso de las técnicas e instrumentos de investigación.

3.7.1 Técnica de la investigación

Según (Hadi, Martel, Huayta, Rojas, & Arias, 2023) la técnica de recolección de datos “es un proceso utilizado para reunir información relevante para investigación o estudio específico” (p. 55).

Para nuestro caso utilizaremos los procedimientos establecidos en los siguientes documentos técnicos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC):

- Documento Técnico, Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas (Resolución Directoral N° 003-2015-MTC/14 de fecha 06 de febrero del 2015).
- Manual de Carreteras, Especificaciones técnicas generales para construcción (Resolución directoral N° 22-2013-MTC/14 de fecha 17 de julio del 2013).
- Manual de Carreteras, Suelos geología, geotecnia y pavimentos – Sección suelos y pavimentos (Resolución Directoral N° 10-2014-MTC/14 de fecha 09 de abril del 2014).

3.7.2 Instrumentos de la investigación



Según (Hadi, Martel, Huayta, Rojas, & Arias, 2023) los instrumentos de investigación son “herramientas utilizadas para recolectar información o datos en un estudio o investigación” (p. 56).

En esa misma línea para (Herrera, 1998) un instrumento es una “técnica o conjunto de técnicas que permiten la asignación numérica a las magnitudes de la propiedad o atributo ya sea por comparación con las unidades de medida o para provocar y cuantificar las manifestaciones del atributo cuando éste es medible sólo de manera indirecta” (p. 13).

En la presente investigación utilizaremos los procedimientos y formatos establecidos en la norma técnica “Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas” del ministerio de Transportes y Comunicaciones respecto a la resistencia a la compresión simple para suelos estabilizados con cemento.

3.8 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO

3.8.1 Validación de los instrumentos

Según (Orellana, 2016) la validez de un instrumento es “cuando mide realmente aquello que intenta medir, es el grado con que el instrumento es capaz de lograr ciertos objetivos.” (p. 53).

En este punto se debe resaltar que los ensayos de laboratorio (ejecución y procesamiento) cumplen con las características requeridas respecto a la medición real de datos con la finalidad de lograr alcanzar determinados objetivos.

3.8.2 Confiabilidad de los instrumentos

La confiabilidad según (Kerlinger & Lee, 2002) es “la falta de distorsión o precisión de un instrumento de medición. Recuerde que una medida altamente confiable solo indica que está midiendo algo con precisión o de forma consistente” (p. 583).

En la misma línea de los autores precedentes se puede manifestar que los ensayos de laboratorio planteados para la ejecución de la presente investigación cumplen con el



requerimiento de confiabilidad debido a que los mismos están estandarizados según las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para su ejecución y procesamiento de datos.

3.9 DISEÑO DE LA ESTRATEGIA PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

En la presente investigación se utilizará la metodología de superficie de respuesta (MSR) que nos ayuda en mejorar y optimizar procesos existentes como es el diseño de la mezcla suelo cemento para la conformación de bases granulares en carreteras no pavimentadas.

La MSR utiliza una serie de técnicas matemáticas y estadísticas para la obtención y comprensión de sus resultados, como base de cálculo se utilizará una función de segundo orden para verificar los efectos lineales, efectos de interacción y los efectos de curvatura o cuadráticos, el mismo que está determinado por la siguiente expresión:

$$Y = \beta_o + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

Finalmente, los resultados serán revisados mediante la prueba ANOVA o análisis de varianza para verificar si los mismos son significativos.

En virtud de lo anterior en la presente investigación utilizaremos el diseño de composición central (DCC), para lo cual se realizarán un total de 13 corridas para cada cantera de la carretera PU-121 (Empalme PE-34A – Cabana – Cahuaría – Llungo – Atuncolla – Empalme PE-3S), tomando como referencia lo descrito en la Tabla N° 1.

Las variables codificadas son las siguientes:

$$X_1 = \frac{\%C - 3.5}{1.5}$$

$$X_2 = \frac{DC - 7}{2}$$

Tabla 4

Número de corridas en los diseños de segundo orden.

N°	Variables Codificadas		Variables Naturales	
	X ₁	X ₂	Cemento (%)	Curado (días)
1	-1	-1	2	5
2	-1	1	2	9
3	1	-1	5	9
4	1	1	5	5
5	-2.5	0	1	7
6	2.5	0	6	7
7	0	-2.5	3.5	4.5
8	0	2.5	3.5	9.5
9	0	0	3.5	7
10	0	0	3.5	7
11	0	0	3.5	7
12	0	0	3.5	7
13	0	0	3.5	7

Nota: Elaboración propia.

Para el modelo utilizaremos el de segundo orden (cuadrática) como se muestra a continuación en notación matemática:

$$q_u = f_{(C,D)}$$

$$q_u = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 D + \beta_3 CD + \beta_4 C^2 + \beta_5 D^2$$

Donde:

Qu : Resistencia a la compresión simple

C : Porcentaje de cemento

D : Días de curado



Para la optimización de la resistencia a la compresión simple se utilizará la herramienta SOLVER que viene incluido en el software Ms Excel, al respecto (Gutiérrez, 2021) menciona que el objetivo de la esta herramienta es "... realizar problemas de optimización de programación lineal continua, en enteros y programación no lineal." (p. 3).



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1

2

3

4

4.1 PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

4.1.1 *Muestreo de material*

La Provincia de Puno cuenta dentro de sus ejes viales a varias rutas de orden departamental, que a su vez han sido intervenidos mediante el mejoramiento de soluciones básicas (base estabilizada + recubrimiento superficial), estas soluciones han podido mejorar las condiciones de transitabilidad y seguridad de las vías respecto a sus condiciones iniciales, así mismo es evidente que en un futuro según el aumento del tráfico vehicular será necesario la intervención de las mismas mediante soluciones definitivas.

Luego de la revisión de las vías existentes con intervención mediante soluciones básicas en base al documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas" del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) se seleccionó la Ruta Departamental PU 121 que inicia en el límite con la Provincia de San Román y termina en el empalme con la ruta nacional PE-3S (desvío Atuncolla), esta ruta ha sido intervenida en el año 2022 mediante

el Servicio Pro Región Puno Paquete 02 por cual cuenta con sus estudios de caracterización de suelos y diseño suelo-cemento para la cantera ubicada en el Km 12+280 la cual utilizaremos en la presente investigación con la finalidad de realizar la optimización del diseño para la base granular estabilizada con cemento.

La ubicación se muestra en la Figura 4 como sigue a continuación:

Figura 4

Ubicación de la cantera Km 12+280 (PU-121).



Nota: Google Earth (2024).

Figura 5

Muestreo de material en cantera (Km 12+280).



Nota: Elaboración propia.

4.1.2 Ensayos de laboratorio

Posteriormente realizamos el moldeo de las probetas de suelo-cemento según el diseño planteado para la investigación como se muestra en la Tabla N° 4.

Tabla 5

Ensayos requeridos según el diseño de composición central (DCC).

N° DE ENSAYO	VARIABLES CODIFICADAS		VARIABLES NATURALES		CLASIFICACIÓN DE PUNTOS SEGÚN EL DISEÑO
	% de Cemento	Días de curado	% de Cemento	Días de curado	
	X1	X2	X1	X2	
1	-1	-1	2%	5	Punto Factorial
2	-1	1	2%	9	Punto Factorial
3	1	-1	5%	9	Punto Factorial
4	1	1	5%	5	Punto Factorial
5	-2.5	0	1%	7	Punto Axial
6	2.5	0	6%	7	Punto Axial
7	0	-2.5	3.5%	4.5	Punto Axial
8	0	2.5	3.5%	9.5	Punto Axial
9	0	0	3.5%	7	Punto Central
10	0	0	3.5%	7	Punto Central
11	0	0	3.5%	7	Punto Central
12	0	0	3.5%	7	Punto Central
13	0	0	3.5%	7	Punto Central

Nota: Elaboración propia.

Como se evidencia la cantidad de ensayos necesarios según el diseño planteado son un total de 13, sin embargo, para obtener mayor fiabilidad en los resultados se adicionarán un (01) ensayo en los puntos factoriales y axiales resultando así un total de 21 ensayos como se muestra en la Tabla 6.

Con los resultados obtenidos en los puntos factoriales y axiales se procederá a tomar la media aritmética de estos con lo cual se tendrá un valor promedio, y este valor que se obtenga en cada caso será el utilizado en el cálculo del modelo matemático, que en nuestro caso es de segundo orden con interacción y curvatura entre las variables con la finalidad de obtener un valor máximo para los valores óptimos de porcentaje de cemento y días de curado, así mismo este modelo será rotatable y central.

Tabla 6
Numero de ensayos realizados.

VARIABLES NATURALES		CLASIFICACION DE PUNTOS SEGÚN EL DISEÑO	CANTIDAD DE ENSAYOS
% de Cemento	Días de curado		
X1	X2		
2%	5	Punto Factorial	2
2%	9	Punto Factorial	2
5%	9	Punto Factorial	2
5%	5	Punto Factorial	2
1%	7	Punto Axial	2
6%	7	Punto Axial	2
3.5%	4.5	Punto Axial	2
3.5%	9.5	Punto Axial	2
3.5%	7	Punto Central	5
TOTAL			21

Nota: Elaboración propia.

La preparación de las probetas de suelo-cemento con las proporciones indicadas por el diseño se realizaron en conforme a lo indicado en la norma MTC E 1103 "RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO" del Manual de Ensayos de material del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Al respecto los especímenes se moldearon en moldes de 4" x 8" con una relación de la altura y diámetro igual 2, esto teniendo en cuenta que esta mayor relación da una mejor medida de la resistencia a la compresión desde un punto de vista técnico.

Figura 6

Moldeo de probetas de suelo-cemento.



Nota: Elaboración propia.

Figura 7

Curado y guardado de probetas de suelo-cemento.



Nota: Elaboración propia.

Para la rotura de los especímenes, se utilizó la máquina de ensayo operada por tornillo a una velocidad de 1mm (0.05 pulg) por minuto según lo estipulado en la norma MTC E 1103 (ver Figuras 8 y 9).

Figura 8
Dial analógico con aproximación 0.01mm.



Nota: Elaboración propia.

Figura 9
Rotura de probetas de suelo-cemento.



Nota: Elaboración propia.

De las probetas ensayadas se tomaron los siguientes datos: código de identificación, diámetro, altura, carga máxima de rotura y la edad del mismo, estos resultados son la base para el caculo del modelo matemático.

Figura 10
Probetas después del ensayo de compresión.



Nota: Elaboración propia.

4.1.3 Construcción del modelo

Para la presente investigación se ha planteado un MODELO DE SEGUNDO ORDEN con interacción entre las variables independientes cemento (%) y curado (días) como se muestra a continuación:

$$q_u = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 D + \beta_3 CD + \beta_4 C^2 + \beta_5 D^2$$

Como se evidencia en la ecuación anterior se tiene como variable dependiente o respuesta a la resistencia a la compresión (q_u) expresada en mega pascales (MPa), en la Tabla N° 7 se muestran los resultados para cada combinación planteada según el Diseño de Composición Central (DCC).

Tabla 7
Resultados de los ensayos de laboratorio.

N° DE ENSAYO	RESULTADOS EN VARIABLES NATURALES		
	Cemento	Curado	Resistencia a la Compresión
	X1	X2	Y
	C	D	q_u
	(gr)	(días)	(MPa)

1	76	5	2.2
2	76	9	1.9
3	190	9	4.6
4	190	5	3.9
5	38	7	1.3
6	228	7	5.6
7	133	4.5	2.7
8	133	9.5	2.6
9	133	7	4.3
10	133	7	4.6
11	133	7	4.6
12	133	7	4.3
13	133	7	4.5

Nota: Elaboración propia.

Luego de realizar el ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE se obtiene los seis (06) coeficientes de regresión planteados en el modelo matemático de segundo como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8
Coeficientes de regresión para el modelo planteado.

Coeficiente	Valor
β_0	-11.46029
β_1	0.03349
β_2	3.48957
β_3	0.00219
β_4	-0.00010
β_5	-0.26871

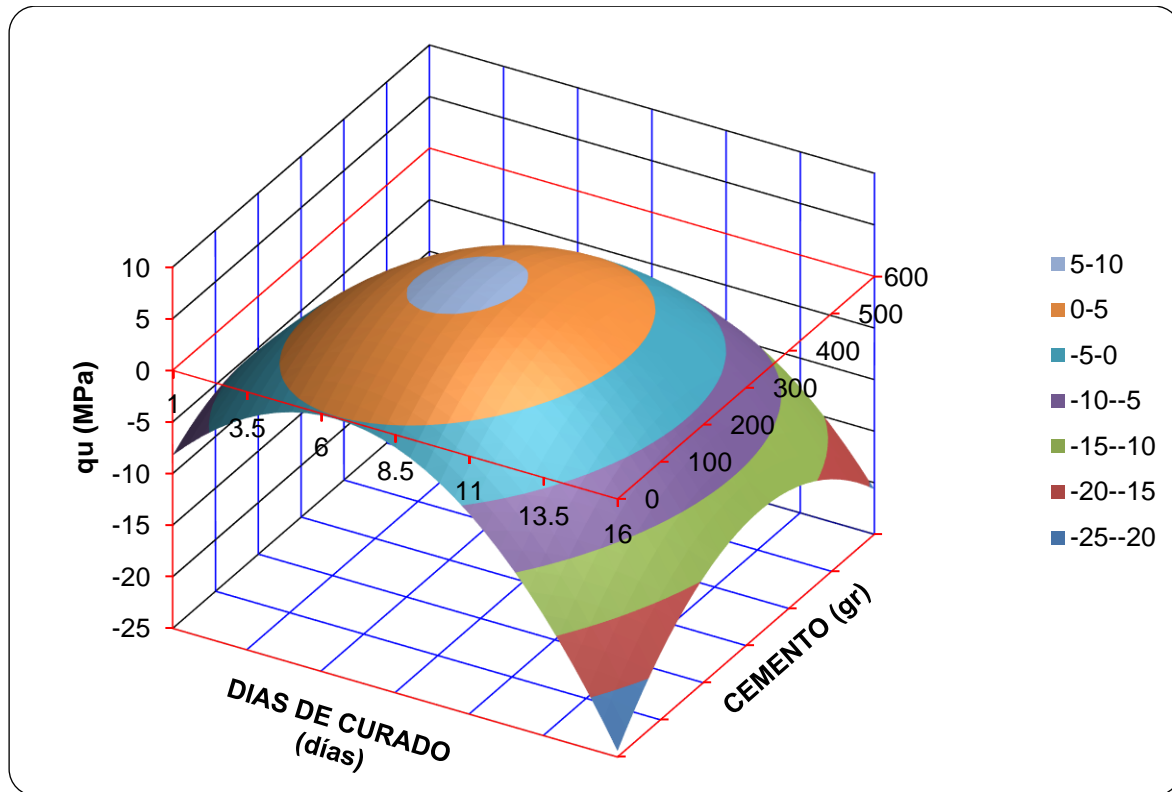
Nota: Elaboración propia.

Con los resultados mostrados en la Tabla N° 7 se representa la ecuación de regresión múltiple con efecto lineal, cuadrático e interacción.

$$q_u = -11.4603 + 0.0335C + 3.4896D + 0.0022CD - 0.0001C^2 - 0.2687D^2$$

Así mismo asignando valores para el porcentaje de cemento y días de curado en la ecuación anterior se obtiene el grafico de superficie de respuesta según el modelo calculado como se muestra continuación:

Figura 11
Superficie de respuesta del modelo de segundo orden.



Nota: Elaboración propia.

4.1.4 Revisión del modelo

Para la revisión del modelo matemático calculado se realiza el ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) donde se obtiene los siguientes resultados respecto al modelo planteado:

Contraste del modelo matemático: (verificación de F y F_0)

Hipótesis nula $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$

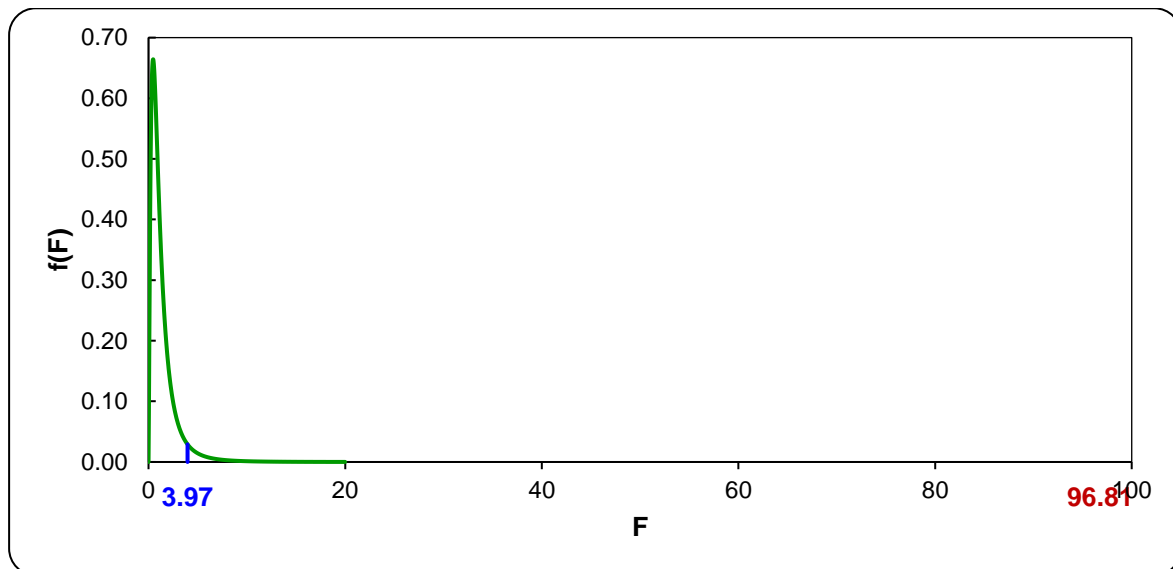
Hipótesis alternativa $H_a: \beta_i \neq 0$

Teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Grados de libertad del numerador $v_1 = 5$
- Grados de libertad del denominador $v_2 = 7$
- Significancia $\alpha = 95\%$

Los resultados obtenidos del contraste dan un valor para $F = 3.97$ la misma que se representa en la siguiente figura:

Figura 12
Distribución F para un nivel de significancia del 95%.



Nota: Elaboración propia.

Así mismo se obtiene el estadístico F_o del modelo matemático calculado para la prueba de hipótesis:

$$F_o = \frac{CM_R}{CM_E} = \frac{4.105}{0.042}$$

$$F_o = 96.81$$

Seguidamente luego de obtener F y F_o se verifica la siguiente condición $F_o > F$, por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_o) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a) que nos indica $\beta_i \neq 0$, dando como válido el modelo de segundo orden calculado.

Finalmente se presentan los siguientes parámetros estadísticos del modelo calculado:

Tabla 9
Parámetros estadísticos del modelo.

Parámetro estadístico	Símbolo	Valor
Coefficiente de determinación	R^2	0.99
Coefficiente de correlación múltiple	R	0.99



Media del error absoluto	mea	0.13
Erros estándar de estimación	σ	0.21

Nota: Elaboración propia.

4.1.5 Implementación de la MSR en el cálculo del porcentaje óptimo de cemento de los suelos estabilizados con cemento.

Para validar la implementación de la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) inicialmente se tiene que verificar la incidencia del porcentaje de cemento (C) en la ecuación obtenida en el numeral 4.1.3, esta verificación se realiza mediante la prueba de los coeficientes de regresión en los cuales está involucrado el porcentaje de cemento (C) mediante la prueba T-Student, los coeficientes de regresión a revisar son β_1 , β_3 , β_4 .

$$q_u = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 D + \beta_3 CD + \beta_4 C^2 + \beta_5 D^2$$

$$q_u = -11.4603 + 0.0335C + 3.4896D + 0.0022CD - 0.0001C^2 - 0.2687D^2$$

Prueba del coeficiente β_1 : (verificación de t y to)

$$H_0: \beta_1 = 0$$

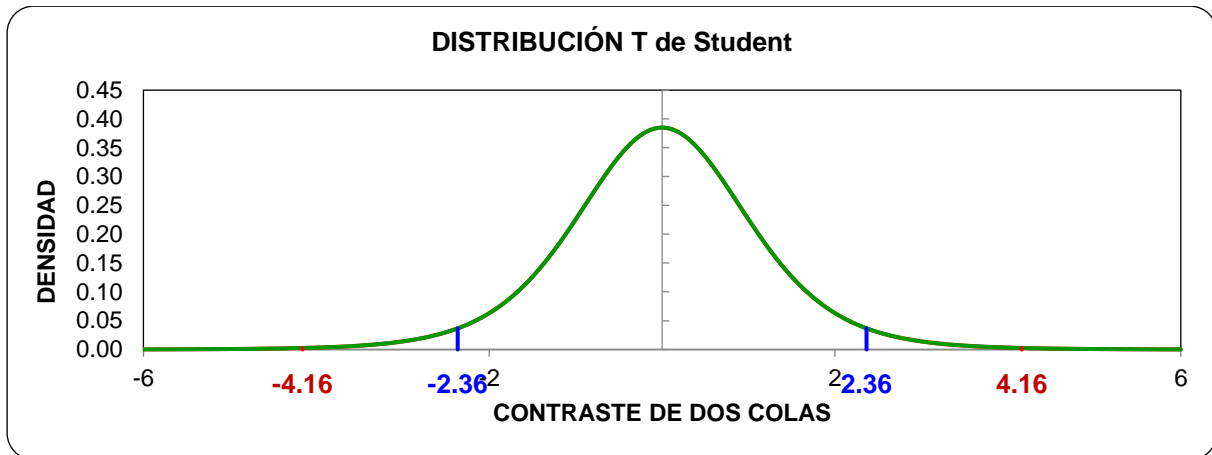
$$H_a: \beta_1 \neq 0$$

Teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Grados de libertad n-k-1 = 7
- Significancia de 95% $\alpha = 5\%$

Se obtiene un valor para t = 2.36 de la distribución T-Student la misma que se representa en la siguiente figura:

Figura 13
Distribución T-Student de β_1 para $\alpha = 5\%$.



Nota: Elaboración propia.

Así mismo se obtiene el estadístico “to” del modelo matemático calculado para la prueba del coeficiente:

$$t_o = \frac{\widehat{\beta}_k}{\sqrt{CM_E C_{k+1,k+1}}} = \frac{0.0335}{\sqrt{(0.04)(0.0015)}}$$
$$t_o = 4.16$$

Seguidamente luego de obtener t y to se verifica la siguiente condición $|t_o| > t$, por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a) que nos indica $\beta_1 \neq 0$, así mismo se tiene un p-value igual a 0.0042 lo cual nos indica la alta incidencia del porcentaje de cemento (C) en su componente lineal para el modelo matemático calculado.

Prueba del coeficiente β_3 : (verificación de t y to)

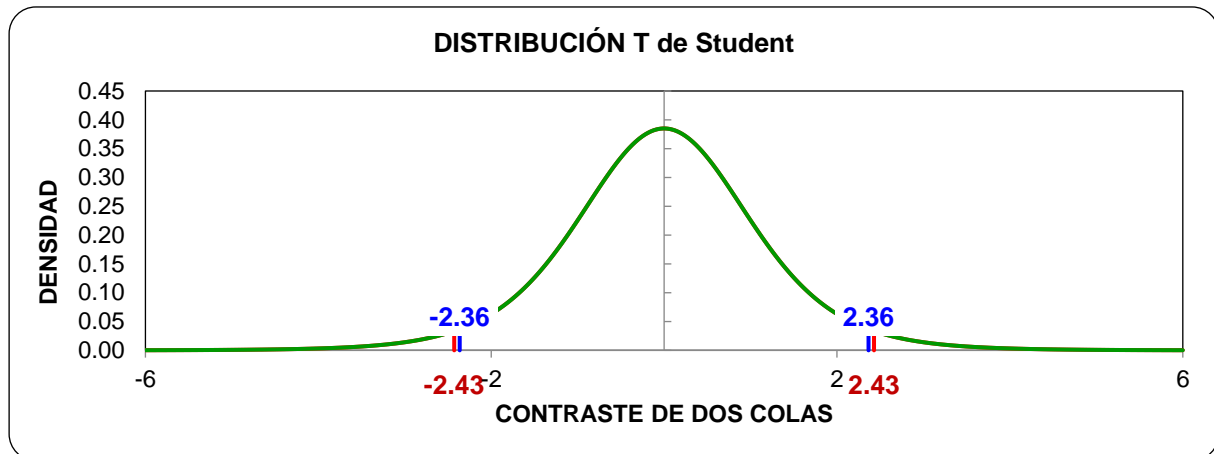
$H_0: \beta_3 = 0$

$H_a: \beta_3 \neq 0$

Teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Grados de libertad $n-k-1 = 7$
- Significancia de 95% $\alpha = 5\%$

Se obtiene un valor para $t = 2.36$ de la distribución T-Student la misma que se representa en la siguiente figura:

Figura 14Distribución T-Student de β_3 para $\alpha = 5\%$.

Nota: Elaboración propia.

Así mismo se obtiene el estadístico "to" del modelo matemático calculado para la prueba del coeficiente:

$$t_o = \frac{\widehat{\beta}_k}{\sqrt{CM_E C_{k+1,k+1}}} = \frac{0.0022}{\sqrt{(0.04)(0.000019237)}}$$

$$t_o = 2.43$$

Seguidamente luego de obtener t y to se verifica la siguiente condición $|t_o| > t$, por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a) que nos indica $\beta_3 \neq 0$, así mismo se tiene un p-value igual a 0.0455 lo cual nos indica la alta incidencia del porcentaje de cemento (C) en su componente de interacción junto con los días de curado (D) para el modelo matemático calculado.

Prueba del coeficiente β_4 : (verificación de t y to)

$$H_0: \beta_4 = 0$$

$$H_a: \beta_4 \neq 0$$

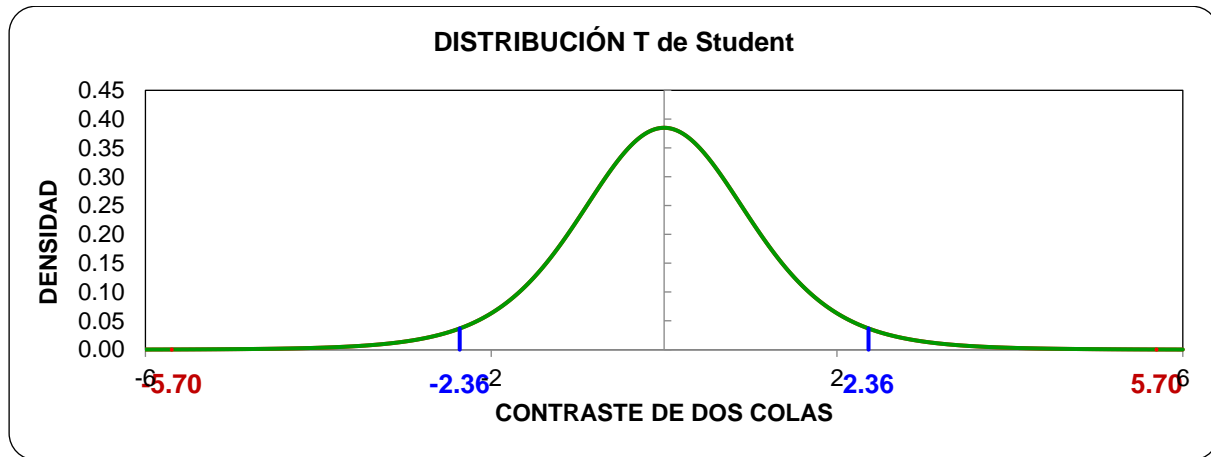
Teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Grados de libertad $n-k-1 = 7$
- Significancia de 95% $\alpha = 5\%$

Se obtiene un valor para $t = 2.36$ de la distribución T-Student la misma que se representa en la siguiente figura:

Figura 15

Distribución T-Student de β_4 para $\alpha = 5\%$.



Nota: Elaboración propia.

Así mismo se obtiene el estadístico " t_0 " del modelo matemático calculado para la prueba del coeficiente:

$$t_0 = \frac{\widehat{\beta}_k}{\sqrt{CM_E C_{k+1, k+1}}} = \frac{-0.0001}{\sqrt{(1.822^{-5})(7.829^{-9})}}$$
$$t_0 = -5.70$$

Seguidamente luego de obtener t y t_0 se verifica la siguiente condición $|t_0| > t$, por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a) que nos indica $\beta_4 \neq 0$, así mismo se tiene un p-value igual a 0.0007 lo cual nos indica la alta incidencia del porcentaje de cemento (C) en su componente cuadrático para el modelo matemático calculado.

Finalmente, luego de haber verificado que el porcentaje de cemento (C) tiene una incidencia significativa en el cálculo de la resistencia a la compresión simple se procedió a optimizar el mismo según la normativa vigente para base granular de carreteras no pavimentadas.



Según el documento técnico “Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas” el requerimiento mínimo para el ensayo resistencia a la compresión simple es de 1.80 MPa, teniendo en cuenta que siempre debe considerarse un factor de seguridad al momento de cumplir con la normativa en tal sentido se asumió un valor de 2.00 MPa.

Mediante el modelo matemático obtenido se calcularon distintos valores para la Resistencia a la Compresión Simple (q_u), este cálculo se realizó asignando distintos valores para el Porcentaje de cemento (C) y los Días de curado (D), el rango de valores lo podemos tomar como referencia del grafico mostrado en la Figura 11, debido a que la superficie de respuesta cuenta con una serie de curvas de nivel, cada curva de nivel representa un valor para la resistencia a la compresión simple como respuesta a una determinada combinación del porcentaje de cemento y los días de curado.

Los resultados de obtenidos como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Distribución de la resistencia a la compresión simple (MPa) para distintos valores del porcentaje de cemento y días de curado.

		Días de curado (D)								
		4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
Porcentaje de cemento (C)	1.05%	-0.28	0.37	0.88	1.26	1.5	1.61	1.59	1.43	1.13
	1.11%	-0.21	0.44	0.95	1.33	1.58	1.69	1.67	1.51	1.22
	1.16%	-0.14	0.51	1.02	1.41	1.66	1.77	1.75	1.59	1.30
	1.21%	-0.08	0.58	1.10	1.48	1.73	1.85	1.83	1.67	1.39
	1.26%	-0.01	0.64	1.16	1.55	1.80	1.92	1.91	1.75	1.47
	1.32%	0.05	0.71	1.23	1.62	1.88	2.00	1.98	1.83	1.55
	1.37%	0.12	0.78	1.30	1.69	1.95	2.07	2.06	1.91	1.63
	1.42%	0.18	0.84	1.37	1.76	2.02	2.14	2.13	1.99	1.71
	1.47%	0.24	0.90	1.43	1.83	2.09	2.22	2.21	2.07	1.79
	1.53%	0.30	0.97	1.50	1.90	2.16	2.29	2.28	2.14	1.87

Nota: Elaboración propia.

De la tabla anterior se deduce que para una resistencia a la compresión simple de 2.00 MPa se requiere entre 1.32% y 1.37% de cemento, mediante el uso de la herramienta SOLVER incluida en el programa Ms Excel calculamos el valor para el porcentaje de cemento (C) considerando la recomendación de 7 días de curado establecido en el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas", con lo cual se obtiene un valor optimizado de 1.36% equivalente a 51.73 gr de cemento.

4.1.6 Implementación de la MSR en el cálculo de los días óptimos de curado de los suelos estabilizados con cemento.

Para validar la implementación de la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) inicialmente se tiene que verificar la incidencia de los días de curado (D) en la ecuación obtenida en el numeral 4.1.3, esta verificación se realiza mediante la prueba de los coeficientes de regresión en los cuales está involucrado los días de curado (D) mediante la prueba T-Student, los coeficientes de regresión a revisar son β_2 , β_3 , β_5 .

$$q_u = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 D + \beta_3 CD + \beta_4 C^2 + \beta_5 D^2$$

$$q_u = -11.4603 + 0.0335C + 3.4896D + 0.0022CD - 0.0001C^2 - 0.2687D^2$$

Prueba del coeficiente β_2 : (verificación de t y to)

$$H_0: \beta_2 = 0$$

$$H_a: \beta_2 \neq 0$$

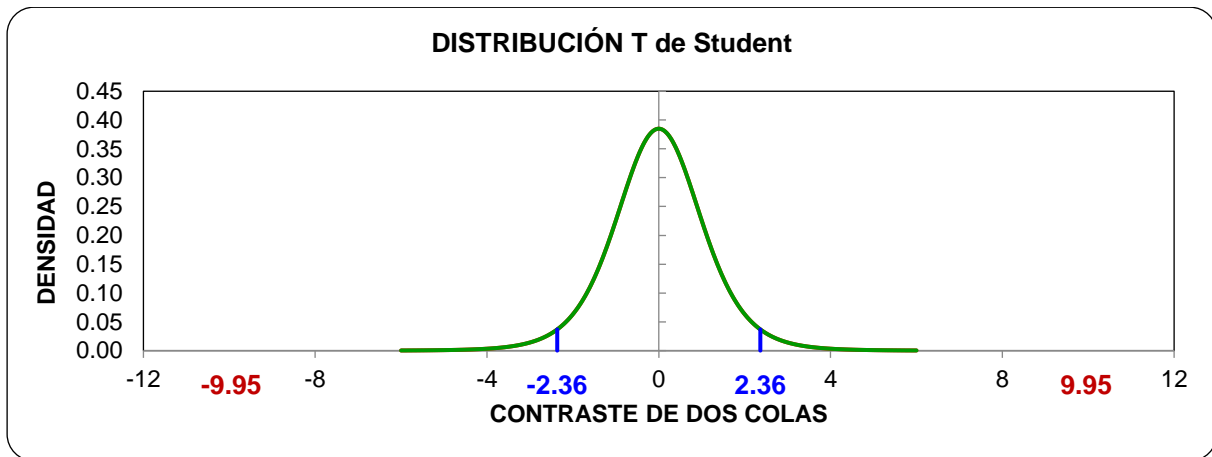
Teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Grados de libertad $n-k-1 = 7$
- Significancia de 95% $\alpha = 5\%$

Se obtiene un valor para $t = 2.36$ de la distribución T-Student la misma que se representa en la siguiente figura:

Figura 16

Distribución T-Student de β_2 para $\alpha = 5\%$.



Nota: Elaboración propia.

Así mismo se obtiene el estadístico "to" del modelo matemático calculado para la prueba del coeficiente:

$$t_o = \frac{\widehat{\beta}_k}{\sqrt{CM_E C_{k+1,k+1}}} = \frac{3.4896}{\sqrt{(0.04)(2.8988)}}$$

$$t_o = 9.95$$

Seguidamente luego de obtener t y to se verifica la siguiente condición $|t_o| > t$, por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a) que nos indica $\beta_2 \neq 0$, así mismo se tiene un p-value igual a 2.207×10^{-5} lo cual nos indica la alta incidencia de los días de curado (D) en su componente lineal para el modelo matemático calculado.

Prueba del coeficiente β_3 : (verificación de t y to)

$H_0: \beta_3 = 0$

$H_a: \beta_3 \neq 0$

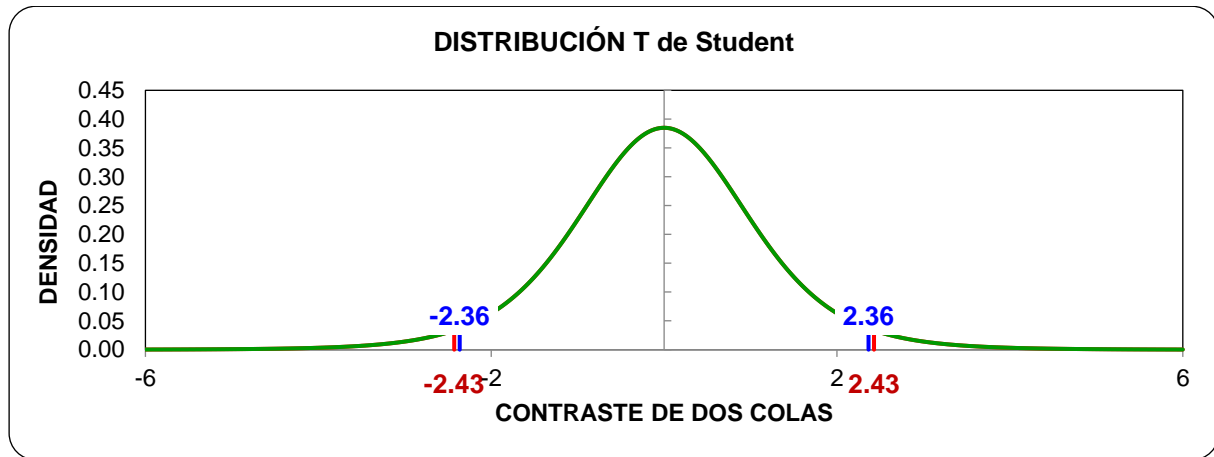
Teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Grados de libertad $n-k-1 = 7$
- Significancia de 95% $\alpha = 5\%$

Se obtiene un valor para $t = 2.36$ de la distribución T-Student la misma que se representa en la siguiente figura:

Figura 17

Distribución T-Student de β_3 para $\alpha = 5\%$.



Nota: Elaboración propia.

Así mismo se obtiene el estadístico " t_0 " del modelo matemático calculado para la prueba del coeficiente:

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_k}{\sqrt{CM_E C_{k+1,k+1}}} = \frac{0.0022}{\sqrt{(0.04)(0.000019237)}}$$

$$t_0 = 2.43$$

Seguidamente luego de obtener t y t_0 se verifica la siguiente condición $|t_0| > t$, por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a) que nos indica $\beta_3 \neq 0$, así mismo se tiene un p-value igual a 0.0455 lo cual nos indica la alta incidencia del de los días de curado (D) en su componente de interacción junto con el porcentaje de cemento (C) para el modelo matemático calculado.

Prueba del coeficiente β_5 : (verificación de t y t_0)

$$H_0: \beta_5 = 0$$

$$H_a: \beta_5 \neq 0$$

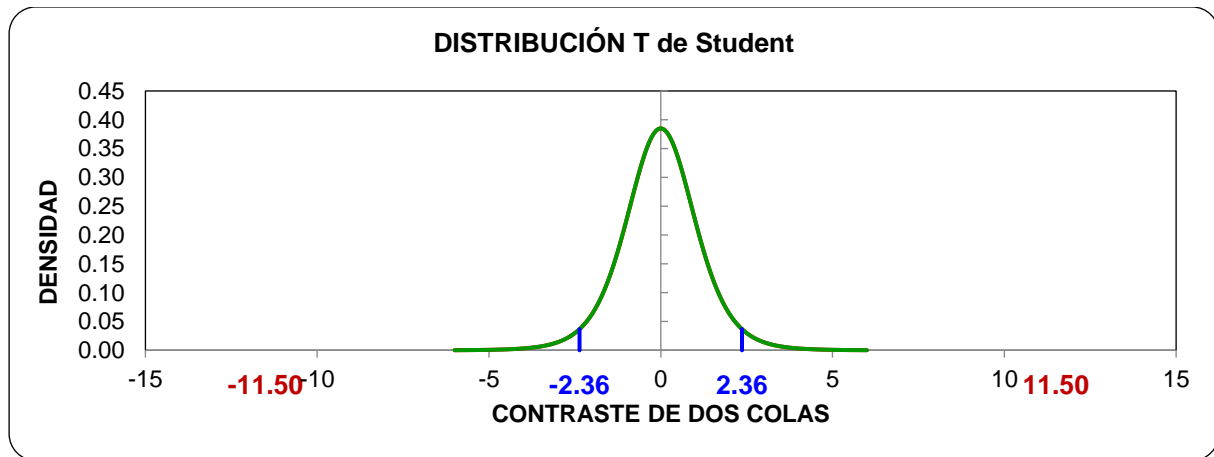
Teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Grados de libertad $n-k-1 = 7$
- Significancia de 95% $\alpha = 5\%$

Se obtiene un valor para $t = 2.36$ de la distribución T-Student la misma que se representa en la siguiente figura:

Figura 18

Distribución T-Student de β_5 para $\alpha = 5\%$.



Nota: Elaboración propia.

Así mismo se obtiene el estadístico “ t_o ” del modelo matemático calculado para la prueba del coeficiente:

$$t_o = \frac{\widehat{\beta}_k}{\sqrt{CM_E C_{k+1,k+1}}} = \frac{-0.2687}{\sqrt{(0.04)(0.0128749)}}$$
$$t_o = -11.50$$

Seguidamente luego de obtener t y t_o se verifica la siguiente condición $|t_o| > t$, por tanto, se rechaza la hipótesis nula (H_o) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a) que nos indica $\beta_5 \neq 0$, así mismo se tiene un p-value igual a 8.455×10^{-6} lo cual nos indica la alta incidencia de los días de curado (D) en su componente cuadrático para el modelo matemático calculado.

Finalmente, luego de haber verificado que los días de curado (D) tiene una incidencia significativa en el cálculo de la resistencia a la compresión simple se procedió a optimizar el mismo según la normativa vigente para base granular de carreteras no pavimentadas.

Según el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas" el requerimiento mínimo para el ensayo resistencia a la compresión simple es de 1.80 MPa, teniendo en cuenta que siempre debe considerarse un factor de seguridad al momento de cumplir con la normativa en tal sentido se asumió un valor de 2.00 MPa.

Mediante el modelo matemático obtenido se calcularon distintos valores para la Resistencia a la Compresión Simple (q_u), este cálculo se realizó asignando distintos valores para el Porcentaje de cemento (C) y los Días de curado (D).

El rango de valores lo podemos tomar como referencia del grafico mostrado en la Figura 11, debido a que la superficie de respuesta cuenta con una serie de curvas de nivel, cada curva de nivel representa un valor para la resistencia a la compresión simple como respuesta a una determinada combinación del porcentaje de cemento y los días de curado.

Los resultados de obtenidos como se muestra en la Tabla 11, considerar la franja pintada en color amarillo para el análisis de los días de curado.

Tabla 11

Distribución de la resistencia a la compresión simple (MPa) para distintos valores del porcentaje de cemento y días de curado.

		Días de curado (D)								
		4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
Porcentaje de cemento (C)	1.05%	-0.28	0.37	0.88	1.26	1.5	1.61	1.59	1.43	1.13
	1.11%	-0.21	0.44	0.95	1.33	1.58	1.69	1.67	1.51	1.22
	1.16%	-0.14	0.51	1.02	1.41	1.66	1.77	1.75	1.59	1.30
	1.21%	-0.08	0.58	1.10	1.48	1.73	1.85	1.83	1.67	1.39
	1.26%	-0.01	0.64	1.16	1.55	1.80	1.92	1.91	1.75	1.47
	1.32%	0.05	0.71	1.23	1.62	1.88	2.00	1.98	1.83	1.55
	1.37%	0.12	0.78	1.30	1.69	1.95	2.07	2.06	1.91	1.63
	1.42%	0.18	0.84	1.37	1.76	2.02	2.14	2.13	1.99	1.71
	1.47%	0.24	0.90	1.43	1.83	2.09	2.22	2.21	2.07	1.79
	1.53%	0.30	0.97	1.50	1.90	2.16	2.29	2.28	2.14	1.87

Nota: Elaboración propia.

De la tabla anterior se deduce que para una resistencia a la compresión simple de 2.00 MPa se requiere entre 7 a 7.5 días de curado, mediante el uso de la herramienta SOLVER incluida en el programa Ms Excel calculamos el valor para los días de curado (D) considerando 1.36% para el cemento, valor calculado en el ítem anterior, con lo cual se obtiene un valor optimizado de 7.20 días.

4.1.7 Identificación de la Variación de la resistencia a la compresión simple entre el diseño aprobado para la ejecución y el calculado aplicando la MSR.

En el diseño suelo-cemento aprobado para la ejecución de la carretera no pavimentada PU-121 se utilizó un porcentaje de cemento igual a 2% con lo cual se obtuvo una resistencia a 5.25 MPa.

Aplicando la metodología de superficie de respuesta (MSR) se obtuvo la siguiente ecuación para el modelo matemático planteado, donde "C" representa al porcentaje de cemento y "D" representa los días de curado:

$$q_u = -11.4603 + 0.0335C + 3.4896D + 0.0022CD - 0.0001C^2 - 0.2687D^2$$

Para obtener los valores máximos se procedió a realizar el cálculo de las derivadas parciales respecto a las variables independientes como se muestra a continuación:

$$\frac{\partial q_u}{\partial C} = 0.0335 + 0.0022D - 0.0002C$$

$$\frac{\partial q_u}{\partial D} = 3.4896 + 0.0022C - 0.5374D$$

Las ecuaciones anteriores se igualan a cero y se resuelven como un sistema de ecuaciones y se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 12
Resultados de la maximización del modelo matemático.

Variables	Código	Unidad	Valor
Cemento	C	%	6.32
Curado	D	días	7.47
Resistencia a la compresión simple (*)	qu	MPa	5.60



Nota: Elaboración propia.

Finalmente, de lo anterior se verifica que existe una variación de 6.67% para la resistencia a la compresión simple (q_u) entre el diseño aprobado para la ejecución y el calculado aplicando la metodología de superficie de respuesta, es importante resaltar que ambos valores cumplen ampliamente con el requerimiento mínimo para bases granulares establecido en el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas".

4.2 PROCESO DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Con los resultados obtenidos se procede a realizar la prueba de hipótesis según el siguiente detalle:

Hipótesis general: Aplicando la metodología de superficie de respuesta es posible optimizar los porcentajes de cemento y días de curado de los diseños de suelos estabilizados con cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.

Como se ha evidenciado el modelo matemático calculado tiene un $R^2 = 0.99$ lo cual nos indica una alta capacidad explicativa de las variables independientes (porcentaje de cemento y días de curado) frente a la variable dependiente (resistencia a la compresión simple), así mismo cuando se revisa el modelo bajo la distribución F (Fisher-Snedecor) para un nivel de significancia del 95% se comprueba que $F_o > F$, por tanto los coeficientes de regresión del modelo son diferentes de cero y confirma la correlación existente entre las variables independientes e independientes.

Para la variable respuesta "Resistencia a la compresión simple" (Y) se ha logrado optimizar el porcentaje de cemento (X_1) a un 1.36% y los días curado (X_2) se obtiene un valor de 7.20 días, con lo cual se confirma que la cantidad de días óptimos son siete (07) para este procedimiento, con los valores precedentes se ha obtenido una resistencia de 2.00 MPa, que es superior a los 1.80 MPa mínimos requeridos en el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas".



Hipótesis específica N° 01: La implementación de la metodología de superficie de respuesta determina el porcentaje óptimo de cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.

Respecto al porcentaje de cemento en el diseño suelo - cemento, después de realizar la optimización según el modelo matemático calculado se comprueba que se pudo optimizar dicho porcentaje debido a que en diseño aprobado para la ejecución de la carretera no pavimentada se aprobó un porcentaje igual a 2.00% y con el modelo calculado se obtuvo un porcentaje de 1.36%, con este último porcentaje se obtuvo una resistencia a la compresión simple de 2.00 MPa, cumpliendo así con el requerimiento mínimo de 1.80 MPa del documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas" del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en consecuencia se acepta la hipótesis.

Hipótesis específica N° 02: La implementación de la metodología de superficie de respuesta determina los días óptimos de curado de los suelos estabilizados con cemento para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.

Respecto a los días de curado en el diseño suelo - cemento, después de realizar la optimización según el modelo matemático calculado se obtiene un valor igual a 7.20 días con lo cual comprueba que siete (07) días de curado son los óptimos para alcanzar una resistencia a la compresión simple de 2.00 MPa, este ítem verifica lo indicado en el documento técnico Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas que a la letra dice "Los parámetros de resistencia y/o expansión de la muestra del suelo estabilizado compactado, se obtendrán después de un periodo de curado húmedo de siete (07) días." (p. 06), en consecuencia, se ratifica que los días óptimos de curado es el consignado en el documento técnico del Ministerio de Transportes y comunicaciones, del mismo modo se acepta la hipótesis.

Hipótesis específica N° 03: La resistencia a la compresión simple entre el diseño aprobado para la ejecución y el calculado aplicando la metodología de superficie de respuesta

de los suelos estabilizados con cemento varia en un 5% para la conformación de base granular de carreteras no pavimentadas de la Provincia de Puno, 2024.

Respecto a la resistencia a la compresión simple del diseño suelo - cemento, después de realizar el cálculo del punto estacionario (máximo valor) según el modelo matemático se obtiene un valor de 5.60 MPa para un porcentaje de 6.32% (240.33gr) de cemento y 7.47 días de curado, esto frente a los 5.25 MPa adoptados en la ejecución de la carretera no pavimentada PU-121, verificamos que existe variación del 6.67%, en consecuencia, se acepta la hipótesis.

4.3 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la presente investigación se buscó optimizar el diseño suelo-cemento para carreteras no pavimentadas, esta mezcla usualmente utilizada en la ejecución de bases granulares y que finalmente son cubiertas por una capa impermeabilizante o de protección que a su vez servirá de superficie de rodadura, es importante precisar que esta capa final no cumple función estructural.

Dentro de los parámetros establecidos en el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas" tenemos la resistencia a la compresión simple (ver Tabla N° 11) que para suelos estabilizados con cemento requiere un valor mínimo de 1.80 MPa.

Tabla 13
Especificaciones técnicas de tipos de estabilizadores y parámetros.

SUELO ESTABILIZADO CON	PARÁMETRO
Cemento	Resistencia a compresión simple = 1.8MPa mínimo (MTC E 1103)

Nota: Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas - MTC.

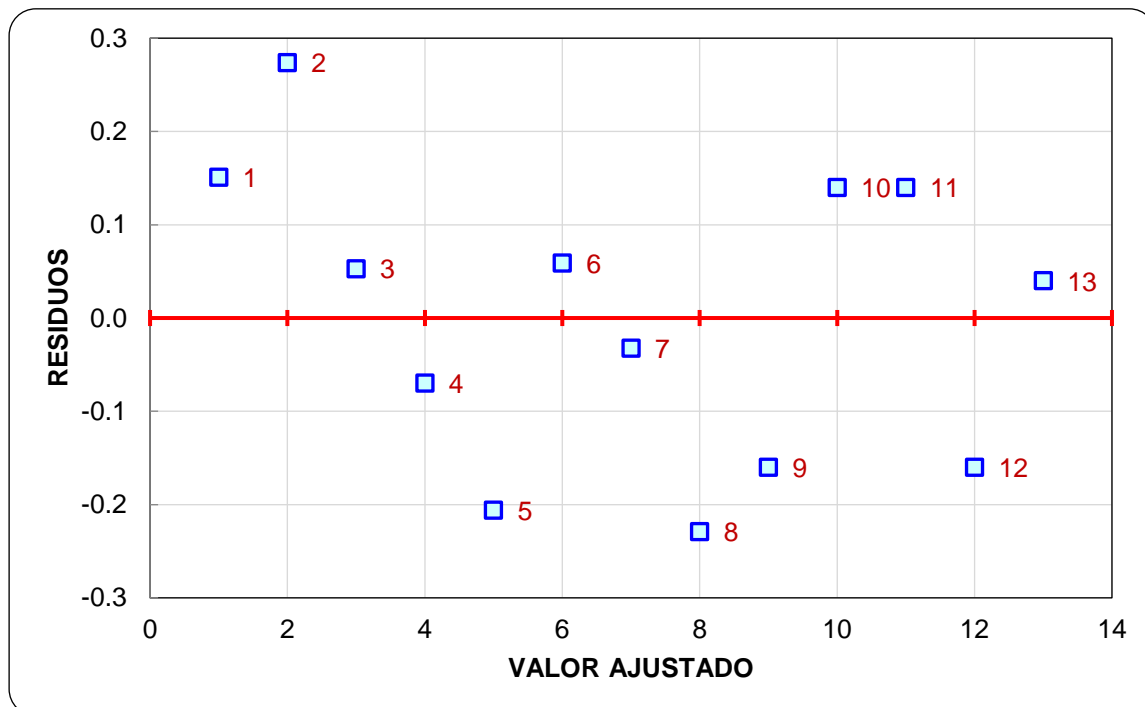
Este valor evidentemente debe ser superado al momento de ejecutar bases granulares para carreteras no pavimentadas, por ello mediante la aplicación de la metodología de superficie de respuesta se ha logrado optimizar el diseño ya existente para la carretera no pavimentada PU-121 reduciendo el uso de cemento y ratificando los días de curado

necesarios para alcanzar resistencias superiores a los 1.80 MPa requeridos por la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Como parte del proceso de cálculo se ha obtenido una ecuación de regresión lineal múltiple, la misma cuenta con un coeficiente de correlación múltiple (R) igual a 0.993 lo cual nos indica una alta correlación entre las variables independientes (Porcentaje de cemento y días de curado) y la variable dependiente (Resistencia a la Compresión Simple), en esa misma línea (Maria, 2017) indica lo siguiente “los valores grandes de R representan una alta correlación entre los valores observados y predichos del resultado” (p. 129).

Lo anterior es verificable mediante la representación gráfica mostrada en la Figura 19 que representa una comparación de los valores obtenidos en laboratorio para la resistencia a la compresión simple frente a los valores ajustados con el modelo matemático y los residuos obtenidos con el mismo.

Figura 19
Valor ajustado vs Residuos.



Nota: Elaboración propia.



Como se puede evidenciar la variabilidad de los residuos es mínima, esto demuestra que el ajuste del modelo matemático es bueno, por tanto, nos permite realizar la optimización de los valores del porcentaje de cemento y los días de curado.

Finalmente, mediante la ecuación de regresión lineal múltiple se puede obtener los valores de cemento y días de curado para lograr la máxima resistencia a la compresión simple del diseño suelo – cemento.



CONCLUSIONES

Primera: De los resultados se concluye que si es posible implementar la (MSR) Metodología de Superficie de Respuesta en la obtención de los porcentajes de cemento (X_1) y los días curado (X_2) en los diseños de suelo-cemento para la optimización de la resistencia a la compresión simple (Y) en carreteras no pavimentadas, como parte una ecuación de regresión lineal múltiple que cuenta con una correlación alta ($R = 0.993$) entre las variables independientes y dependiente, esta ecuación cuenta con efectos lineales, cuadráticos y de interacción, así mismo se verifico el contraste de la regresión mediante la distribución F para un nivel de significancia del 95%.

Segunda: Respecto al porcentaje de cemento (X_1) se pudo optimizar el mismo reduciéndolo de 2.00% a 1.36%, con el nuevo porcentaje de cemento se alcanza una resistencia a la compresión simple de 2.00 MPa, cumpliendo así con el requerimiento mínimo de 1.80 MPa para la resistencia a la compresión simple según el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas" del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, así mismo se cuenta con un factor de seguridad de 0.20 MPa.

Tercera: Respecto a los días de curado (X_2) después de realizar el modelamiento y la optimización de esta variable se obtuvo un valor de 7.20 días, lo cual nos confirma que los días óptimos para el curado de la mezcla suelo-cemento es de siete (7) días, esto en concordancia con lo estipulado en el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas" que nos indica los siguiente: "Los parámetros de resistencia y/o expansión de la muestra del suelo estabilizado compactado, se obtendrán después de un periodo de curado húmedo de siete (07) días".

Cuarta: Finalmente luego de realizar el modelamiento y cálculo de la regresión lineal múltiple se obtiene una ecuación con efectos lineales, cuadráticos e interacción entre las variables independientes e independientes, mediante esta ecuación se pudo obtener el porcentaje de



cemento y días de curado necesarios para alcanzar una resistencia a la compresión máxima de la mezcla suelo-cemento, para nuestro caso se obtuvo un porcentaje igual a 6.32% de cemento y 7.47 días para el procedimiento del curado, con estos valores se alcanzaría una resistencia a la compresión simple de 5.60 MPa.



RECOMENDACIONES

Primera: Se sugiere ampliar la presente investigación para cada tipo de suelo establecido en la clasificación AASHTO, con la finalidad de obtener una guía preliminar sobre las cantidades optimas de porcentaje de cemento y días de curado para el cálculo de la resistencia a la compresión simple, teniendo en cuenta que este último parámetro debe cumplir con los valores mínimos establecidos en el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas".

Segunda: Se sugiere tener en consideración un factor de seguridad al momento de calcular el porcentaje optimo de cemento aplicando la metodología de superficie de respuesta, esto en relación con el valor mínimo de 1.80 MPa para la resistencia a la compresión simple establecido en el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas".

Tercera: Se sugiere tener en consideración los días obtenidos en la presente investigación al momento de calcular los días óptimos de curado en suelos estabilizados con cemento, puesto que confirman la idoneidad del valor indicado en el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas" que para este parámetro es de 7 días.

Cuarta: Se recomienda ampliar el uso de la metodología de superficie de respuesta (MSR) en los distintos tipos de estabilizadores existentes en el documento técnico "Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas", con la finalidad de encontrar valores óptimos que ayuden a cumplir con los requerimientos técnicos sin caer en el sobredimensionamiento.



REFERENCIAS

- Acho, J. (2018). *Guía para la elaboración de proyectos de grado*. Andrés Ibáñez: Instituto Tecnológico Popular Igualitario Andrés Ibáñez.
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica*. Caracas: Editorial Episteme C.A.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la Investigación, Serie Integral por Competencias*. Mexico: Grupo Editorial Patria S.A.
- Balestrini, M. (2006). *Como se elabora el proyecto de investigación*. Caracas: BL Consultores Asociados.
- Becerra, C., & Calderon, C. (2022). *Influencia del cemento portland tipo I en la capacidad soporte (CBR) de la subrasante de la avenida Arana Vidal sector La Colina, Jaén 2021*. Jaén: Universidad Nacional de Jaén.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la Investigación*. Bogotá: Prentice Hall.
- Calduch, R. (2003). *Métodos y técnicas de investigación en relaciones internacionales*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Enrique, C., & Darwin, P. (2019). *Estudio de suelo, estabilización del material granular existente con cemento MH y diseño de pavimento flexible en las calles del sector La Milina, parroquia José Luis Tamayo, Cantón Salinas, Provincia de Santa Elena*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- García, C. (1990). *Distribuciones Multivariadas regresión y correlación*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- García, D., & Romero, A. (2019). *Verificación de resistencia entre la estabilización de suelo – cemento y la estabilización con suelo – cemento y fibra de fique*. Ibagué: Universidad de Ibagué.



- García, J. (2019). *Estudio de la técnica de suelo-cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Gonzales, F. (2018). *Análisis experimental de suelos estabilizados con ceniza volante, cemento y cal para subrasante mejorada de pavimentos en la Ciudad de Puno*. Puno: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.
- Gutierrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. Mexico: McGraw-Hill.
- Gutierrez, H. (2021). *Manual básico de Solver Excel*. Lima: Universidad de Lima.
- Hadi, M., Martel, C., Huayta, F., Rojas, C., & Arias, J. (2023). *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis*. Lima: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.
- Hanco, J. (2021). *Estabilización de Suelos Cohesivos con Cal y Cemento para Mejorar la Subrasante de la Avenida Santa Rosa, Puno, 2021*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F.: Mc Graw-Hill.
- Herrera, A. (1998). *Notas sobre psicometría, guía para el curso de psicometría*. Santafe de Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- IECA. (2013). *Estabilización de suelos con cemento*. Madrid: Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones.
- Kerlinger, F., & Lee, H. (2002). *Investigación del comportamiento*. Mexico: McGraw-Hill.
- Kuehl, R. (2001). *Diseño de experimentos, Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación*. Mexico: Thomson Editores S.A.



- Llusco, J., & Quisber, V. (2019). *Estabilización de suelo con CBR insatisfactorio para el uso en carreteras, mediante el uso de material reciclado y cemento para ser utilizado en proyectos viales*. La Paz: Universidad Mayor de San Andres.
- Maria, S. (2017). *Apunte de regresión lineal*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Melo, O., López, L., & Melo, S. (2020). *Diseño de experimentos, metodos y aplicaciones*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Mendez, C. (1995). *Metodología, Guía para elaborar diseños de investigación en ciencias económicas, contables y administrativas*. Bogotá: Mc Graw-Hill.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras; Suelos, geología, geotecnia y pavimentos - Sección suelos y pavimentos*. Lima: Direccion General de Caminos y Ferrocarriles.
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. Mexico: Editorial Limusa S.A.
- Orellana, G. (2016). *Construcción de instrumentos de investigación en ciencias sociales*. Huancayo: Soluciones Graficas.
- Pasquel, E. (1998). *Temas de tecnología del concreto*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú - CN.
- Ramírez, A. (2004). *Metodología de la investigación científica*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Ramirez, P., & Guerra, E. (2021). *Estabilización de la subrasante con cemento portland y su influencia en el diseño del pavimento flexible, en el camino vecinal, Morales - Polvoraico, en el Distrito de Morales, Provincia y Región San Martín – 2020*. Tarapoto: Universidad Científica del Perú.



- Rodríguez, D., & Valldeoriola, J. (2014). *Metodología de la Investigación*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya.
- Rodríguez, E. (2005). *Metodología de la Investigación, La creatividad, el rigor del estudio y la integridad son factores que transforman al estudiante en un profesionalista de éxito*. Mexico: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Rodriguez, H. (2022). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021*. Huánuco: Universidad Continental.
- Rodríguez, L. (2007). *Probabilidad y estadística básica para ingenieros, con el soporte de matlab para cálculos y gráficos estadísticos*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Salinas, D. (2010). *¿A cuántos y a quiénes preguntar?, Una aproximación al muestreo cuantitativo y cualitativo en investigación social y educativa*. Valparaiso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Salkind, N. (1998). *Método de investigación*. México: Prentice-Hall.
- Supo, J. (2015). *Cómo empezar una tesis, tu proyecto de investigación en un solo día*. Arequipa: Bioestadístico EIRL.
- Vara, A. (2010). *¿Como hacer una tesis en ciencias empresariales?* Lima: Universidad de San Martín de Porres.
- Walpole, R., Myers, R., Myers, S., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Mexico: Pearson Educación.
- Yana, M. (2021). *Efectos del uso de cemento en la estabilización de suelos dispersivos de la carretera Desvío Desaguadero - Kelluyo, Puno 2021*. Huancayo: Universidad Continental.



Zambrano, T., & Zambrano, M. (2023). Estabilización de suelo con cal y cemento para el mejoramiento de subrasante. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada YACHASUN*, 112-124.



ANEXOS



ANEXO 01
RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA
COMPRESIÓN SIMPLE



RESUMEN DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

N° DE ENSAYO	DATOS DE ENTRADA		ENSAYOS DE LABORATORIO										RESULTADOS		DATO PROMEDIO PARA LA MSR
	Cemento XI	Días de curado X2	Fecha de moldeo	Altura	Peso	Carga	Diámetro			Area	Fecha de Rotura	Res. Comp_Sim Y			
							D1	D2	Dp						
%	días	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg-f/cm ²	MPa	Mpa
1	20%	5.0 días	16/09/2024	204.70	3839	1,581.60	102.40	101.50	101.95	10.20	81.63	21/09/2024	19.37	1.90	2.20
2	20%	5.0 días	16/09/2024	205.80	3849	2,009.40	101.60	101.70	101.65	10.17	81.15	21/09/2024	24.76	2.40	
3	20%	9.0 días	18/09/2024	206.50	3924	1,722.00	102.40	102.30	102.35	10.24	82.27	27/09/2024	20.93	2.10	1.90
4	20%	9.0 días	18/09/2024	206.40	3897	1,381.50	102.30	101.50	101.90	10.19	81.55	27/09/2024	16.94	1.70	
5	50%	9.0 días	19/09/2024	207.20	3926	3,576.20	101.60	102.80	102.20	10.22	82.03	28/09/2024	43.59	4.30	4.60
6	50%	9.0 días	19/09/2024	204.40	3854	4,017.30	102.30	102.70	102.50	10.25	82.52	28/09/2024	48.69	4.80	
7	50%	5.0 días	19/09/2024	205.50	3847	3,069.00	101.60	101.40	101.50	10.15	80.91	24/09/2024	37.93	3.70	3.90
8	50%	5.0 días	19/09/2024	204.40	3860	3,324.50	101.50	102.30	101.90	10.19	81.55	24/09/2024	40.77	4.00	
9	10%	7.0 días	18/09/2024	204.50	3833	1,187.00	101.60	102.70	102.15	10.22	81.95	25/09/2024	14.48	1.40	1.30
10	10%	7.0 días	18/09/2024	205.70	3853	962.00	101.40	101.60	101.50	10.15	80.91	25/09/2024	11.89	1.20	
11	60%	7.0 días	20/09/2024	204.60	3881	4,733.90	101.40	101.60	101.50	10.15	80.91	27/09/2024	58.51	5.70	5.60
12	60%	7.0 días	20/09/2024	206.20	3857	4,528.30	101.30	101.50	101.40	10.14	80.75	27/09/2024	56.08	5.50	
13	35%	4.5 días	16/09/2024	206.50	3899	2,316.20	103.40	102.70	103.05	10.31	83.40	20/09/2024	27.77	2.70	2.70
14	35%	4.5 días	16/09/2024	205.40	3870	2,273.90	101.60	101.70	101.65	10.17	81.15	20/09/2024	28.02	2.70	
15	35%	9.5 días	15/09/2024	205.80	3872	2,258.70	102.40	101.50	101.95	10.20	81.63	24/09/2024	27.67	2.70	2.60
16	35%	9.5 días	15/09/2024	206.40	3854	2,058.60	102.30	102.40	102.35	10.24	82.27	24/09/2024	25.02	2.50	
17	35%	7.0 días	14/09/2024	203.60	3782	3,632.10	102.50	102.40	102.45	10.25	82.44	21/09/2024	44.06	4.30	4.30
18	35%	7.0 días	14/09/2024	206.20	3865	3,801.20	101.40	102.30	101.85	10.19	81.47	21/09/2024	46.66	4.60	4.60
19	35%	7.0 días	14/09/2024	207.20	3866	3,881.10	102.60	101.70	102.15	10.22	81.95	21/09/2024	47.36	4.60	4.60
20	35%	7.0 días	14/09/2024	204.70	3835	3,575.10	101.70	102.60	102.15	10.22	81.95	21/09/2024	43.62	4.30	4.30
21	35%	7.0 días	15/09/2024	207.20	3858	3,721.60	101.10	102.10	101.60	10.16	81.07	22/09/2024	45.90	4.50	4.50



ANEXO 02

DISEÑO DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA



DISEÑO DE COMPÓSICION CENTRAL (DCC)

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO		
TE SIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"		
CARRERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S		
CANTERA:	KM 12+280	UBICACIÓN:	KM 12+280

VARIABLES Y/O FACTORES DEL DISEÑO

DESCRIPCION	Nº DE VARIABLE	CODIGO	UNIDAD	
			Codificada	Natural
Cemento	X1	C	%	gr
Días de curado	X2	D	N	días

VALORES DE ANALISIS

DESCRIPCION	UNIDAD	VALORES DE CALCULO		
		Inicio	Fin	Amplitud
Cal	%	4	10	6
Cemento	N	4	10	6

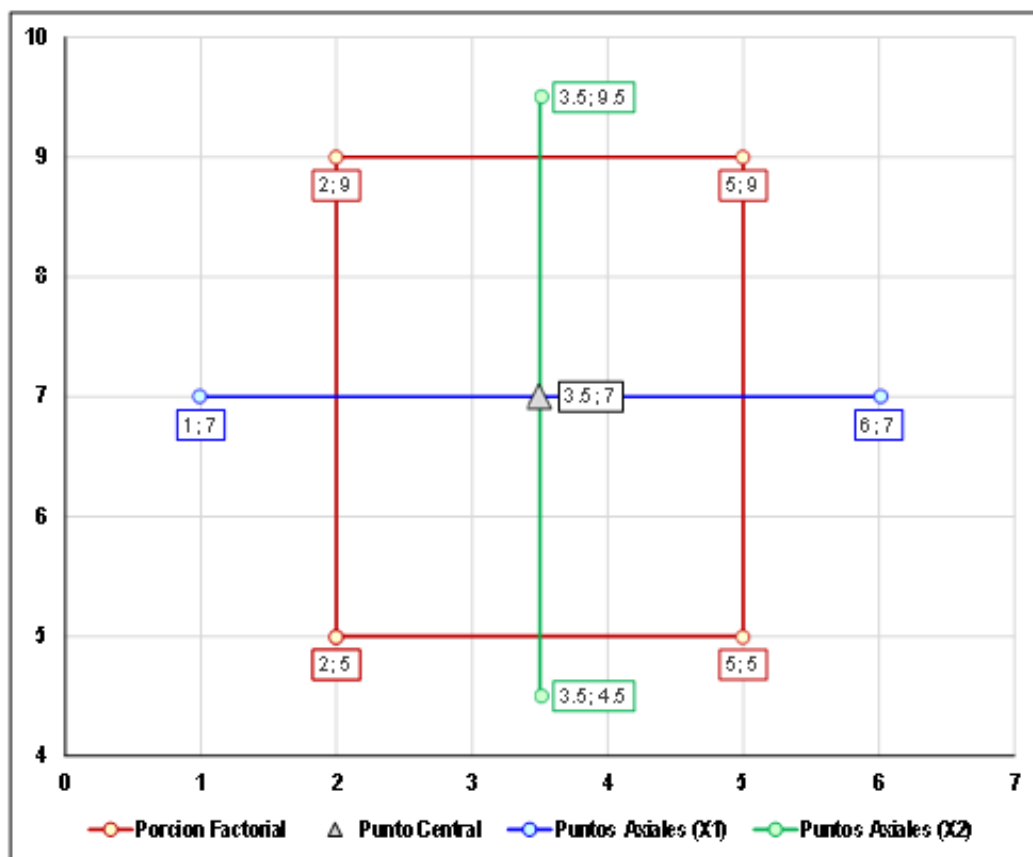
ENSAYOS SEGÚN EL DISEÑO

Nº DE ENSAYO	VARIABLES CODIFICADAS		VARIABLES NATURALES		CLASIFICACION DE PUNTOS SEGÚN EL DISEÑO
	C	D	C	D	
	X1	X2	X1	X2	
1	-1	-1	2	5	Punto Factorial
2	-1	1	2	9	Punto Factorial
3	1	-1	5	9	Punto Factorial
4	1	1	5	5	Punto Factorial
5	-2.5	0	1	7	Punto Axial
6	2.5	0	6	7	Punto Axial
7	0	-2.5	3.5	4.5	Punto Axial
8	0	2.5	3.5	9.5	Punto Axial
9	0	0	3.5	7	Punto Central
10	0	0	3.5	7	Punto Central
11	0	0	3.5	7	Punto Central
12	0	0	3.5	7	Punto Central
13	0	0	3.5	7	Punto Central

DISEÑO DE COMPÓSICIÓN CENTRAL (DCC)

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO		
TE SIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"		
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S		
CANTERA:	KM 12+280	UBICACIÓN:	KM 12+280

REPRESENTACIÓN GRAFICA





ANEXO 03

MODELO DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA



MODELO DE SEGUNDO ORDEN

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO		
TE SIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"		
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S		
CANTERA:	KM 12+280	UBICACIÓN:	KM 12+280

VARIABLES Y/O FACTORES DEL DISEÑO

N°	DESCRIPCIÓN	VARIABLE	CODIGO
01	Cemento	X1	C
02	Días de curado	X2	D
03	Resistencia compresión simple	Y	qu

MODELO PLANTEADO

ECUACIÓN GENERAL DE CALCULO:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5$$

ECUACIÓN GENERAL DE CALCULO EN VARIABLES NATURALES

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \beta_3 \cdot X_1 \cdot X_2 + \beta_4 \cdot X_1^2 + \beta_5 \cdot X_2^2$$

$$qu = \beta_0 + \beta_1 \cdot C + \beta_2 \cdot D + \beta_3 \cdot C \cdot D + \beta_4 \cdot C^2 + \beta_5 \cdot D^2$$

Donde:

Coefficiente	Termino	Expresión
β_0	—	Constante
β_1	C	Lineal
β_2	D	Lineal
β_3	CD	Interacción
β_4	C ²	Cuadrático
β_5	D ²	Cuadrático



ANEXO 04

ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 00+000 KM 12+280 UBICACIÓN: KM 12+280

MODELO DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

$$qu = \beta_0 + \beta_1 \cdot C + \beta_2 \cdot D + \beta_3 \cdot C \cdot D + \beta_4 \cdot C^2 + \beta_5 \cdot D^2$$

VARIABLE DEPENDIENTE (Valores naturales)		VARIABLES INDEPENDIENTES (Valores naturales)				
Y		X1	X2	X3	X4	X5
qu		C	D	CD	C ²	D ²
2.20		76.00	5.00	380.00	5776.00	25.00
1.90		76.00	9.00	684.00	5776.00	81.00
4.60		190.00	9.00	1710.00	36100.00	81.00
3.90		190.00	5.00	950.00	36100.00	25.00
1.30		38.00	7.00	266.00	1444.00	49.00
5.60		228.00	7.00	1596.00	51984.00	49.00
2.70		133.00	4.50	598.50	17689.00	20.25
2.60		133.00	9.50	1263.50	17689.00	90.25
4.30		133.00	7.00	931.00	17689.00	49.00
4.60		133.00	7.00	931.00	17689.00	49.00
4.60		133.00	7.00	931.00	17689.00	49.00
4.30		133.00	7.00	931.00	17689.00	49.00
4.50		133.00	7.00	931.00	17689.00	49.00

=



ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO	
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"	
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S	
CANTERA:	KM 00+000 KM 12+280	UBICACIÓN: KM 12+280

MATRIZ: $[X'X]^{-1}$

51.344549	-0.18119	-11.40312	0.0179094	0.0001938	0.6268256
-0.18119	0.0015287	0.0237948	-0.000135	-2.08E-06	-0.00042
-11.40312	0.0237948	2.8988436	-0.002558	-2.21E-05	-0.180248
0.0179094	-0.000135	-0.002558	1.924E-05	-6.69E-21	-5.78E-17
0.0001938	-2.08E-06	-2.21E-05	2.01E-21	7.829E-09	1.58E-06
0.6268256	-0.00042	-0.180248	1.263E-17	1.58E-06	0.0128749

MATRIZ: $\beta = [X'X]^{-1}[X'Y]$

$\beta_0 =$	-11.46029
$\beta_1 =$	0.03349
$\beta_2 =$	3.48957
$\beta_3 =$	0.00219
$\beta_4 =$	-0.00010
$\beta_5 =$	-0.26871

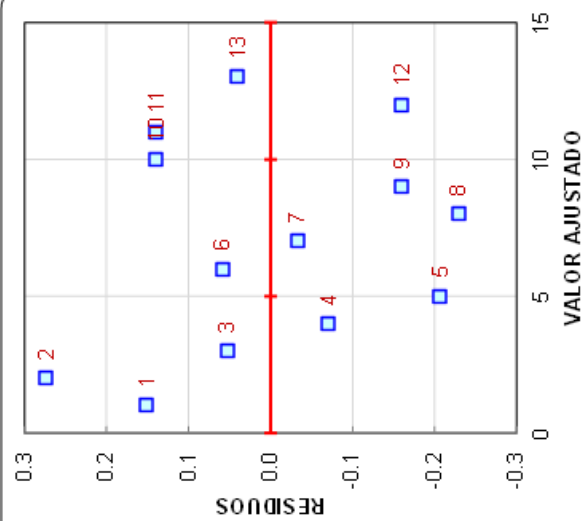
ECUACIÓN CALCULADA

$$qu = -11.4603 + 0.0335C + 3.4896D + 0.0022CD - 0.0001C^2 - 0.2687D^2$$

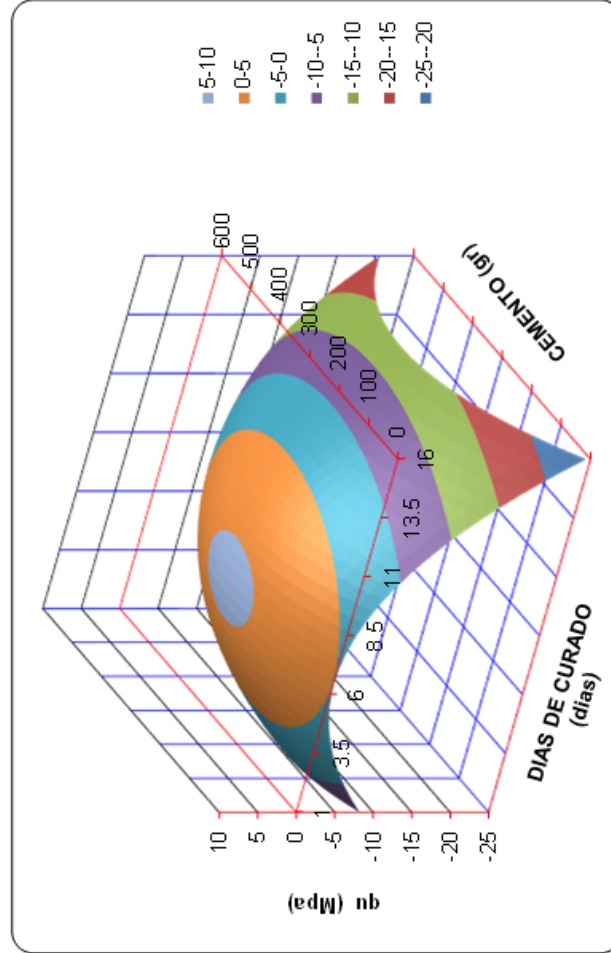
ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A - CABANA - CAHUARIA - LLUNGO - ATUNCOLLA - EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 00+000 KM 12+280 UBICACIÓN: KM 12+280

RESIDUOS VS VALORES AJUSTADOS



SUPERFICIE DE RESPUESTA SEGUN MODELO MATEMATICO





ANEXO 05

CALCULO DEL PUNTO ESTACIONARIO Y OPTIMIZACIÓN

PUNTO ESTACIONARIO Y OPTIMIZACIÓN

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO		
TE SIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"		
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S	UBICACIÓN:	KM 12+280
CANTERA:	KM 12+280		

CALCULO DE LOS VALORES OPTIMOS

CALCULO DE LAS DERIVADAS PARCIALES (FORMA MATRICIAL)

$$\frac{\partial \hat{Y}}{\partial x} = b + 2Bx = 0$$

Resolviendo tenemos:

$$x_0 = \frac{-B^{-1}b}{2}$$

Donde:

Matriz $[B]^{-1}$	
-10070.54	-41.0936
-41.0936	-3.8892

Matriz $[b]$	
0.03349	3.48957

Reemplazando datos tenemos:

Resultados en Variables Naturales Matriz $[x_0]$	
C (gr)	240.33
D (dias)	7.47

Resultados en Variables Codificadas Matriz $[x_0]$	
C (%)	6.32
D (dias)	7.47

CALCULO DEL PUNTO ESTACIONARIO

Reemplazando los valores optimos en la ecuacion calculada:

$$q_u(MAX) = 5.60 \text{ Mpa}$$

(Resistencia maxima según el modelo matematico)



CALCULO DEL RESISTENCIA OPTIMIZADA

Cemento	(X1)*	51.73 gr
Dias de curado	(X2)	7.2 dias
Resistencia compresión simple	(Y)**	qu = 2.00 Mpa

(*) El valor de 51.73gr es equivalente a 1.36%.

(**) Resistencia minima requerida $qu=1.8\text{Mpa}$ según el Documento Tecnico "Soluciones Basicas en Carreteras no Pavimentadas" (MTC E 1103).



ANEXO 06 ANÁLISIS DE VARIANZA

ANÁLISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUÑO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280
	UBICACIÓN: KM 12+280

ANOVA PARA LA SIGNIFICANCIA DEL MODELO DE REGRESIÓN

Fuente de	Suma de cuadrados	Grados de	Cuadrado medio	Fo	Valor-p
Regresión	$SC_R = \beta'X'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$	k	CM_R	CM_R / CM_E	$Pr(F > F_0)$
Error o residuo	$SC_E = y'y - \beta'X'y$	$n - k - 1$	CM_E		
Total	$S_{yy} = y'y - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)^2}{n}$	$n - 1$			

ANÁLISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280 UBICACIÓN: KM 12+280

ERROR O RESIDUO:

Matriz: [Y]

2.2	1.9	4.6	3.9	1.3	5.6	2.7	2.6	4.3	4.6	4.3	4.6	4.3	4.5
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Escalar: [Y][Y] 191.47 Escalar: [β][X][Y] 191.17

Suma de cuadrados:

$$SCe = 0.30$$

Grados de libertad:

$$n - k - 1 = 7$$

Cuadrado medio:

$$CM_E = \frac{SC_E}{n - k - 1}$$

$$CMe = 0.042$$

TOTAL:

Escalar: [Y][Y] 191.47 Escalar: (ΣY)²/n 170.65

Suma de cuadrados:

$$Syy = 20.82$$

Grados de libertad:

$$n - 1 = 12$$

ANÁLISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280 UBICACIÓN: KM 12+280

REGRESIÓN

Matriz: $[\beta]$

-11.4603	0.0335	3.4896	0.0022	-0.0001	-0.2687
----------	--------	--------	--------	---------	---------

Matriz: $[\beta][X']$

2.0489	1.6261	4.5471	3.9699	1.5060	5.5409	2.7323	2.8288	4.4600	4.4600	4.4600	4.4600
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Escalar: $[\beta][X']Y$

191.17	Escalar: $(\Sigma Y)^2/n$	170.65
--------	---	--------

Suma de cuadrados:

$SCr = 20.53$

Grados de libertad:

$k = 5$

Cuadrado medio:

$$CM_R = \frac{SC_R}{k}$$

$CMr = 4.105$

ANALISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280
UBICACIÓN:	KM 12+280

CALCULO DE PARAMETROS ESTADISTICOS:

COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN
$R^2 = \frac{SC_R}{S_{yy}}$
$SC_r = 20.53$
$S_{yy} = 20.82$
$R^2 = 0.986$

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN MULTIPLE
$R = \sqrt{R^2}$
$R^2 = 0.99$
$R = 0.993$

MEDIA DEL ERROR ABSOLUTO
$mea = \frac{\sum_{i=1}^n e_i }{n}$
$\sum e_i = 1.71$
$n = 13$
$mea = 0.132$

ERROR ESTANDAR DE ESTIMACIÓN
$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{SC_E}{n-k-1}}$
$SC_e = 0.30$
$n-k-1 = 7$
$\sigma = 0.206$

ANÁLISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280
UBICACIÓN:	KM 12+280

CONSTRASTE DE LA REGRESIÓN:

Hipótesis nula $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$
Hipótesis alternativa $H_a : \beta_i \neq 0$

Conclusión: $F_0 > F$
Se rechaza H_0

Estadístico (F_0)

Para: $v_1 = 5$
 $v_2 = 7$
 $\alpha = 95\%$

$F = 3.97$

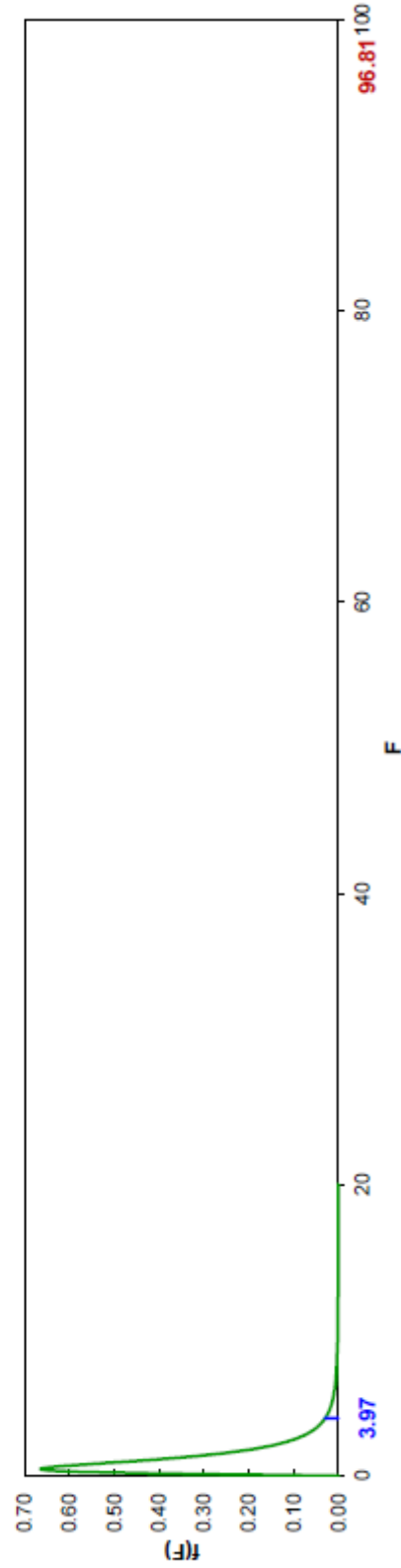
(Ver Tabla de Distribución F para $\alpha = 95\%$)

$$F_0 = \frac{CM_R}{CM_E}$$

$$F_0 = 96.81$$

$$p\text{-value} = 0.00$$

DISTRIBUCIÓN F



ANÁLISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280 UBICACIÓN: KM 12+280

INTERCEPTO (β_0): Cuadrado medio del Error: $CMe = 0.04$ Estimación $\beta_0 = -11.4603$
Elemento de la diagonal de la matriz $[X'X]^{-1}$: $C11 = 51.3445$ Error estándar $Sb_0 = 1.48$

Prueba del coeficiente

$H_0: \beta_0 = 0$

$H_a: \beta_0 \neq 0$

Para:

$n-k-1 = 7$

$\alpha = 5\%$

$\alpha/2 = 0.025$

$t = 2.36$

(Ver Tabla de Distribución T para $\alpha/2$)

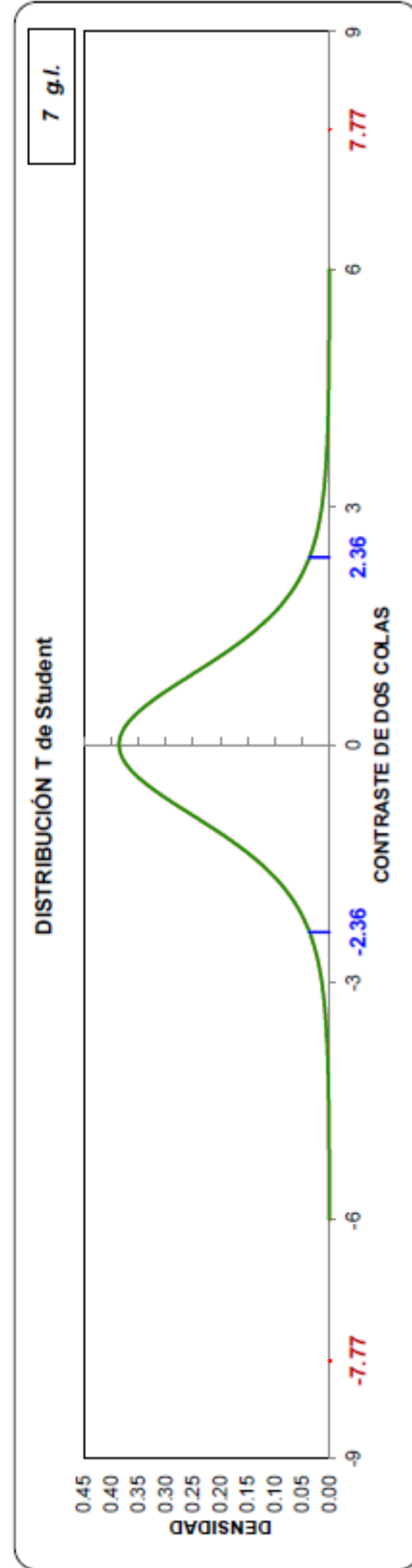
$|t| > t$

Se rechaza H_0

Estadístico (t_0)

$t_0 = -7.77$

$p\text{-value} = 0.0001$



ANÁLISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280
UBICACIÓN:	KM 12+280

ANÁLISIS PARA EL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico	Valor-p
Intercepto	$\hat{\beta}_0$	$\sqrt{CM_E C_{11}}$	$\frac{\hat{\beta}_0}{\sqrt{CM_E C_{11}}}$	$Pr(T > t_o)$
β_1	$\hat{\beta}_1$	$\sqrt{CM_E C_{22}}$	$\frac{\hat{\beta}_1}{\sqrt{CM_E C_{22}}}$	$Pr(T > t_o)$
:	:	:	:	:
β_k	$\hat{\beta}_k$	$\sqrt{CM_E C_{k+1,k+1}}$	$\frac{\hat{\beta}_k}{\sqrt{CM_E C_{k+1,k+1}}}$	$Pr(T > t_o)$

ANÁLISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280 UBICACIÓN: KM 12+280

PARÁMETRO (β_2): Cuadrado medio del Error: $CMe = 0.04$ Estimación $\beta_2 = 3.4896$
Elemento de la diagonal de la matriz $[X'X]^{-1}$: $C33 = 2.8988$ Error estándar $Sb_2 = 0.35$

Prueba del coeficiente
 $H_0 : \beta_2 = 0$
 $H_a : \beta_2 \neq 0$

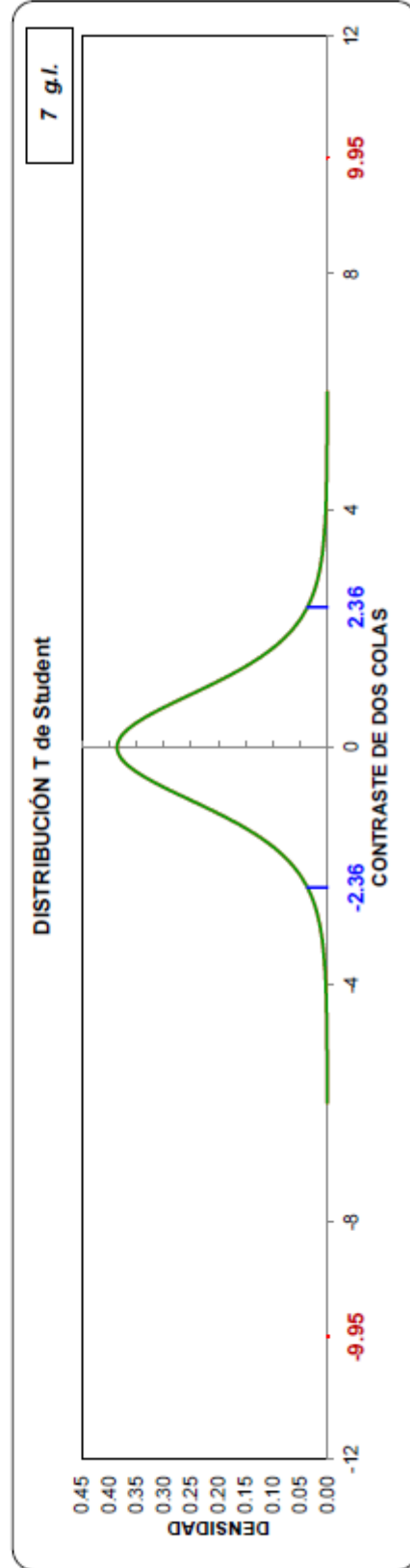
Para:
 $n-k-1 = 7$
 $\alpha = 5\%$
 $\alpha/2 = 0.025$

Conclusión: $|t_0| > t$ **Se rechaza H_0**
 $t = 2.36$ (Ver Tabla de Distribución T para $\alpha/2$)

Estadístico (t_0)

$t_0 = 9.95$

$p\text{-value} = 0.0000$



ANÁLISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARÍA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280 UBICACIÓN: KM 12+280

PARÁMETRO (β_1): Cuadrado medio del Error: $CMe = 0.04$ Estimación $\beta_1 = 0.0335$
 Elemento de la diagonal de la matriz $[X'X]^{-1}$: $C22 = 0.0015$ Error estándar $Sb1 = 0.01$

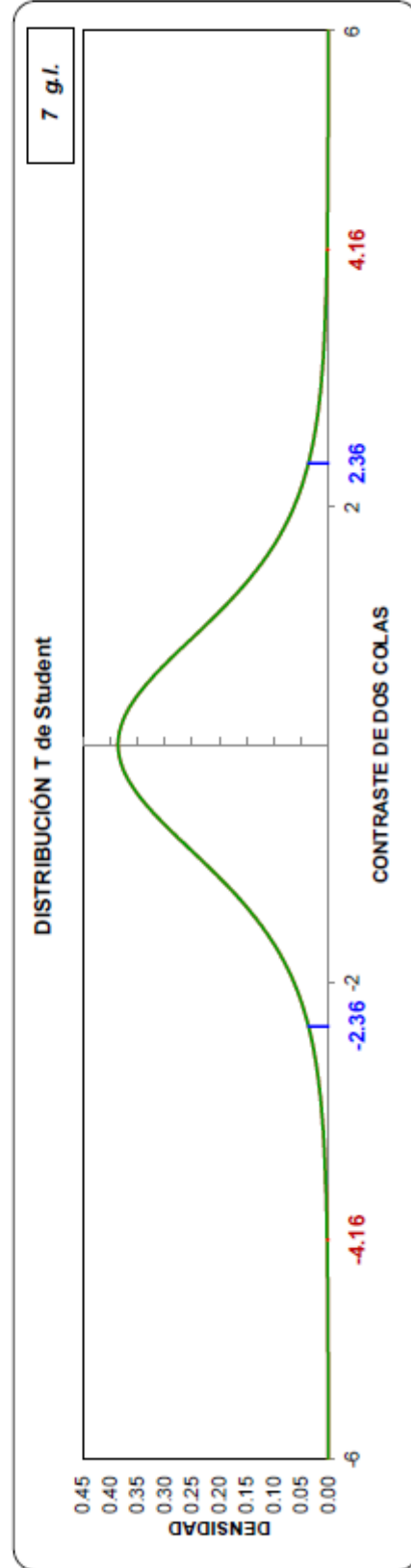
Prueba del coeficiente
 $H_0 : \beta_1 = 0$
 $H_a : \beta_1 \neq 0$

Para: $n-k-1 = 7$
 $\alpha = 5\%$
 $\alpha/2 = 0.025$

Estadístico (to): $t_0 = 4.16$
p-value = 0.0042

Conclusión: $|t_0| > t$
 Se rechaza H_0

$t = 2.36$
 (Ver Tabla de Distribución T para $\alpha/2$)



ANÁLISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280
UBICACIÓN:	KM 12+280

PARÁMETRO (β_4): Cuadrado medio del Error: $CMe = 0.04$ Estimación $\beta_4 = -0.0001$
Elemento de la diagonal de la matriz $[X'X]^{-1}$: $C55 = 0.000000008$ Error estándar $Sb_4 = 0.00$

Prueba del coeficiente
 $H_0 : \beta_4 = 0$
 $H_a : \beta_4 \neq 0$

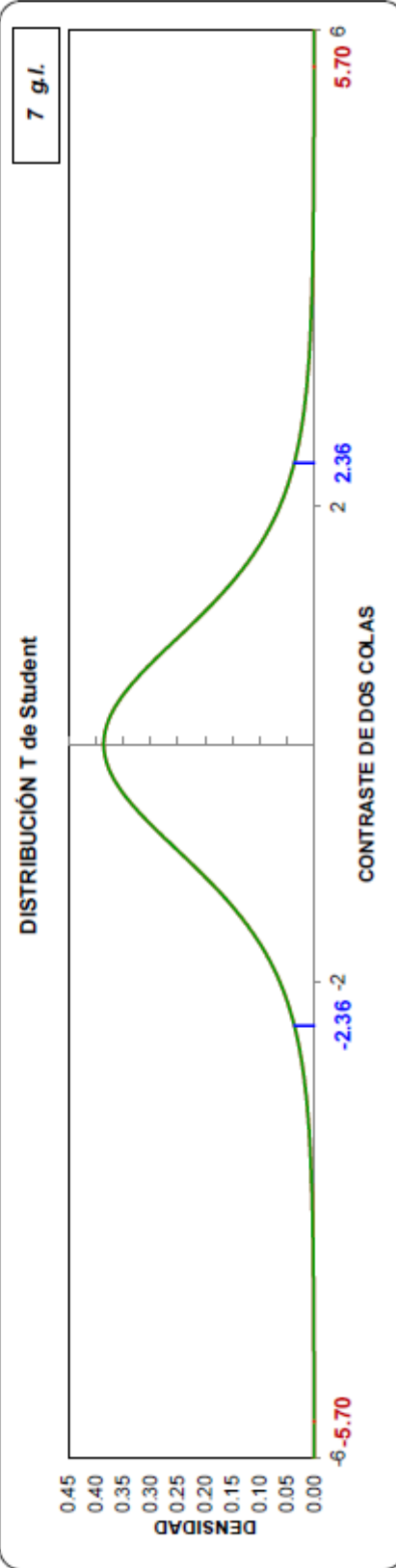
Para:
 $n-k-1 = 7$
 $\alpha = 5\%$
 $\alpha/2 = 0.025$

Conclusión: $|t_0| > t$
Se rechaza H_0

Estadístico (t_0)

$t_0 = -5.70$

p-value = 0.0007



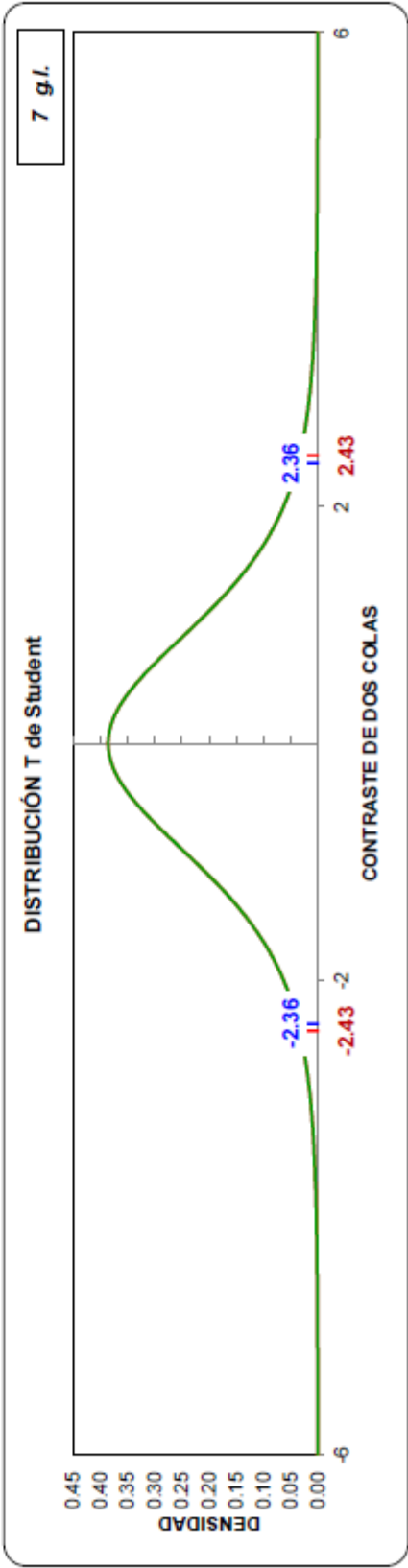
ANÁLISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280 UBIACIÓN: KM 12+280

PARÁMETRO (β_3): Cuadrado medio del Error: $CMe = 0.04$ Estimación $\beta_3 = 0.0022$
Elemento de la diagonal de la matriz $[X'X]^{-1}$: $C44 = 0.000019237$ Error estándar $S\beta_3 = 0.00$

Prueba del coeficiente **Estadístico (to)**
Ho : $\beta_3 = 0$ Para: $n-k-1 = 7$ **to = 2.43**
Ha : $\beta_3 \neq 0$ $\alpha = 5\%$ $\alpha/2 = 0.025$ **p-value = 0.0455**

Conclusión: $|to| > t$ Se rechaza Ho
(Ver Tabla de Distribución T para $\alpha/2$)



ANÁLISIS DE VARIANZA

REALIZADO POR:	BACH. ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO
TESIS:	"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024"
CARRETERA:	EMP. PE-34A – CABANA – CAHUARIA – LLUNGO – ATUNCOLLA – EMP. PE-3S
CANTERA:	KM 12+280
UBICACIÓN:	KM 12+280

PARÁMETRO (β_5): Cuadrado medio del Error: $CMe = 0.04$ Estimación $\beta_5 = -0.2687$
 Elemento de la diagonal de la matriz $[X'X]^{-1}$: $C66 = 0.012874888$ Error estándar $Sb_5 = 0.02$

Prueba del coeficiente

$H_0 : \beta_5 = 0$

$H_a : \beta_5 \neq 0$

Para:

$n-k-1 = 7$

$\alpha = 5\%$

$\alpha/2 = 0.025$

$t = 2.36$

(Ver Tabla de Distribución T para $\alpha/2$)

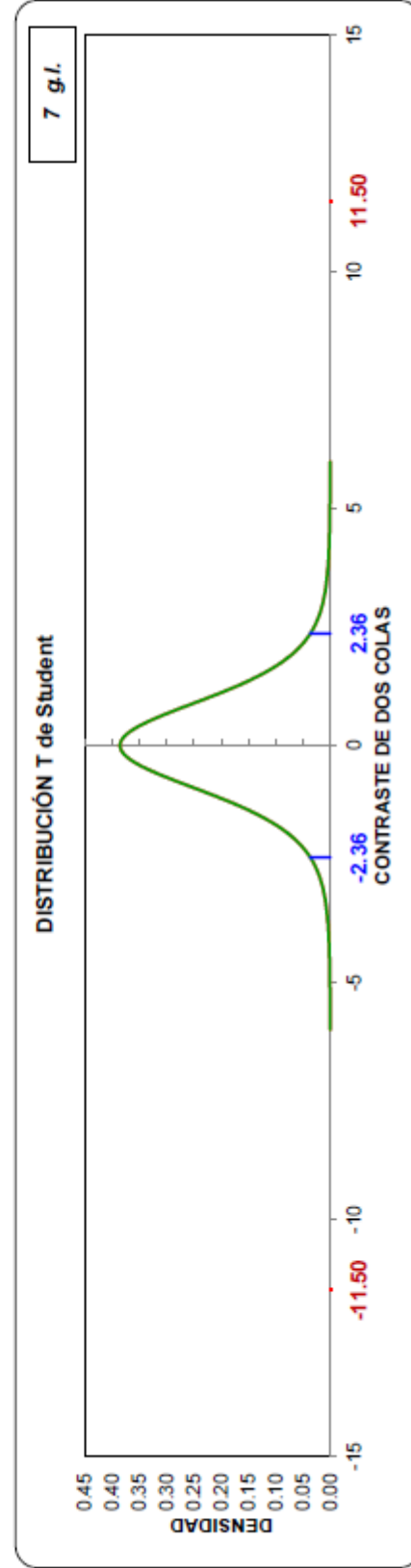
Conclusión: $|t_0| > t$

Se rechaza H_0

Estadístico (t_0)

$t_0 = -11.50$

$p\text{-value} = 0.0000$





DISTRIBUCIÓN F

Puntos críticos al 5% de la distribución F, $P(X > x) = 0.05$

		Grados de libertad en el numerador																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	75	100	∞
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246	246	248	249	250	251	252	253	253	254
2	18.50	19.00	19.20	19.20	19.30	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.40	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50
3	10.10	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.66	8.63	8.62	8.59	8.58	8.56	8.55	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.70	5.68	5.66	5.63	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.56	4.52	4.50	4.46	4.44	4.42	4.41	4.37	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.87	3.83	3.81	3.77	3.75	3.73	3.71	3.67	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.44	3.40	3.38	3.34	3.32	3.29	3.27	3.23	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.15	3.11	3.08	3.04	3.02	2.99	2.97	2.93	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.94	2.89	2.86	2.83	2.80	2.77	2.76	2.71	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.77	2.73	2.70	2.66	2.64	2.60	2.59	2.54	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.47	2.46	2.41	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.54	2.50	2.47	2.43	2.40	2.37	2.35	2.30	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.46	2.41	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.21	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.39	2.34	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.13	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.33	2.28	2.25	2.20	2.18	2.14	2.12	2.07	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.28	2.23	2.19	2.15	2.12	2.09	2.07	2.01	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.23	2.18	2.15	2.10	2.08	2.04	2.02	1.96	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.19	2.14	2.11	2.06	2.04	2.00	1.98	1.92	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	2.00	1.96	1.94	1.88	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20	2.12	2.07	2.04	1.99	1.97	1.93	1.91	1.84	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.90	1.88	1.81	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.87	1.85	1.78	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13	2.05	2.00	1.96	1.91	1.88	1.84	1.82	1.76	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.03	1.97	1.94	1.89	1.86	1.82	1.80	1.73	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.84	1.80	1.78	1.71	
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	1.99	1.94	1.90	1.85	1.82	1.78	1.76	1.69	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.76	1.74	1.67	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.79	1.75	1.73	1.65	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03	1.94	1.89	1.85	1.81	1.77	1.73	1.71	1.64	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.93	1.88	1.84	1.79	1.76	1.72	1.70	1.62	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.84	1.78	1.74	1.69	1.66	1.61	1.59	1.51	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84	1.75	1.69	1.65	1.59	1.56	1.51	1.48	1.39	
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77	1.68	1.62	1.57	1.52	1.48	1.42	1.39	1.28	
∞	3.84	3.00	2.61	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.72	1.69	1.67	1.57	1.51	1.46	1.40	1.35	1.28	1.25	1.03	

Gutiérrez Pulido, H., & De la Vasa Salazar, R. (2008). ANALISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS. Mexico D.F.: McGraw-Hill



PRUEBA T

G.L.	AREA A LA DERECHA DE LOS PUNTOS, $P(X > x)$			
	0.1	0.05	0.025	0.015
1	3.0776835	6.3137515	12.7062050	21.2049490
2	1.8856181	2.9199856	4.3026527	5.6427784
3	1.6377444	2.3533634	3.1824463	3.8960459
4	1.5332063	2.1318468	2.7764451	3.2976297
5	1.4758840	2.0150484	2.5705818	3.0028750
6	1.4397557	1.9431803	2.4469119	2.8289279
7	1.4149239	1.8945786	2.3646243	2.7145730
8	1.3968153	1.8595480	2.3060041	2.6338144
9	1.3830287	1.8331129	2.2621572	2.5738040
10	1.3721836	1.8124611	2.2281389	2.5274842
11	1.3634303	1.7958848	2.2009852	2.4906639
12	1.3562173	1.7822876	2.1788128	2.4607002
13	1.3501713	1.7709334	2.1603687	2.4358452
14	1.3450304	1.7613101	2.1447867	2.4148977
15	1.3406056	1.7530504	2.1314495	2.3970050
16	1.3367572	1.7458837	2.1199053	2.3815454
17	1.3333794	1.7396067	2.1098156	2.3680548
18	1.3303909	1.7340636	2.1009220	2.3561800
19	1.3277282	1.7291328	2.0930241	2.3456475
20	1.3253407	1.7247182	2.0859634	2.3362422
21	1.3231879	1.7207429	2.0796138	2.3277923
22	1.3212367	1.7171444	2.0738731	2.3201596
23	1.3194602	1.7138715	2.0686576	2.3132310
24	1.3178359	1.7108821	2.0638986	2.3069134
25	1.3163451	1.7081408	2.0595386	2.3011295
26	1.3149719	1.7056179	2.0555294	2.2958145
27	1.3137029	1.7032884	2.0518305	2.2909136
28	1.3125268	1.7011309	2.0484071	2.2863802
29	1.3114336	1.6991270	2.0452296	2.2821746
30	1.3104150	1.6972609	2.0422725	2.2782623

Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2008). ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS. Mexico D.F.: McGraw-Hill



ANEXO 07

CERTIFICADOS DE ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE



INFORME DE ENSAYO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

MTC E 1103 - ASTM D 1633

Código : F - 120

Versión : 1.0

Aprobado : ene-24

DATOS GENERALES

PROYECTO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024

UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO

SOLICITANTE: ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO

CODIGO CLIENTE: C - 0374- 24

REGISTRO: E-0002-24

FECHA DE EMISIÓN: 27-sep-24

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL: PROBETA DE SUELO-CEMENTO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

Prob. No	DESCRIPCIÓN	% DE CEMENTO EN PESO	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad días	d _{prom} (mm)	Altura (mm)	Area (cm ²)	Peso (gr.)	Carga Max (Kg-0)	f _c Obtenido (Kg-f/cm ²)	f _c Obtenido (Mpa)
002 - A	PROBETA DE SUELO-CEMENTO	2.0	18-sep-24	27-sep-24	9	102.55	266.50	82.3	3924	1,722.4	20.93	2.1
002 - B			18-sep-24	27-sep-24		101.99	266.40	81.5	3897	1,381.5	16.94	1.7

f_c Obtenido (kg-f/cm²) 09 días



OBSERVACIONES:

- Las muestras de agregados y cemento fueron proporcionadas por el solicitante

CONGEOMAT S.R.L.
John Percy Pariahua Tintava
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.
Dhivis Yury Lara Vilca
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS
CP. N° 210662

Los resultados de este informe corresponden única y exclusivamente a la muestra ensayada. Está prohibido la reproducción parcial de este documento sin la autorización escrita de CONGEOMAT S.R.L., salvo que la reproducción sea en su totalidad.

contacto@congeomat.com
Telf.: (051) 405295
Cel.: (+51) 997164766 - 951404983



CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L.
Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mz. A Lote 30, Salida Huancané
RUC:20606413263





INFORME DE ENSAYO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

MTC E 1103 - ASTM D 1633

Código : F-120
Versión : 1.0
Aprobado : ene-24

DATOS GENERALES

PROYECTO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024 **CÓDIGO CLIENTE:** C-0374-24

UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO **REGISTRO:** E-0001-24

SOLICITANTE: ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO **FECHA DE EMISIÓN:** 21-sep-24

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL: PROBETA DE SUELO-CEMENTO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

Prob. Nro	DESCRIPCIÓN	% DE CEMENTO EN PESO	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad días	Ø (mm)	Altura (mm)	Área (cm ²)	Peso (gr.)	Carga Máx. (Kg-f)	F _c Obtenido (Kg-f/cm ²)	F _c Obtenido (Vpa)
001 - A	PROBETA DE SUELO-CEMENTO	2.0	16-sep-24	21-sep-24	5	101.97	204.76	81.6	3839	1,881.8	18.27	1.9
001 - B			16-sep-24	21-sep-24	5	101.97	203.80	81.2	3849	3,699.4	24.76	2.4

F_c Obtenido (kg-f/cm²) 05 días



OBSERVACIONES:

- Las muestras de agregados y cemento fueron proporcionadas por el solicitante

CONGEOMAT S.R.L.
John Percy Haricahua Tintaya
TAC. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.
Dhevis Yara Yara Vilca
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS
CIP. N° 210662

Los resultados de este informe corresponden única y exclusivamente a la muestra ensayada. Está prohibido la reproducción parcial de este documento sin la autorización escrita de CONGEOMAT S.R.L., salvo que la reproducción sea en su totalidad.

contacto@congeomat.com
Telf.: (051) 405295
Cel.: (+51) 997164766 - 951404988

CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L.
Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mz. A Lote 30, Salida Huancané
RUC:20606413263





INFORME DE ENSAYO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

MTC E 1103 - ASTM D 1633

Código : F-120
Versión : 1.0
Aprobado : ene-24

DATOS GENERALES

PROYECTO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024

UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO

SOLICITANTE: ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO

CÓDIGO CLIENTE: C - 0374- 24
REGISTRO: E-0003-24
FECHA DE EMISIÓN: 28-sep-24

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL: PROBETA DE SUELO-CEMENTO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

Prob. No.	DESCRIPCIÓN	% DE CEMENTO EN PESO	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad días	Ápex (mm)	Altura (mm)	Área (cm ²)	Peso (gr.)	Carga Máx. (kg-f)	F _c Obtenido (kg-t/cm ²)	F _c Obtenido (N/mm ²)
003 - A	PROBETA DE SUELO-CEMENTO	5.0	19-sep-24	28-sep-24	9	103.28	207.26	82.0	2026	3,976.2	43.01	4.3
003 - B			19-sep-24	28-sep-24		102.91	204.48	82.8	3664	4,917.3	45.01	4.5

F_c Obtenido (kg-f/cm²) 09 días



OBSERVACIONES:

- Las muestras de agregados y cemento fueron proporcionadas por el solicitante

CONGEOMAT S.R.L.
John Percy Paricahua Tintaya
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.
Dhcevis Yury Jara Vilca
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS
CIP N° 210662

Los resultados de este informe corresponden única y exclusivamente a la muestra ensayada
Está prohibido la reproducción parcial de este documento sin la autorización escrita de CONGEOMAT S.R.L., salvo que la reproducción sea en su totalidad.

✉ contacto@congeomat.com
Telf.: (051) 405295
Cel.: (+51) 997164766 - 951404988



CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L.
Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mz. A Lote 30, Salida Huancané
RUC:20606413263





INFORME DE ENSAYO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

MTC E 1103 - ASTM D 1633

Código : F - 120
Versión : 1.0
Aprobado : ene-24

DATOS GENERALES

PROYECTO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024 **CÓDIGO CLIENTE:** C - 0374- 24

UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO **REGISTRO:** E-0004-24

SOLICITANTE: ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO **FECHA DE EMISIÓN:** 24-sep-24

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL: PROBETA DE SUELO-CEMENTO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

Prob. No.	DESCRIPCIÓN	% DE CEMENTO EN PESO	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad días	d _{50%} (mm)	Ábata (mm)	Área (cm ²)	Peso (gr)	Carga Máx. (Kg-f)	Fc Obtenido (Kg/cm ²)	Fc Obtenido (Mpa)
004 - A	PROBETA DE SUELO-CEMENTO	5.0	19-sep-24	24-sep-24	5	101.99	205.90	80.8	3647	3,009.0	37.93	3.7
004 - B			19-sep-24	24-sep-24	5	101.99	205.90	81.8	3960	3,704.0	40.77	4.0

Fc Obtenido (kg-f/cm²) 05 días



OBSERVACIONES:

- Las muestras de agregados y cemento fueron proporcionadas por el solicitante

CONGEOMAT S.R.L.
John Percy Parichua Tintaya
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.
Dhucuis Yury Jara Vilca
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS
CIP. N° 210562

Los resultados de este informe corresponden única y exclusivamente a la muestra ensayada. Está prohibido la reproducción parcial de este documento sin la autorización escrita de CONGEOMAT S.R.L., salvo que la reproducción sea en su totalidad.

contacto@congeomat.com
Telf.: (051) 405295
Cel.: (+51) 997164756 - 951404988



CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L.
Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mz. A Lote 30, Salida Huancané
DUI-1000014302





INFORME DE ENSAYO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

MTC E 1103 - ASTM D 1633

Código : F - 120
Versión : 1.0
Aprobado : ene-24

DATOS GENERALES

PROYECTO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024
UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO
SOLICITANTE: ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO

CÓDIGO CLIENTE: C - 0374- 24
REGISTRO: E-0009-24
FECHA DE EMISIÓN: 25-ene-24

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL: PROBETA DE SUELO-CEMENTO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

Prob. No.	DESCRIPCIÓN	% DE CEMENTO EN PESO	Fecha Molida	Fecha Rotura	Edad días	diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (cm ²)	Peso (gr)	Carga Máx (kg-f)	F _c Obtenido (kg./cm ²)	F _c Obtenido (Mpa)
005 - A	PROBETA DE SUELO-CEMENTO	1.0	18-ene-24	21-ene-24	7	102.15	204.30	82.0	3833	1,187.4	14.48	1.4
005 - B			18-ene-24	21-ene-24		101.70	203.70	80.9	3833	952.0	11.89	1.2

f_c Obtenido (kg-f/cm²) 07 días



OBSERVACIONES:

- Las muestras de agregados y cemento fueron proporcionadas por el solicitante

CONGEOMAT S.R.L.
John Percy Paricahua Tintaya
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.
Dhivis Yury Jara Vilca
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS
CIP N° 210662

Los resultados de este informe corresponden única y exclusivamente a la muestra ensayada. Está prohibido la reproducción parcial de este documento sin la autorización escrita de CONGEOMAT S.R.L., salvo que la reproducción sea en su totalidad.

✉ contacto@congeomat.com
☎ Telf.: (051) 405295
☎ Cel.: (+51) 997164766 - 951404988



CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L.
Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mz. A Lote 30, Salida Huancané
RUC:20606413263





INFORME DE ENSAYO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

MTC E 1103 - ASTM D 1633

Código : F - 120

Version : 1.0

Aprobado : ene-24

DATOS GENERALES

PROYECTO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024

CÓDIGO CLIENTE: C - 0374- 24

REGISTRO: E-0008-24

UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO

FECHA DE EMISIÓN: 27-sep-24

SOLICITANTE: ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL: PROBETA DE SUELO-CEMENTO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

Prob. No	DESCRIPCIÓN	% DE CEMENTO EN PESO	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad días	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (cm ²)	Peso (gr)	Carga Máx. (Kg-f)	f _c Obtenido (Kg-f/cm ²)	f _c Obtenido (Mpa)
006 - A	PROBETA DE SUELO-CEMENTO	8.0	29-sep-24	27-sep-24	7	101.20	204.60	60.9	3881	4,793.8	68.87	8.7
006 - B			29-sep-24	27-sep-24		101.40	206.20	60.8	3857	4,526.5	56.08	8.0

f_c Obtenido (kg-f/cm²) 07 días



OBSERVACIONES:

- Las muestras de agregados y cemento fueron proporcionadas por el solicitante

CONGEMAT S.R.L.

 John Percy Paridahua Tintaya
 TFC DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEMAT S.R.L.

 Dheims Yury Jara Vilca
 ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS
 CIP. N° 210662

Los resultados de este informe corresponden única y exclusivamente a la muestra ensayada. Está prohibido la reproducción parcial de este documento sin la autorización escrita de CONGEMAT S.R.L., salvo que la reproducción sea en su totalidad.

✉ contacto@congeomat.com
 Telf.: (051) 405295
 Cel.: (+51) 997164766 - 951404983

CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L.
 Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mz. A Lote 30, Salida Huancané
 RUC:20606413263





INFORME DE ENSAYO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

MTC E 1103 - ASTM D 1633

Código : F - 120

Versión : 1.0

Aprobada : ene-24

DATOS GENERALES

PROYECTO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024

UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO

SOLICITANTE: ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO

CÓDIGO CLIENTE: C - 0374- 24

REGISTRO: E-0007-24

FECHA DE EMISIÓN: 20-ago-24

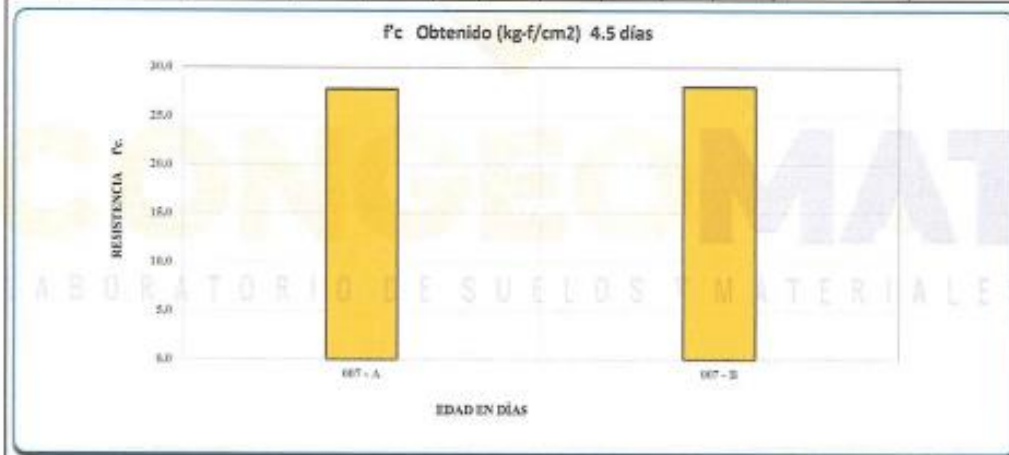
DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL: PROBETA DE SUELO-CEMENTO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

Prob. No.	DESCRIPCIÓN	% DE CEMENTO EN PESO	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad (días)	diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (cm ²)	Peso (gr)	Carga Máx. (Kg-f)	Fc Obtenido (Kg/cm ²)	Fc Obtenido (Mpa)
007 - A	PROBETA DE SUELO-CEMENTO	7.5	16-ago-24	23-ago-24	4.5	103.05	206.30	83.4	3899	2,319.2	27.77	2.7
007 - B			16-ago-24	23-ago-24		101.81	201.40	81.2	3870	2,275.9	28.02	2.7

f_c Obtenido (kg-f/cm²) 4.5 días



OBSERVACIONES:

- Las muestras de agregados y cemento fueron proporcionadas por el solicitante

CONGEOMAT S.R.L.
John Percy Paricahua Tintaya
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.
Dheisis Yury Jara Vilca
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS
CIP. N° 210662

Los resultados de este informe corresponden única y exclusivamente a la muestra ensayada. Está prohibido la reproducción parcial de este documento sin la autorización escrita de CONGEOMAT S.R.L. salvo que la reproducción sea en su totalidad.

contacto@congeomat.com
Telf.: (051) 405295
Cel.: (+51) 997164766 - 951404983



CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L.
Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mz. A Lote 30, Salida Huancané
RUC:20606413263





INFORME DE ENSAYO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

MTC E 1103 - ASTM D 1633

Código : F-120
Versión : 1.0
Aprobado : ene-24

DATOS GENERALES

PROYECTO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024 **CÓDIGO CLIENTE:** C - 0074- 24

UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO **REGISTRO:** E-0008-24

SOLICITANTE: ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO **FECHA DE EMISIÓN:** 25-ene-24

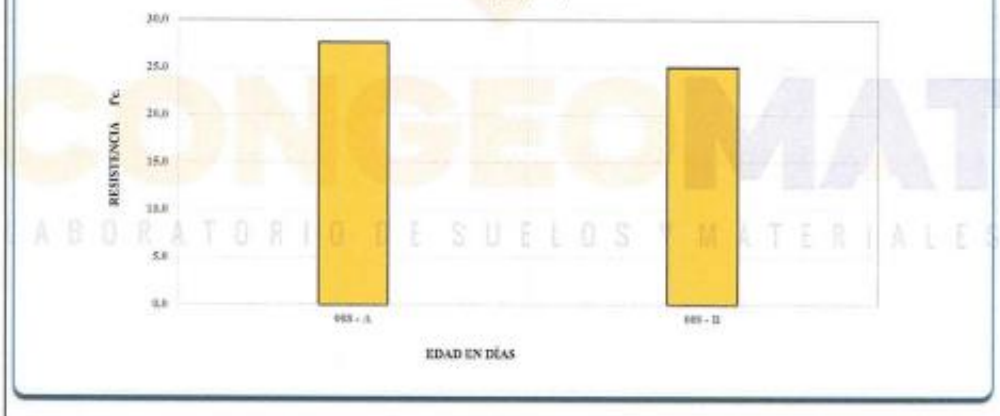
DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL: PROBETA DE SUELO-CEMENTO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

Prob. Nro	DESCRIPCIÓN	% DE CEMENTO EN PESO	Fecha Muestreo	Fecha Rotura	Edad días	esphn (mm)	Altura (mm)	Área (cm ²)	Peso (gr)	Carga Máx. (Kg-f)	Fc Obtenido (Kg./cm ²)	Fc Obtenido (Mpa)
058 - A	PROBETA DE SUELO-CEMENTO	5.5	19-sep-24	27-sep-24	9.5	101.39	201.80	91.0	3972	2,259.7	27.67	2.7
058 - B			19-sep-24	27-sep-24		102.31	206.40	82.3	3854	2,098.6	25.02	2.5

Fc Obtenido (kg-f/cm²) 9.5 días



OBSERVACIONES:

- Las muestras de agregados y cemento fueron proporcionadas por el solicitante

CONGEOMAT S.R.L.
John Percy Parichua Tintaya
F.C. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.
Dhucius Yury Jara Vilca
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS
CIP. N° 210662

Los resultados de este informe corresponden única y exclusivamente a la muestra ensayada. Está prohibida la reproducción parcial de este documento sin la autorización escrita de CONGEOMAT S.R.L., salvo que la reproducción sea en su totalidad.

contacto@congeomat.com
Telf.: (051) 405295
Cel.: (+51) 997164766 - 951404983

CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L.
Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mz. A Lote 30, Salida Huancané
RUC:20606413263





INFORME DE ENSAYO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

MTS E 1103 - ASTM D 1633

Código : F - 120
Versión : 1.0
Aprobado : ene-24

DATOS GENERALES

PROYECTO: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024

UBICACIÓN: JULIACA - SAN ROMÁN - PUNO

SOLICITANTE: ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO

CÓDIGO CLIENTE: C - 0374- 24
REGISTRO: E-0009-24
FECHA DE EMISIÓN: 22-sep-24

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL: PROBETA DE SUELO-CEMENTO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO

Prob. No.	DESCRIPCIÓN	% DE CEMENTO EN PESO	Fecha Moldeo	Fecha Rotura	Edad días	diámetro (mm)	Altura (mm)	Área (cm ²)	Peso (gr)	Carga Máx. (Kg-f)	F _c Obtenido (Kg/cm ²)	F _c Obtenido (Mpa)
009 - A	PROBETA DE SUELO-CEMENTO	3.5	14-sep-24	21-sep-24	7	102.45	301.60	82.4	3782	3,632.1	44.06	4.5
009 - B			14-sep-24	21-sep-24		101.85	306.20	81.5	3865	3,801.2	46.86	4.6
009 - C			14-sep-24	21-sep-24		102.15	301.20	82.0	3866	3,881.1	47.36	4.6
009 - D			14-sep-24	21-sep-24		102.15	294.70	82.0	3835	3,578.1	43.82	4.3
009 - E			15-sep-24	21-sep-24		101.90	301.20	81.1	3838	3,723.6	46.86	4.5



OBSERVACIONES:

- Las muestras de agregados y cemento fueron proporcionadas por el solicitante

CONGEOMAT S.R.L.
John Percy Patichahua Tintaya
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS

CONGEOMAT S.R.L.
Dhevis Yury Jara Vilca
ING. DE SUELOS Y PAVIMENTOS
CIP. N° 210662

Los resultados de este informe corresponden única y exclusivamente a la muestra ensayada. Está prohibido la reproducción parcial de este documento sin la autorización escrita de CONGEOMAT S.R.L., salvo que la reproducción sea en su totalidad.

contacto@congeomat.com
Telf.: (051) 405295
Cel.: (+51) 997164766 - 951404983



CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L.
Juliaca: Jr. 16 de diciembre Mz. A Lote 30, Salida Huancané
RUC:20606413263





ANEXO 08

CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS

121



Laboratorio PP

Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-1311-2024

Página: 1 de 3

Expediente : 430-2024
 Fecha de Emisión : 2024-09-21

1. Solicitante : CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L
 Dirección : JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO

2. Instrumento de Medición : BALANZA
 Marca : OHAUS
 Modelo : PAJ3102
 Número de Serie : 033181026
 Alcance de Indicación : 3 100 g
 División de Escala de Verificación (e) : 0,1 g
 División de Escala Real (d) : 0,01 g
 Procedencia : CHINA
 Identificación : EQ-BAL-006
 Tipo : ELECTRÓNICA
 Ubicación : LABORATORIO
 Fecha de Calibración : 2024-09-18

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Método de Calibración
 La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y Clase II del SNM-INDECOPI.
4. Lugar de Calibración
 LABORATORIO de CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L
 JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Loayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro INACAL - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-1311-2024

Página: 2 de 3

5. Condiciones Ambientales

	Mínima	Máxima
Temperatura	17,7	17,8
Humedad Relativa	40,8	41,7

6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
INACAL - DM	Juego de pesas (exactitud F1)	0885-MPES-C-2024

7. Observaciones

Antes del ajuste, la indicación de la balanza fue de 3 100,74 g para una carga de 3 100,00 g

El ajuste de la balanza se realizó con las pesas de Punto de Precisión S.A.C.

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metrología Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

De acuerdo con lo indicado por el cliente, la temperatura local varía de 14 °C a 21 °C.

El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente.

La incertidumbre reportada en el presente certificado de calibración no incluye la contribución a la incertidumbre por deriva de la balanza.

8. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	TIENE
NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1 ^m 1 (g)	Temp. (°C)		Carga L2 ^m 1 (g)	ΔL (g)	E (g)
		Inicia	Final			
		17,7	17,8			
1	1 500,00	0,005	-0,004	2 999,99	0,004	-0,014
2	1 500,01	0,006	0,005	2 999,99	0,003	-0,013
3	1 500,01	0,007	0,004	3 000,00	0,005	-0,005
4	1 500,00	0,005	-0,004	3 000,00	0,006	-0,006
5	1 500,01	0,007	0,004	3 000,01	0,007	0,003
6	1 500,01	0,006	0,003	3 000,01	0,006	0,002
7	1 500,01	0,006	0,005	3 000,00	0,006	-0,008
8	1 500,01	0,007	0,004	3 000,00	0,005	-0,005
9	1 500,00	0,008	-0,007	3 000,00	0,006	-0,006
10	1 500,00	0,005	-0,004	3 000,00	0,007	-0,007
Diferencia Máxima		0,012				0,017
Error máximo permitido ±		0,2 g		±		0,3 g



PT-05.F05 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

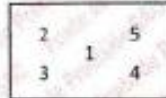


Laboratorio PP

Punto de Precisión SAC
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-1311-2024
Página: 3 de 3



ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Temp. (°C) Initial Final
17,8 17,8

Posición de la Carga	Determinación de E ₀				Determinación del Error corregido				
	Carga mínima (g)	I (g)	ΔL (g)	E ₀ (g)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)
1	1,000	1,00	0,005	0,000	1 000,003	1 000,00	0,005	-0,003	-0,003
2		1,00	0,008	-0,001		1 000,01	0,006	0,006	0,007
3		1,00	0,007	-0,002		1 000,02	0,007	0,005	0,017
4		1,00	0,008	-0,003		1 000,02	0,006	0,014	0,017
6		1,00	0,008	-0,001		1 000,00	0,005	-0,003	-0,002

(*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido: ± 0,2 g

ENSAYO DE PESAJE

Temp. (°C) Initial Final
17,8 17,8

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				± emp (g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)	
1,000	1,00	0,005	0,000						
5,000	5,01	0,006	0,009	0,008	5,00	0,005	0,000	0,000	0,1
20,000	20,02	0,007	0,018	0,018	20,00	0,006	-0,001	-0,001	0,1
100,000	100,02	0,008	0,017	0,017	100,01	0,007	0,008	0,008	0,1
500,001	500,01	0,005	0,009	0,009	500,01	0,008	0,008	0,008	0,1
700,002	700,01	0,006	0,007	0,007	700,00	0,005	-0,002	-0,002	0,2
1 000,003	1 000,01	0,007	0,005	0,005	1 000,01	0,006	0,006	0,006	0,2
1 500,004	1 500,00	0,008	-0,007	-0,007	1 500,01	0,007	0,004	0,004	0,2
2 000,002	2 000,01	0,005	0,005	0,005	2 000,01	0,006	0,005	0,005	0,2
3 000,005	3 000,00	0,006	-0,006	-0,006	3 000,00	0,005	-0,005	-0,005	0,3
3 100,005	3 100,00	0,007	-0,007	-0,007	3 100,00	0,007	-0,007	-0,007	0,3

e.m.p.: error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R - 7,67 \times 10^{-7} \times R$$

Incetidumbre

$$U_R = 2 \sqrt{7,57 \times 10^{-5} \text{ g}^2 + 4,50 \times 10^{-16} \times R^2}$$

R: Lectura (g) o volumen M: Carga incrementada E: Error encorsetado E₀: Error en bias E_c: Error corregido

R: en g

FIN DEL DOCUMENTO



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

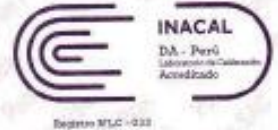
www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

Punto de Precisión SAC
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro NLC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-1314-2024

Página: 1 de 3

- Expediente : 430-2024
- Fecha de Emisión : 2024-09-21
- 1. Solicitante** : **CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L**
- Dirección : JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO
- 2. Instrumento de Medición** : **BALANZA**
- Marca : **OHAUS**
- Modelo : **CS 200**
- Número de Serie : **NO INDICA**
- Alcance de Indicación : **200 g**
- División de Escala de Verificación (e) : **0,1 g**
- División de Escala Real (d) : **0,1 g**
- Procedencia : **NO INDICA**
- Identificación : **EQ-BAL-001**
- Tipo : **ELECTRÓNICA**
- Ubicación : **LABORATORIO**
- Fecha de Calibración : **2024-09-18**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Método de Calibración
La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-001 1ra Edición, 2019; Procedimiento para la calibración de instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático clase III y IIII del INACAL-DM.

4. Lugar de Calibración
LABORATORIO de CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L
JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Lqayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.





Laboratorio PP

Punto de Precisión SAC
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-1314-2024

Página 3 de 3

2	5
1	4
3	

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Temp. (°C)	Inicial	Final
	17,7	17,7

Posición de la Carga	Determinación de E _c				Determinación del Error corregido				
	Carga mínima (g)	f (g)	ΔL (g)	E _c (g)	Carga L (g)	f (g)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)
1	1,00	1,0	0,05	0,00	60,00	60,0	0,05	0,00	0,00
2		1,0	0,06	-0,01		60,0	0,06	-0,01	0,00
3		1,0	0,07	-0,02		60,0	0,07	-0,02	0,00
4		1,0	0,08	-0,03		60,0	0,08	-0,03	0,00
5		1,0	0,05	0,00		60,0	0,06	-0,01	-0,01

(*) valor entre 0 y 10 e

Error máximo permitido: ± 0,2 g

ENSAYO DE PESAJE

Temp. (°C)	Inicial	Final
	17,7	17,7

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				± emp (g)
	f (g)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)	f (g)	ΔL (g)	E (g)	E _c (g)	
1,00	1,0	0,05	0,00						
2,00	2,0	0,06	-0,01	-0,01	2,0	0,05	0,00	0,00	0,1
5,00	5,0	0,07	-0,02	-0,02	5,0	0,06	-0,01	-0,01	0,1
10,00	10,0	0,08	-0,03	-0,03	10,0	0,07	-0,02	-0,02	0,1
20,00	20,0	0,05	0,00	0,00	20,0	0,06	-0,03	-0,03	0,1
50,00	50,0	0,06	-0,01	-0,01	50,0	0,06	-0,01	-0,01	0,1
70,00	70,0	0,07	-0,02	-0,02	70,0	0,05	0,00	0,00	0,2
100,00	100,0	0,08	-0,03	-0,03	99,9	0,04	-0,09	-0,09	0,2
120,00	120,0	0,05	0,00	0,00	120,0	0,05	0,00	0,00	0,2
150,00	150,0	0,06	-0,01	-0,01	150,0	0,07	-0,02	-0,02	0,2
200,00	200,0	0,07	-0,02	-0,02	200,0	0,07	-0,02	-0,02	0,2

e. m. p. error máximo permitido

Lectura corregida e incertidumbre expandida del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R + 2,19 \times 10^{-4} \times R$$

Incetidumbre

$$U_R = 2 \sqrt{3,58 \times 10^{-5} \text{ g}^2 + 9,44 \times 10^{-8} \times R^2}$$

R: Lectura de la balanza ΔL: Carga incrementada E: Error encontrado E_c: Error en caso E_c: Error corregido

R: en g

FIN DEL DOCUMENTO



PT-06.F06 / Diciembre 2018 / Rev 02

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com





Laboratorio PP

Punto de Precisión SAC LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-1314-2024

Página: 2 de 3

5. Condiciones Ambientales

	Mínima	Máxima
Temperatura	17,7	17,7
Humedad Relativa	45,6	45,6

6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
INACAL - DM	Juego de pesas (exactitud F1)	0885-MPES-C-2024

7. Observaciones

No se realizó ajuste a la balanza antes de su calibración.

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud III, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009, Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta adhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

De acuerdo con lo indicado por el cliente, la temperatura local varía de 14 °C a 21 °C.

El laboratorio no se hace responsable por la información suministrada por el cliente.

La incertidumbre reportada en el presente certificado de calibración no incluye la contribución a la incertidumbre por deriva de la balanza.

8. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	NO TIENE
NIVELACIÓN	NO TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1*	Temp. (°C)		Carga L2*	ΔL (g)	E (g)
		Inicial	Final			
		17,7	17,7			
	100,0 g			200,0 g		
1	100,0	0,05	0,00	199,9	0,03	-0,06
2	100,0	0,06	-0,01	199,9	0,04	-0,09
3	100,0	0,07	-0,02	199,9	0,03	-0,06
4	100,0	0,08	-0,03	199,9	0,04	-0,09
5	100,0	0,06	-0,01	200,0	0,05	0,00
6	100,0	0,08	-0,03	200,0	0,06	-0,01
7	100,0	0,05	0,00	200,0	0,07	-0,02
8	100,0	0,06	-0,01	200,0	0,08	-0,03
9	100,0	0,05	0,00	199,9	0,04	-0,09
10	100,0	0,07	-0,02	200,0	0,05	0,00
Diferencia Máxima						0,09
Error máximo permitido ±				0,2 g		± 0,3 g



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com



Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP-927-2024

Página 1 de 2

Expediente : 430-2024
 Fecha de emisión : 2024-09-21

1. Solicitante : CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L

Dirección : JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO

2. Descripción del Equipo : PRENSA CBR

Marca de Prensa : ARSOU GROUP
 Modelo de Prensa : PR401
 Serie de Prensa : 41025
 Código de Identificación : EQ-PCBR-001

Marca de Celda : ANY LOAD
 Modelo de Celda : 101NH-10KLB
 Serie de Celda : 1718001211
 Capacidad de Celda : 5 t

Marca de indicador : ANY LOAD
 Modelo de Indicador : DD-KC1
 Serie de Indicador : 49200000J1

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicado ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración
JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO
19 - SETIEMBRE - 2024

4. Método de Calibración
La Calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	INF-LE 217	SISTEMA INTERNACIONAL
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS		

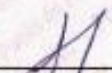
6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	15,4	15,4
Humedad %	52	52

7. Resultados de la Medición
Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. Observaciones
Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.




 Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Loayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP-927-2024

Página : 2 de 2

TABLA N° 1

SISTEMA DIGITAL "A" kgf	SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf)				PROMEDIO "B" kgf	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
500	504,70	504,80	-0,94	-0,96	504,75	-0,94	-0,02
1000	1005,70	1005,90	-0,57	-0,59	1005,80	-0,58	-0,02
1500	1506,20	1506,40	-0,41	-0,43	1506,30	-0,42	-0,01
2000	2006,50	2006,30	-0,33	-0,31	2006,40	-0,32	0,01
2500	2506,70	2507,40	-0,27	-0,30	2507,05	-0,28	-0,03
3000	3007,70	3006,50	-0,26	-0,22	3007,10	-0,24	0,04
3500	3507,30	3507,20	-0,21	-0,21	3507,25	-0,21	0,00
4000	4007,90	4008,10	-0,20	-0,20	4008,00	-0,20	0,00

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

1.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

$$Ep = ((A-B) / B) * 100 \quad Rp = Error(2) - Error(1)$$

2.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %

3.- Coeficiente Correlación: $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste : $y = 0,9992x - 4,8068$

Donde: x : Lectura de la pantalla
y : Fuerza promedio (kgf)

GRÁFICO N° 1

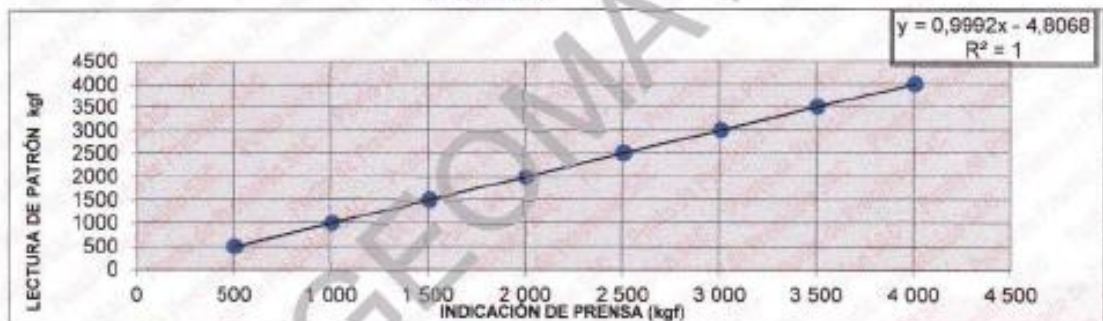
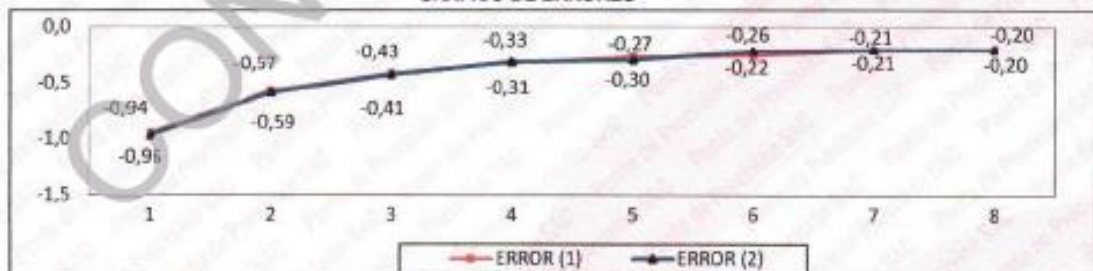


GRÁFICO DE ERRORES



FIN DEL DOCUMENTO



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe contacto@puntodeprecision.com



PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-904-2024

Página 1 de 5

Expediente : 430-2024
Fecha de emisión : 2024-09-21

1. Solicitante : CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L.
Dirección : JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO

2. Instrumento de medición : MEDIO ISOTERMO (HORNO)

Marca : PYS EQUIPOS
Modelo : STHX-1A
Número de Serie : 2205149
Procedencia : NO INDICA
Código de identificación : EQ-HOR-002

Tipo de indicador del Ind. : DIGITAL
Alcance del indicador : NO INDICA
Resolución del Indicador : 0,1 °C
Marca del Indicador : AUTCOMP
Modelo del Indicador : TCD
Serie del Indicador : NO INDICA

Tipo de indicador del selc. : DIGITAL
Alcance del Selector : NO INDICA
División de Escala : 0,1 °C
Clase : NO INDICA

Punto de calibración : 110 °C ± 5 °C
Fecha de calibración : 2024-09-19

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la unidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Método de calibración

La calibración se realizó según la PC.019 "Procedimiento de calibración para medios isotermicos usando aire como medio conductor".

4. Lugar de calibración

JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Lbayza Capcha
Reg. CIP N° 152631





Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-904-2024
Página 2 de 5

5. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura ambiental (°C)	16,4	16,4
Humedad relativa (%/hr)	44,0	43,0

6. Trazabilidad

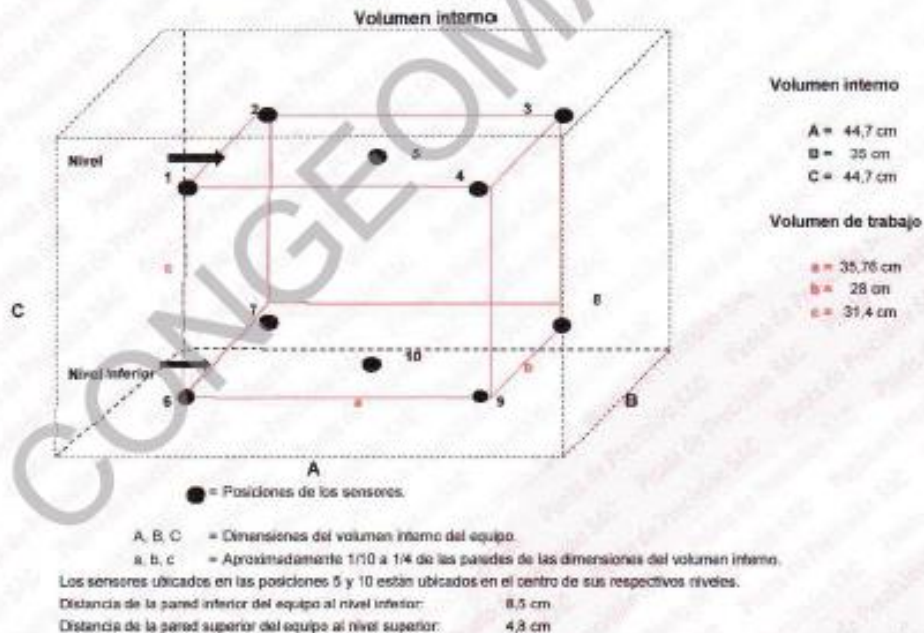
Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Patrón utilizado	N° de Certificado	Trazabilidad
Termómetro digital de 12 sensores temporales tipo T con una incertidumbre en el orden de 0,108 °C a 0,121 °C.	0227-LT-2024	CADENT

7. Observaciones

- La incertidumbre de medición calculada (U), ha sido determinada apartir de la incertidumbre estándar de medición combinada, multiplicada por el factor de cobertura $k=2$. Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza de aproximadamente 95%.
- Se colocó una etiqueta adherido al instrumento de medición con la indicación "CALIBRADO".
- La carga para la prueba consistió en fozón de acero.
- Se seleccionó el selector del equipo en 110 °C, para obtener una temperatura de trabajo aproximada a 110 °C.

8. Ubicación dentro del volumen interno del equipo



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631





Laboratorio PP

PUNTO DE PRECIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-904-2024

Página 3 de 5

a. Resultados de la calibración

Temperaturas registradas en el punto de calibración : 110 °C ± 5 °C

Tiempo hh:mm	Indicador del equipo (°C)	Temperaturas convencionalmente verdaderas expresadas en °C										T. prom. °C	ΔT. °C
		Posición 1	Posición 2	Posición 3	Posición 4	Posición 5	Posición 6	Posición 7	Posición 8	Posición 9	Posición 10		
00:00	110,0	104,3	106,4	105,0	107,1	105,6	112,6	112,2	113,9	113,9	111,6	109,3	9,6
00:02	109,9	104,6	106,4	104,9	107,2	105,1	112,6	112,2	113,3	114,0	111,7	109,2	9,3
00:04	110,0	104,5	106,0	104,8	107,1	104,8	112,6	112,3	113,8	113,9	111,4	109,1	9,4
00:06	110,0	104,6	106,4	104,9	107,1	104,7	112,5	112,3	113,5	113,9	111,8	109,2	9,2
00:08	109,9	104,3	106,5	104,9	107,2	104,8	112,5	112,2	113,6	113,9	111,8	109,2	9,5
00:10	110,0	104,7	106,5	105,0	107,1	104,9	112,6	112,0	113,7	113,9	111,8	109,2	9,2
00:12	110,0	104,4	106,4	104,7	107,2	105,5	112,6	111,9	113,6	113,9	111,7	109,2	9,5
00:14	109,9	104,5	106,4	104,8	107,0	105,4	112,6	111,9	113,6	113,9	111,7	109,2	9,4
00:16	110,0	104,1	106,4	104,8	107,1	105,1	112,7	112,3	113,3	113,6	111,6	109,1	9,7
00:18	109,9	104,1	106,4	104,9	107,3	105,0	112,6	112,3	113,7	114,1	111,7	109,2	10,0
00:20	110,0	104,3	106,4	105,0	107,1	105,6	112,6	112,2	113,9	113,9	111,8	109,3	9,6
00:22	109,9	104,6	106,4	104,9	107,2	105,1	112,6	112,2	113,3	114,0	111,7	109,2	9,3
00:24	110,0	104,5	106,0	104,8	107,1	104,8	112,6	112,3	113,8	113,9	111,4	109,1	9,4
00:26	110,0	104,6	106,4	104,9	107,1	104,7	112,5	112,3	113,5	113,9	111,8	109,2	9,2
00:28	109,9	104,3	106,5	104,9	107,2	104,8	112,5	112,2	113,6	113,9	111,8	109,2	9,5
00:30	110,0	104,7	106,5	105,0	107,1	104,9	112,6	112,0	113,7	113,9	111,8	109,2	9,2
00:32	110,0	104,4	106,4	104,7	107,2	105,5	112,6	111,9	113,6	113,9	111,7	109,2	9,5
00:34	109,9	104,5	106,4	104,8	107,0	105,4	112,6	111,9	113,6	113,9	111,7	109,2	9,4
00:36	110,0	104,1	106,4	104,8	107,1	105,1	112,7	112,3	113,3	113,6	111,6	109,1	9,7
00:38	109,9	104,1	106,4	104,9	107,3	105,0	112,6	112,3	113,7	114,1	111,7	109,2	10,0
00:40	110,0	104,3	106,4	105,0	107,1	105,6	112,6	112,2	113,9	113,9	111,8	109,3	9,6
00:42	109,9	104,6	106,4	104,9	107,2	105,1	112,6	112,2	113,3	114,0	111,7	109,2	9,3
00:44	110,0	104,5	106,0	104,8	107,1	104,8	112,6	112,3	113,8	113,9	111,4	109,1	9,4
00:46	110,0	104,6	106,4	104,9	107,1	104,7	112,5	112,3	113,5	113,9	111,8	109,2	9,2
00:48	109,9	104,3	106,5	104,9	107,2	104,8	112,5	112,2	113,6	113,9	111,8	109,2	9,5
00:50	110,0	104,7	106,5	105,0	107,1	104,9	112,6	112,0	113,7	113,9	111,8	109,2	9,2
00:52	110,0	104,4	106,4	104,7	107,2	105,5	112,6	111,9	113,6	113,9	111,7	109,2	9,5
00:54	109,9	104,5	106,4	104,8	107,0	105,4	112,6	111,9	113,6	113,9	111,7	109,2	9,4
00:56	110,0	104,1	106,4	104,8	107,1	105,1	112,7	112,3	113,3	113,6	111,6	109,1	9,7
00:58	109,9	104,1	106,4	104,9	107,3	105,0	112,6	112,3	113,7	114,1	111,7	109,2	10,0
01:00	109,9	104,1	106,4	104,9	107,3	105,0	112,6	112,3	113,7	114,1	111,7	109,2	10,0

T. Promedio	104,5	106,4	104,9	107,2	105,1	112,6	112,2	113,6	113,9	111,7	Temperatura promedio general (°C)
T. Máximo	104,7	106,5	105,0	107,3	105,6	112,6	112,3	113,9	114,1	111,8	
T. Mínimo	104,3	106,0	104,7	107,0	104,7	112,5	111,9	113,3	113,9	111,4	
DTT	0,6	0,5	0,3	0,3	0,9	0,3	0,4	0,6	0,3	0,5	

Tabla de resumen de resultados

Magnitudes obtenidas	Valor (°C)	Incertidumbre expandida (°C)
Máxima temperatura registrada durante la calibración	114,1	0,3
Mínima temperatura registrada durante la calibración	104,1	0,1
Desviación de temperatura en el tiempo (DTT)	0,9	0,1
Desviación de temperatura en el espacio (DTE)	9,5	0,1
Estabilidad (±)	0,45	0,04
Uniformidad	10,0	0,1



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loyza Capcha
Reg. CIP N° 152631



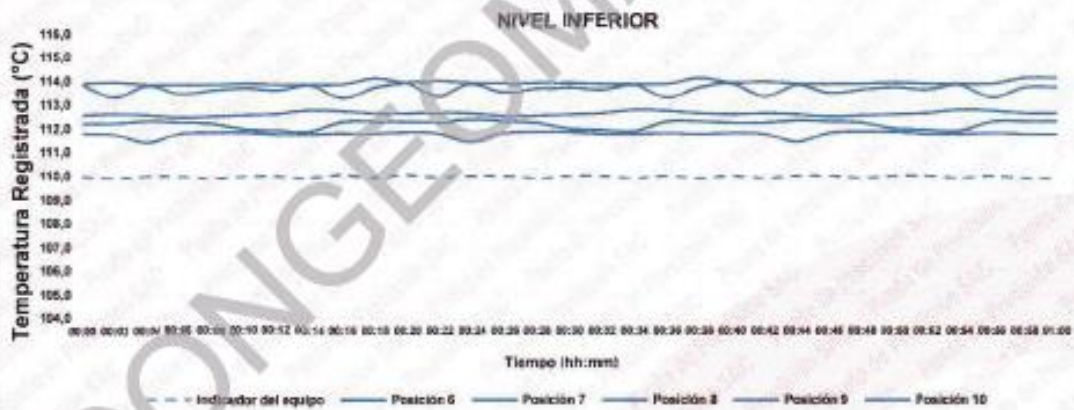
Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-904-2024
Página 4 de 5

10. Gráfico de resultados durante la calibración del equipo

TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C ± 5 °C



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631



Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-904-2024

Página 5 de 5

Nomenclatura

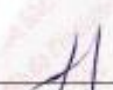
- T. prom : Temperatura promedio de los sensores por cada intervalo
- ΔT : Diferencia entre máxima y mínima temperaturas en cada intervalo de tiempo.
- T. Promedio : Promedio de las temperaturas convencionalmente verdaderas durante el tiempo total
- T. Máximo : La máxima de las temperaturas convencionalmente verdaderas durante el tiempo total
- T. Mínimo : La mínima de las temperaturas convencionalmente verdaderas durante el tiempo total
- DTT : Desviación de temperatura en el tiempo.

Fotografía interna del equipo.



FIN DEL DOCUMENTO




 Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Loayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631





Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°LL-4700-2024

Página: 1 de 3

Expediente : 430-2024
Fecha de emisión : 2024-09-21

1. Solicitante : CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L.
Dirección : JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO

2. Instrumento : PIE DE REY
Tipo de Indicación : ANALÓGICO TIPO VERNIER
Alcance de Indicación : 300 mm
División mínima : 0,02 mm
Marca : INSIZE
Modelo : NO INDICA
Serie : 0513190054
Procedencia : NO INDICA
Código de Identificación : EQ-VER-002

3. Lugar y fecha de Calibración
La calibración se realizó en JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO
Fecha de calibración: 2024-09-19

4. Método de Calibración
La calibración se efectuó por comparación directa según el PC-012 " Procedimiento de calibración de pie de rey del Indecopi -SNM" Edición 5 , 2012.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
JUEGO DE BLOQUES PATRON	INSIZE	LLA-C-101-2023	INACAL - DM
BLOQUE PATRÓN	INSIZE	LLA-188-2024	INACAL - DM
BLOQUE PATRÓN	INSIZE	LLA-193-2024	INACAL - DM
VARILLA PATRÓN	INSIZE	LLA-273-2024	INACAL - DM
TERMÓMETRO DE CONTACTO	NO INDICA	CT-1485-2024	INACAL - DM

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	15,0	15,1
Humedad %	58,0	58,0

7. Observaciones

- Se colocó una etiqueta adhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO"
- La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura k=2, para un nivel de confianza aproximado del 95 %.
- El instrumento tiene un error máximo permisible de $\pm 50 \mu\text{m}$, según Fabricante.



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Lpaysa Capcha
Reg. CIP N° 152531

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com



Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°LL-4700-2024

Página: 2 de 3

8. Resultados

ERROR DE REFERENCIA INICIAL

Valor Nominal (mm)	Promedio (mm)	Error (μm)
0,00	0,00	0

ERROR DE CONTACTO DE LA SUPERFICIE PARCIAL PARA MEDICIÓN DE EXTERIORES

Valor Nominal (mm)	Valor Patrón (mm)	Indicación del Pie de Rey			Promedio (mm)	Error (μm)
		Superior (mm)	Central (mm)	Inferior (mm)		
0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,000	0
20,00	20,000	20,00	20,00	20,00	20,000	0
50,00	50,000	50,00	50,00	50,00	50,000	0
100,00	100,000	100,00	100,00	100,02	100,007	7
150,00	150,000	150,00	150,02	150,00	150,007	7
200,00	200,000	200,02	200,00	200,00	200,007	7
250,00	249,999	250,00	250,00	250,02	250,007	7
300,00	300,000	300,02	300,02	300,00	300,013	13

ERROR CONTACTO DE LA SUPERFICIE PARCIAL

Valor Nominal (mm)	Error (E) (μm)
250,00	20

ERROR DE REPETIBILIDAD

Valor Nominal (mm)	Error (R) (μm)
300,00	20

ERROR DE CAMBIO DE ESCALA DE EXTERIORES A INTERIORES

Valor Nominal (mm)	Error ($S_{E,J}$) (μm)
30,00	-7



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Lpayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 699-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com



Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISSION S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACION

CERTIFICADO DE CALIBRACION N°LL-4700-2024

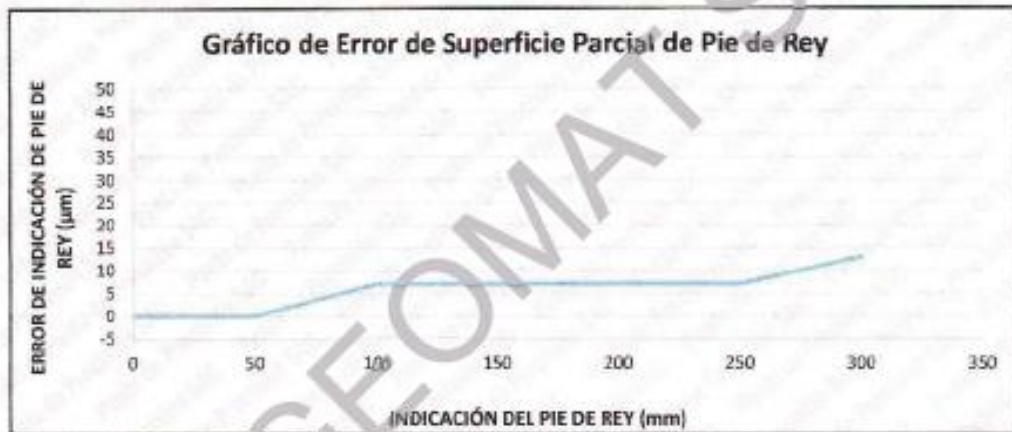
Página: 3 de 3

ERROR DE CONTACTO LINEAL

Valor Nominal (mm)	Error (L) (µm)
10,00	0

ERROR DE CONTACTO DE SUPERFICIE COMPLETA

Valor Nominal (mm)	Error (J) (µm)
20,00	0




INCERTIDUMBRE DEL PIE DE REY

$$U (k=2) = (23,57^2 + 0,03^2 \times L^2)^{1/2} \mu\text{m}$$

Incertidumbre para L = 300 mm	25 µm
-------------------------------	-------

Fin del documento




 Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Lpayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631

Ay. Los Angeles 652 - U.I.A. 42 - Telf: 322 5106 - 698 0620





Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISSION S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°LL-4701-2024

Página: 1 de 2

Expediente : 430-2024
Fecha de emisión : 2024-09-21

1. Solicitante : CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES S.R.L

Dirección : JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO

2. Instrumento : COMPARADOR DE CUADRANTE

Tipo de Indicación : ANALÓGICO

Alcance de Indicación : 0 mm a 25 mm

División mínima : 0,01 mm

Marca : BAKER

Modelo : K08

Serie : FDD025

Procedencia : NO INDICA

Identificación : EQ-DIAL-006

3. Fecha de Calibración y lugar

Fecha de calibración: 2024-09-19

La calibración se realizó en JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE. 30 - JULIACA - SAN ROMAN - PUNO

4. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación directa según el PC-014 " Procedimiento para la calibración de comparadores de cuadrante utilizando bloques patrones de longitud - DM-INACAL" Edición 3, 2019.

5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
JUEGO DE BLOQUES	INSIZE	LLA-C-101-2023	INACAL - DM
MESA DE PLANITUD	INSIZE	LLA-231-2023	INACAL - DM
TERMOMETRO DE CONTACTO	NO INDICA	CT-1483-2024	TOTAL WEIGHT

6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	16,5	16,6
Humedad %	51,5	51,5

7. Observaciones

- Se colocó una etiqueta adhesiva de color verde con la indicación "CALIBRADO"
- La incertidumbre de la medición ha sido calculada con un factor de cobertura $k=2$, para un nivel de confianza aproximado del 95 %.
- El error máximo permitido del instrumento es: 25 μm
- Se subdividió la resolución del instrumento en 10 partes iguales de 0,001 mm.

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precision S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Lóayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: ventas@puntodeprecision.com.pe / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISSION S.A.C.



Laboratorio PP

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°LL-4701-2024

Página: 2 de 2

8. Resultados

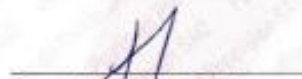
Valor Patrón (mm)	Indicación del Comparador (mm)	Error de Indicación (µm)	Error máximo permitido ± (µm)
0,000	0,000	0	25
1,000	1,001	1	25
2,000	2,001	1	25
3,000	3,001	1	25
5,000	5,001	1	25
8,000	8,002	2	25
10,000	10,002	3	25
12,000	12,002	3	25
15,000	15,002	3	25
20,000	20,002	3	25
25,000	25,003	4	25

Incertidumbre de medición: 4 µm

Nota: Error máximo permitido dado por el fabricante.

Fin del documento




 Jefe de Laboratorio
 Ing. Luis Loayza Capcha
 Reg. CIP N° 152631





ANEXO 09
CERTIFICADO DE LABORATORIO ISO-9001





INTERNATIONAL CERTIFICATION ORGANIZATION - ICO

CERTIFICADO

Número de Certificado: ICO-SGC-102024-001-PE

Se concede a:

CONSULTORES EN GEOTECNIA Y MATERIALES SRL

RUC: 20606413263

JR. 16 DE DICIEMBRE MZA. A LOTE 30 JULIACA PUNO

En reconocimiento al cumplimiento con los requisitos del Sistema de Gestión que la organización ha implementado en conformidad con la:

ISO 9001:2015
(Sistemas de Gestión de la Calidad)

Alcance Certificado:

"Ejecución de Ensayos en Laboratorio e in Situ de Suelos, Rocas, Concreto, Asfalto, Albañilería y otros Materiales, para la Ejecución de Proyectos de Infraestructura; Servicio de Elaboración de Estudios Geológicos, Geotécnicos y Geofísicos para la Ejecución de Proyectos Infraestructura."

Fecha de otorgamiento inicial: 07/10/2024

Fecha de última actualización: 07/10/2024

*Fecha de vencimiento del certificado vigente: 06/10/2025

Fecha de expiración: 07/10/2027

* Este certificado se mantendrá vigente siempre y cuando la organización cumpla estrictamente con los requisitos de vigilancia previo al cumplimiento de las fechas estipuladas en su ciclo de certificación.

* Este certificado de registro se basa en la evaluación del alcance antes mencionado. La organización es responsable de mantener los estándares pertinentes de la norma. Cualquier cambio importante en el alcance de la certificación o la norma antes mencionada, invalidará el presente certificado.



CERTIFICADO N.º
ICO-SGC-102024-001-PE



Registro N.º OCS0-008



Isabella Casapino
Gerente General

La autenticidad de este documento podrá ser consultada en el correo:
contacto@icocert.pe o en <https://icocert.pe>,
mediante el QR que figura en el certificado.





ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 02-06-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos:	ABEL DARWIN VELARDE DEL CASTILLO		
Dirección:	JIRÓN 8 DE ENERO MZ-C LT-06		
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:	44437594		
Teléfono:	971717160	email:	abeldarwin17@gmail.com
Nombres y Apellidos:			
Dirección:			
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:			
Teléfono:		email:	
Facultad y/o Escuela de Posgrado:	ESCUELA DE POSGRADO		
Escuela Profesional o Mención:	GEOTECNIA Y TRANSPORTES		
Título o Grado Académico a optar:	MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL		
Asesor:	Dr. ARNALDO YANA TORRES		
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:			
Trabajo de Investigación	<input type="checkbox"/>	Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>
Trabajo de Suficiencia Profesional	<input type="checkbox"/>	Trabajo Académico	<input type="checkbox"/>
Título:	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA EN LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS DE SUELOS ESTABILIZADOS CON CEMENTO PARA LA CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE LA PROVINCIA DE PUNO, 2024		
Palabras claves, (3 a 5 términos):	CORRELACIÓN, ESTABILIZACIÓN, CEMENTO, SUPERFICIE DE RESPUESTA		
¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2} ?			
	1		

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Titulo 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN – P50

Firma de Autor



huella digital

02 de junio de 2025

Fecha