

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LOSA CON
GEOMETRÍA OPTIMIZADA EN DISEÑO DE PAVIMENTO
RÍGIDO EN EL CENTRO POBLADO DE JAYLLIHUAYA – PUNO.**

TESIS

PRESENTADA POR:

JENRRY PARI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LOSA CON GEOMETRÍA
OPTIMIZADA EN DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO EN EL CENTRO
POBLADO DE JAYLLIHUAYA – PUNO.**

**TESIS PRESENTADA POR:
JENRRY PARI MAMANI**

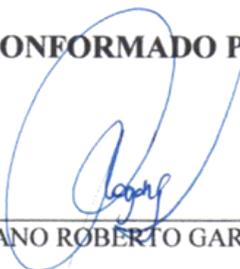
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

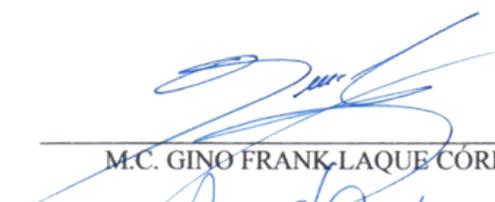


APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

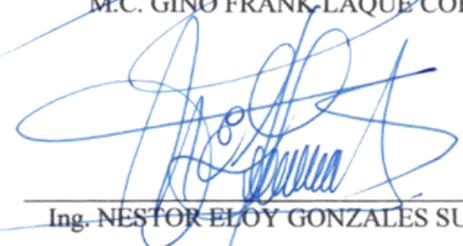
PRESIDENTE:


M.Sc. MARIANO ROBERTO GARCIA LOAYZA

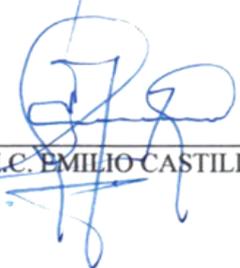
PRIMER MIEMBRO:


M.C. GINO FRANK LAQUE CORDOVA

SEGUNDO MIEMBRO:


Ing. NESTOR ELOY GONZALES SUCASAIRE

DIRECTOR / ASESOR:


M.C. EMILIO CASTILLO ARONI

TEMA: Diseño de Pavimentos

ÁREA: Transportes

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Transportes y Gestión Vial

FECHA DE SUSTENTACIÓN 13 DE SETIEMBRE DEL 2019

DEDICATORIA

A Dios Jehová todo poderoso quien guía mi camino día a día, brindándome sabiduría e inteligencia.

Con mucho cariño y eterna gratitud a mis padres Natalio y Juana, quienes me brindaron todo el apoyo en el transcurso de mi formación y superación personal.

A mi compañera de la vida Beatriz Quispe Yanarico, quien me brindó su apoyo incondicional en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Jenrry Pari

AGRADECIMIENTOS

Mi reconocimiento a los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, por haber impartido sus conocimientos en cada una de las materias durante el periodo de mi formación pre profesional.

A la Empresa TCPAVEMENTS LTDA, por su valioso e importante apoyo en facilitar y compartir el Programa computacional OptiPave 2.0 y su respectiva guía de diseño para la ejecución del estudio.

Al Director/Asesor de Tesis Ing. Emilio Castillo Aroni, por su apoyo incondicional y sugerencias en el proceso de elaboración del estudio.

A los Jurados del presente estudio, Ing. Mariano Roberto García Loayza, Ing. Gino Frank Laque Córdova, Ing. Néstor Eloy Gonzales Sucasaire, quienes con su extraordinaria calidad humana y profesional me brindaron valiosas sugerencias en el proceso de evaluación del estudio.

A todas aquellas personas que contribuyeron con su valioso apoyo y sugerencias durante el proceso de la presente investigación.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	10
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
CAPITULO I	13
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.3.- HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
Hipótesis General	14
Hipótesis Específicas.....	14
1.4.- JUSTIFICACIÓN	14
1.5.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
CAPITULO II.....	16
2. REVISIÓN DE LITERATURA	16
2.1.- ANTECEDENTES	16
2.2.- MARCO TEÓRICO	17
2.2.1.- Pavimentos	17
2.2.2.- Criterios de Comportamiento.....	25
2.2.3.- Costos.....	30
CAPITULO III.....	31
3. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....	31
3.2.- PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO.....	31
3.3.- PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO	32
3.4.- POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.....	33
3.5.- DISEÑO ESTADÍSTICO	33
3.6.- PROCEDIMIENTO	35
3.7.- VARIABLES	35

3.8.- ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
CAPÍTULO IV	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1.- RESULTADOS	38
4.1.1.- Espesores de la estructura de pavimento rígido diseñado con la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93	38
4.1.2.- Comportamiento del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada en el periodo de servicio proyectado.....	97
4.1.3.- Costo directo del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93	102
4.2.- DISCUSIÓN	104
CAPÍTULO V	109
5. CONCLUSIONES	109
CAPÍTULO VI	110
6. RECOMENDACIONES.....	110
CAPÍTULO VII	111
7. REFERENCIAS.....	111
ANEXOS	113
Anexo A: Parámetros de diseño y resultados en el programa Optipave2.0	113
Anexo B: Presupuesto de pavimento rígido para el método TCP.....	116
Anexo C: Presupuesto de pavimento rígido para el método AASHTO 93	117
Anexo D: Ensayos suelos en laboratorio para subrasante.....	118
Anexo E: Ensayos suelos en laboratorio para subbase	133
Anexo F: Diseño de Mezclas – Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	144
Anexo G: Dimensiones de Camión Tipo C3 (mm).....	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Esquema de pavimento rígido.....	19
Figura N° 2: Pavimento de concreto simple sin pasadores.....	20
Figura N° 3: Junta de contracción con trabazón entre agregados.....	20
Figura N° 4: Junta de construcción a tope	21
Figura N° 5: Junta de expansión sin pasadores.....	21
Figura N° 6: Distribución de set de ruedas en losa de concreto	24
Figura N° 7: Distribución de ESALs, Probabilidad de falla y confiabilidad.....	25
Figura N° 8: Pérdida de serviciabilidad de pavimento	27
Figura N° 9: Agrietamiento longitudinal en el eje simple	28
Figura N° 10: Agrietamiento longitudinal en eje doble.....	29
Figura N° 11: Agrietamiento de esquina en eje simple	29
Figura N° 12: Agrietamiento de esquina en eje doble	29
Figura N° 13: Escalonamiento en la Junta.....	30
Figura N° 14: Ubicación del área de estudio	31
Figura N° 15: Muestreo en Calicata C-3	40
Figura N° 16: Ensayo de Límite Líquido y CBR de la calicata C-3.....	41
Figura N° 17: Localización de las canteras	43
Figura N° 18: Muestreo en la Cantera Mi Perú y Cutimbo	43
Figura N° 19: Croquis de ubicación de la Estación del Aforo Vehicular.....	47
Figura N° 20: Relaciones entre resistencia y clasificación del Suelo.....	70
Figura N° 21: Estados de deformación del concreto	73
Figura N° 22: Estructura de Pavimento Rígido AASHTO 93	77
Figura N° 23: Pesos y medidas de vehículos	79
Figura N° 24: Distribución lateral típica de un pavimento de hormigón.....	83
Figura N° 25: Retracción típica del hormigón en el tiempo	86
Figura N° 26: Gradiente térmico máximo, promedio y mínimo por años	89
Figura N° 27: Temperatura máxima de fraguado	90
Figura N° 28: Umbrales de precipitación pluvial para la estación de CP Puno	90
Figura N° 29: Estructura de pavimento rígido TCP	97
Figura N° 30: Tensión Máxima en la losa diseñada por AASHTO 93 y TCP	99
Figura N° 31: Deformación de losas de concreto AASHTO 93 y TCP	99
Figura N° 32: % Losas Agrietadas en el horizonte de evaluación/OptiPave 2.0.....	100
Figura N° 33: Escalonamiento en el horizonte de evaluación/ OptiPave 2.0.....	101
Figura N° 34: IRI en el Horizonte de evaluación/ OptiPave 2.0	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Índice de serviciabilidad final	26
Tabla N° 2: Metas físicas del proyecto - Pistas	33
Tabla N° 3: Número de puntos de investigación	39
Tabla N° 4: Resultados de ensayos para subrasante	41
Tabla N° 5: Límites para la selección de resistencia	42
Tabla N° 6: Determinación del CBR de diseño	42
Tabla N° 7: Ubicación de canteras	42
Tabla N° 8: Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular	44
Tabla N° 9: Mezcla de suelos para Sub-Base Granular	44
Tabla N° 10: Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular	45
Tabla N° 11: Resumen de ensayos de Calidad para Sub-Base Granular	45
Tabla N° 12: Pesos y medidas	47
Tabla N° 13: Aforo en la Intersección Jr. San Antonio y Av. Orgullo Aimara	48
Tabla N° 14: Aforo en la Intersección Jr. Paris y Av. Orgullo Aimara	48
Tabla N° 15: Aforo en la Intersección Jr. Buenos Aires y Av. Orgullo Aimara	49
Tabla N° 16: Factores de desviación normal	51
Tabla N° 17: Parque automotor, según departamentos 2004 – 2012	52
Tabla N° 18: Proyección del Parque automotor, 2018 – 2038	53
Tabla N° 19: Tasa de crecimiento Vehicular Anual	55
Tabla N° 20: Factor Camión	56
Tabla N° 21: Carril de diseño según el Instituto del Asfalto	57
Tabla N° 22: Carril de diseño según AASHTO	57
Tabla N° 23: Resultados del Factor Camión	58
Tabla N° 24: ESAL con tasas de la RM -633-2018 –MTC/01	59
Tabla N° 25: ESAL con tasas por tipo de vehículo/estudio especializado	59
Tabla N° 26: ESAL con tasas en base al parque automotor región -Puno	59
Tabla N° 27: Parámetros de diseño vinculados según a la clasificación	60
Tabla N° 28: Coeficiente de fricción longitudinal según la velocidad de circulación. ..	62
Tabla N° 29: Longitud mínima en tangentes para el diseño geométrico/locales	62
Tabla N° 30: Radios Mínimos	63
Tabla N° 31: Pendientes Máximas	64
Tabla N° 32. Ancho de Carriles	65
Tabla N° 33: Bombeo	65
Tabla N° 34: Valores del nivel de confianza R, de acuerdo al tipo de camino	67
Tabla N° 35. Valores de la Desviación Normal Estándar	68

Tabla N° 36: Índice de Serviciabilidad.....	69
Tabla N° 37: Calidad de Drenaje.....	74
Tabla N° 38: Valores recomendados del coeficiente de drenaje mi.....	74
Tabla N° 39. Coeficientes de Transferencia de Carga.....	75
Tabla N° 40: Resumen de los parámetros de diseño	76
Tabla N° 41: Espesor de losa a una tasa de crecimiento de tráfico 4%	76
Tabla N° 42: calculado a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4.7%	77
Tabla N° 43: Vida de Diseño Recomendado según clasificación del Pavimento	78
Tabla N° 44: Borde y efecto en soporte y circulación del tráfico.....	79
Tabla N° 45: % Máximo Admisible de Losas Agrietadas según tipo de Vía.....	80
Tabla N° 46: Confiabilidad según la clasificación de la vía.....	81
Tabla N° 47: Clasificación de Tráfico Recomendado según uso del pavimento.....	82
Tabla N° 48: Distancia entre el borde, demarcación y rueda de los vehículos.....	83
Tabla N° 49: Desviación Estándar según tipo de Borde.....	83
Tabla N° 50: Desviación estándar de diseño de concreto.....	84
Tabla N° 51: Parámetros de Diseño.....	91
Tabla N° 52: Características de Tráfico.....	91
Tabla N° 53: Propiedades de Concreto.....	91
Tabla N° 54: Propiedades de Suelo	92
Tabla N° 55: Factores de Clima.....	92
Tabla N° 56: Espesor de losa, L=1.50m, Tasa de crecimiento de tráfico 4%	93
Tabla N° 57: Espesor de losa, L=1.50m, Tasa de crecimiento de tráfico de 4.7%.....	93
Tabla N° 58: Espesor de losa, L=1.75m, Tasa de crecimiento de tráfico 4%	94
Tabla N° 59: Espesor de losa, L=1.75m, Tasa de crecimiento de tráfico de 4.7%.....	94
Tabla N° 60: Espesor de losa, L=1.75m, Tasa de crecimiento de tráfico 4%	95
Tabla N° 61: Espesor de losa, L=1.75m, Tasa de crecimiento de tráfico de 4.7%.....	95
Tabla N° 62: Espesor de losa, L=1.50m, Tasa de crecimiento de tráfico 4%	96
Tabla N° 63: Espesor de losa, L=1.50m, Tasa de crecimiento de tráfico de 4.7%.....	96
Tabla N° 64: Geometrías de losa de concreto.....	98
Tabla N° 65: Dimensiones de losa de concreto	102
Tabla N° 66: Costo de los recursos.....	103
Tabla N° 67: Resumen de costo directo del pavimento.....	104

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

IRI: índice de regularidad internacional

IMDA: índice medio diario anual

IMDS: índice medio diario semanal

FD: daño por fatiga

CBR: Ensayo de Relación de Soporte de California

TCP: Pavimentos de concreto delgado

AASHTO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes

FEC: Factor equivalente de carga

ASTM: Asociación Americana de Ensayo de Materiales

MCO: mínimos cuadrados ordinarios

FC: Factor camión

ESAL: Carga axial simple equivalente

RESUMEN

El estudio tiene como objetivo general, Aplicar la metodología de losa con geometría optimizada en diseño de pavimento rígido en el centro poblado de Jayllihuaya – Puno, y comparar los resultados con los obtenidos por el método AASHTO 93. El estudio es descriptivo. La población y muestra estuvo conformada por las vías urbanas de tipo local acotadas en el área de estudio. Se realizó estudios de ingeniería básica relacionados a suelos, concreto y tránsito para calcular los parámetros de diseño como módulo de rotura, resistencia de la subrasante, ESAL y otros. El diseño de pavimento de losa con geometría optimizada fue cargado al programa computacional OptiPave 2.0. Calculando un espesor 12cm de losa de concreto y 20 cm de subbase con una geometría de losa de 1.5m de largo por 1.85m de ancho y por el método AASHTO 93 se determinó un espesor de 15 cm de losa de concreto y 20 cm de subbase con una geometría de losa 3.0 m de largo por 3.70m de ancho. También se analizó el comportamiento de la estructura del pavimento rígido de losa con geometría optimizada para la vida útil basado en los indicadores de Índice de rugosidad internacional(IRI), % de losas agrietadas y escalonamiento promedio, obteniendo valores 2.74, 6% y 0.32 respectivamente, estando estos dentro del rango de aceptación. Finalmente se estimó el costo directo del pavimento rígido diseñado por ambas metodologías, realizando para ello la estimación del precios de los recursos, las cantidades y el rendimiento por partida, determinando un costo de pavimento de geometría optimizada menor en 13.04% con respecto al AASHTO 93. El estudio concluye que el pavimento rígido diseñado por el método de losa con geometría optimizada es técnicamente segura, confortable y económica.

Palabras claves: Geometría optimizada, Estructura de Pavimento, losa de concreto

ABSTRACT

The study has as a general objective, apply the slab methodology with optimized geometry in the design of rigid pavement in the town center of Jayllihuaya – Puno, and compare the results with those obtained by the AASHTO 93 method. The study is descriptive. The urban roads of local type bounded in the study area confirmed the population and sample. Basic engineering studies related to soils, concrete and traffic to calculate the design parameters such as modulus of breakage, resistance of the subgrade, ESAL and others. The slab pavement design with optimized geometry was loaded to the OptiPave 2.0 computer program. calculated a 12cm thickness of concrete slab and 20 cm of subbase with a slab geometry 1.5m long by 1.85m wide and by the AASHTO 93 method, a thickness of 15 cm of concrete slab and 20 cm of subbase was determined with a slab geometry 3.0 m long by 3.70m wide. The behavior of the slab rigid pavement structure with geometry optimized for the life based on the International Roughness Index (IRI) indicators was also analyzed, % of cracked slabs and average staggering, obtaining values 2.74, 6% and 0.32 respectively, these being within the acceptance range. Finally the direct cost of the rigid pavement designed by both methodologies was estimated, carrying out the estimation of resource prices, quantities and yield per item, determining a cost of pavement of optimized geometry lower in 13.04% with respect to the AASHTO 93. The study concludes that the rigid pavement designed by the slab method with optimized geometry is technically safe, comfortable and economical.

Key words: Optimized geometry, Pavement Structure, concrete slab

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El peligro de agotamiento de algunos recursos utilizados en forma masiva se comienza a considerar probable debido a la creciente actividad económica y es por esto que, hoy en día, existe una tendencia mundial en buscar un desarrollo sustentable. Este término se formalizo por primera vez en el documento conocido como informe Brundtland donde define el desarrollo sustentable como; “Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 1987). Es un proceso integral que exige a los distintos actores de la sociedad compromisos y responsabilidades en la aplicación del modelo económico, político, ambiental y social, así como en los patrones de consumo que determinan la calidad de vida.

Una característica principal en el diseño de pavimentos urbanos de tipo local es el bajo volumen de tráfico, Situación que implica a buscar y aplicar nuevas metodologías de diseño que permita combinar las situaciones particulares del área de estudio y obtener un proyecto de pavimento rígido con uso eficiente de recursos naturales, financieros y humanos en el proceso de construcción y operación.

Los pavimentos de geometría optimizada aseguran reducir la inversión inicial requerida en los pavimentos de concreto tradicionales y así ser una alternativa competitiva frente a otras opciones. Debido a la influencia del costo inicial en la elección de un proyecto de inversión utilizando el indicador costo-efectividad nace la necesidad de conocer esta metodología y saber cuánto más económico implicaría construir con este nuevo sistema y si técnicamente es factible aplicar esta innovación en las vías locales del centro poblado de Jayllihuaya del distrito de Puno.

1.2.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema general

- ¿Con la aplicación de la metodología de losa con geometría optimizada en el diseño de pavimento rígido en las vías locales del centro poblado de Jayllihuaya – Puno, se obtiene un pavimento seguro, confortable y económico?

Problemas específicos

- ¿Cuál será el espesor de la estructura de pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93?
- ¿Cuál será el comportamiento del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada en el periodo de servicio proyectado?
- ¿En cuánto varía el costo directo del pavimento rígido diseñado con la metodología de losa con geometría optimizada con respecto a AASHTO 93?

1.3.- HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Hipótesis General

- EL pavimento rígido diseñado con la metodología de losa con geometría optimizada en el centro poblado de Jayllihuaya - Puno, es técnicamente segura, confortable y económica

Hipótesis Específicas

- Existe una diferencia significativa entre el espesor de la estructura de pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93.
- El índice de regularidad internacional estimada para el periodo de servicio del proyecto es menor a 3.5m/km del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada.
- Existe una diferencia significativa entre el costo directo del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93.

1.4.- JUSTIFICACIÓN

El propósito del estudio es ampliar las posibles soluciones técnicas para el diseño de pavimentos urbanos de tipo local con bajo volumen de tránsito, de manera que se pueda diseñar una estructura de pavimento rígido que implique una asignación eficiente de recursos financieros, materiales y Humanos en la etapa de construcción y mantenimiento del proyecto, que genere un efecto negativo mínimo al medio ambiente, menor inversión inicial y haga posible la ampliación de la cobertura del servicio vial con el ahorro generado en otras urbanizaciones a fin de mejorar las condiciones de accesibilidad vehicular, garantizando la seguridad y confort a los usuarios al momento en que realizan el tránsito.

1.5.- OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Objetivo General

- Aplicar la metodología de losa con geometría optimizada en diseño de pavimento rígido en el centro poblado de Jayllihuaya – Puno.

Objetivos Específicos

- Determinar los espesores de la estructura de pavimento rígido diseñado con la metodología de losa con geometría optimizada y ASSHTO 93
- Analizar el comportamiento del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada en el periodo de servicio proyectado.
- Estimar el costo directo del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.- ANTECEDENTES

En el estudio realizado “Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada” indica que se ha introducido un nuevo y revolucionario método de diseño en la cual optimiza las dimensiones de losas de hormigón para minimizar el espesor requerido, con estas losas cortas de entre 1.4 y 2.5m, la tensión máxima se ha reducido considerablemente, dado que solo un set de ruedas se encuentra cargando cada losa. Con este nuevo concepto de diseño de losas pueden ser diseñadas con espesores de apenas de 8cm para vías de bajo tránsito de camiones sobre base granular. Esto permite una reducción en el espesor de entre 4 a 10cm en comparación con pavimentos de hormigón diseñado por el método AASHTO tradicional, reduciendo el costo de construcción en aproximadamente un 20% del costo inicial, con una vida de diseño similar. Al comparar con una solución de asfalto, el ahorro es similar, debido a que las losas son más cortas, las condiciones climáticas son menos importantes ya que el alabeo es menor y la transferencia de carga aumenta en comparación con pavimentos de diseño convencionales de 4.5m de largo, por tanto el desempeño de pavimentos en condiciones climáticas extremas es mejor que en losas convencionales 4.5m. (Covarrubias, 2012)

Los pavimentos con diseño optimizado tienen alrededor de un quinto del alabeo con respecto a un pavimento tradicional. Esto debido al menor tamaño de losa. Como el alabeo es menor el escalonamiento y el IRI también lo son. Las losas cortas usan bases con menos de 8% de fino, esto hace que los agregados grandes estén en contacto entre ellos, por lo que al remover los finos en el caso de presencia de agua, no exista una pérdida de soporte. Esto evita que se produzca bombeo y que por lo tanto se alteren las condiciones de la base. Como se reduce la erosión en la base, se disminuye drásticamente el escalonamiento. (Covarrubias, 2012).

En el estudio realizado “Método de diseño de losas de dimensiones superficiales, en pavimentos de concreto hidráulico” indica que basados en las configuraciones de los ejes de carga y en el dimensionamiento de las losas, realizadas en el software EverFe 2.24, se determina como losas de dimensiones superficiales optimizadas aquellas que un solo set de ruedas se apoya por cada losa en los pavimentos de concreto hidráulico y esto fue posible en losas menores a 2.2x2.2m. Además los esfuerzos resultantes a la

combinación de carga de eje y ambientales son menores en las losas de dimensiones superficiales optimizadas con respecto a los producidos en las losas con dimensiones tradicionales y son menos susceptibles al aumento de esfuerzos generados por los cambios de temperatura que ocurren a través del espesor de las losas, es decir a los esfuerzos por alabeo. En las simulaciones realizadas en el software de elementos finitos EverFe 2.24 se determinó que las losas de 1.5x1.5m y de 1.8x1.8m fueron las que proporcionaron los menores esfuerzos generados por las combinaciones de cargas de ejes y de temperatura (alabeo). El autor recomienda losas de dimensiones superficiales optimizadas que sean mayores a 1.5x1.5m y menores a 1.8x1.8m para desempeños óptimos, tomando en consideración al ancho de los carriles y realizar un análisis numérico del factor de ajuste de dimensionamiento superficial de losa con el objetivo de calcular los valores adecuados para la utilización de este factor, (Sánchez, 2014).

En el estudio titulado “análisis comparativo de Pavimentos de geometría optimizada y pavimentos tradicionales”, que tuvo como objetivo general conocer las principales características y diferencias de los pavimentos de geometría optimizada y pavimentos tradicionales, indica que las losas cortas de 1.35x1.75m hasta 2.5x1.75m mantienen todas las ventajas sustentables de un pavimento de concreto tradicional como su claridad, rigidez, ser reciclable, pero además al ser de menor espesor se reduce el consumo de concreto el cual requiere de gran energía para su producción y áridos que en algunas zonas del país es escasa; en la partida de concreto el diseño de losa optimizada genera un ahorro de un 23% con respecto al costo de la partida de pavimento tradicional, además en cuanto a las excavaciones es posible disminuir un 25% del costo de esta partida, en cuanto a los costos netos que agregan valor al diseño de losa optimizada se tiene el aumento en la partida de corte de juntas y la tarifa del uso de la tecnología TCP; finalmente concluye que ante la interacción de las diferentes partidas los pavimentos de geometría optimizada generan un ahorro de un 16.48% por cada 100m de calzada, respecto a los pavimentos tradicionales, (Pérez, 2012).

2.2.- MARCO TEÓRICO

2.2.1.- Pavimentos

De acuerdo a la Norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), existen dos puntos de vista para definir un pavimento: el de la Ingeniería y el del usuario.

De acuerdo a la Ingeniería, el pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado período de tiempo.

Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella. Debe proporcionar un servicio de calidad, de manera que influya positivamente en el estilo de vida de las personas.

El método de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas.

A partir de la versión del año 1986, y su correspondiente versión mejorada de 1993, el método AASHTO comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones diferentes a las que imperaron en el lugar del ensayo original.

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados, estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía. (Montejo, 2001)

A.- Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyadas sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado la cual se denomina subbase del pavimento, debido a alta rigidez del concreto. (Montejo, 2001).



Figura N° 1: Esquema de pavimento rígido

B.- Elementos que conforman un pavimento rígido:

Subrasante: La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos (Chagua, Huayta, 2018).

Subbase: La capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. (Pag. 34), Entre otras funciones que debe cumplir son:

- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

Losa: Es la parte superior del pavimento y la última capa en construir en un pavimento rígido, pueden estar construidas con concreto simple o reforzadas con acero lo que ayuda a que los esfuerzos sean menores en las capas inferiores. (Chagua, Huayta, 2018).

C.- Pavimento de concreto simple sin pasadores

Son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas, ésta se logra a través de la trabazón (interlock) de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas.

Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m de largo y 3.5 m de ancho. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto. Por ejemplo para calles de urbanizaciones residenciales, éstos varían entre 10 y 15 cm, en las denominadas colectoras entre 15 y 17 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16 cm. En aeropistas y autopistas 20 cm o más.

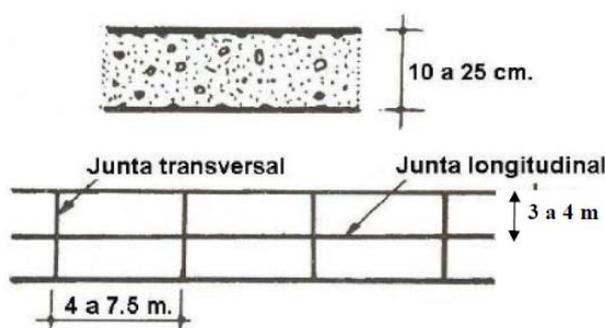


Figura N° 2: Pavimento de concreto simple sin pasadores

Fuente: Design and construction of joint for concrete highways”, publicado por la ACPA.

D.- Juntas: La función de las juntas consiste en mantener las tensiones de la losa provocadas por la contracción y expansión del pavimento dentro de los valores admisibles del concreto; o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas losas.

D.1.- Juntas de contracción: Su objetivo es inducir en forma ordenada la ubicación del agrietamiento del pavimento causada por la contracción (retracción) por secado y/o por temperatura del concreto. Se emplea para reducir la tensión causada por la curvatura y el alabeo de losas, se espera que la transferencia de cargas se logre mediante la trabazón entre los agregados. “Design and construction of joint for concrete highways”, publicado por la American Concrete Pavement Association (ACPA).

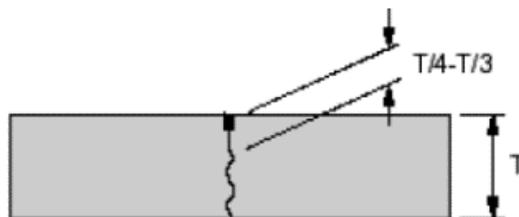


Figura N° 3: Junta de contracción con trabazón entre agregados

Fuente: Design and construction of joint for concrete highways”, publicado por la ACPA.

D.2.- Juntas de construcción: Las juntas de construcción separan construcciones contiguas colocadas en diferentes momentos, tales como la colocación al final del día o entre fajas de pavimentación. La transferencia de cargas se logra mediante el empleo de pasadores. Pueden ser transversales o longitudinales.



Figura N° 4: Junta de construcción a tope

Fuente: Design and construction of joint for concrete highways”, publicado por la ACPA.

D.3.- Juntas de expansión o aislación: Se usan para aislar pavimentos que se interceptan con la finalidad de disminuir los esfuerzos de compresión en éstos, cuando se expanden por el aumento de temperatura. También se utilizan para aislar estructuras existentes.

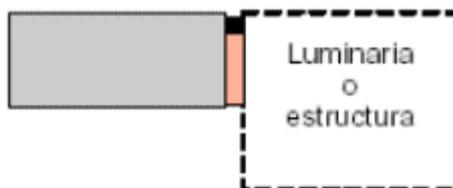


Figura N° 5: Junta de expansión sin pasadores

Fuente: Design and construction of joint for concrete highways”, publicado por la ACPA.

D.4.- Sellos: La función principal de un sellador es minimizar la infiltración de agua a la estructura del pavimento y evitar la intrusión de materiales incompresibles dentro de las juntas que pueden causar la rotura de estas.

En la selección del producto se debe considerar su vida útil esperada, el tipo de sellos, tipo de junta, datos climáticos y el costo de control de tránsito en cada aplicación del sello, en todo el período económico de análisis y debe cumplir con las siguientes características: Impermeabilidad, Deformabilidad, Resiliencia, Adherencia, Resistencia estable y Durable.

E.- Tráfico: En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que éstos resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo cual origina distintas fallas en éste. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kips (80 kN) ó ESAL (Equivalent Single Axle Load), de tal manera que el efecto dañino de cualquier eje pueda ser representado por un número de cargas por eje simple.

F.- Módulo de reacción de la subrasante (K): Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada (pci).

El valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte californiana (CBR) o las pruebas de valores R. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.

G.- Módulo de rotura del concreto: Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

El módulo de rotura requerido por el procedimiento de diseño es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de carga en los tercios. De esta manera, se obtiene en el tercio medio una zona sometida a un momento flector constante igual a $PL/3$ y la rotura se producirá en cualquier punto de este tercio medio con la única condición que exista allí una debilidad. Este ensayo es recomendable frente al ensayo de carga en el punto medio, en el cuál la rotura se producirá indefectiblemente en dicho punto (punto de aplicación de la carga) donde el momento flector es máximo.

- El módulo de rotura es posible determinar a través de las siguientes correlaciones.
- Estimación a través de la resistencia a compresión del concreto.

$$S'_c = k * (f'_c)^{0.5} \quad 7 < k < 12$$

Donde:

S'_c = Resistencia a compresión del concreto en psi.

- Estimación a través de la resistencia a la tracción indirecta

$$S'_c = 210 + 1.02 * IT$$

Donde:

IT = Tracción indirecta medida en las probetas en psi.

Los valores del módulo de rotura varían entre 2.8 MPa (400 psi) y 4.8 MPa (700 psi), llegando incluso a valores de 8.2 MPa (1200 psi), en concretos con alta resistencia inicial.

H.- Módulo de elasticidad del concreto: Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación.

Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura. Para concreto de peso normal, el Instituto del Concreto Americano sugirió:

$$E_c = 57000 * (f'_c)^{0.5}$$

Donde; E_c y f'_c están dados en psi

I.- Ecuación General AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversas variables: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log\left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 [D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k}\right]^{0.25}}]}\right]$$

Donde:

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

S_0 = Desvío estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

P_t = Serviabilidad final.

S'_c = Módulo de rotura del concreto en psi.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

C_d = Coeficiente de drenaje

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

K = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg).

J.- Modelo de diseño de pavimento rígido con losas de geometría optimizada TCP

La tecnología de diseño y construcción de losas, dimensiona éstas de forma tal que ellas nunca sean cargadas por más de un set de ruedas del camión, logrando con esto disminuir significativamente las tensiones en dicha losa. Las tensiones dentro de la losa determinan la vida útil del pavimento, donde tensiones mayores generan un deterioro más rápido en este. Esto produce un menor agrietamiento de las losas del pavimento y una mayor tolerancia a la carga por eje del camión (Covarrubias, 2012).

El método creado por la empresa TCPavements es el resultado de años de estudios y pruebas, basado en las ecuaciones de daño por fatiga del proyecto NCHRP 1-37^a (ME-PDG, AASHTO, EEUU) y con simulaciones de tensiones realizadas en ISLAB2000 (programa de elementos finitos). Este método logra diseñar pavimentos de losas optimizadas, obteniendo resultados óptimos, para esta nueva condición geométrica.

El procedimiento es un método mecanicista - empírico, ya que ha sido calibrado con tramos de pruebas instrumentados, determinando las constantes de calibración. El concepto básico del diseño es dimensionar las losas de tal manera que solo una rueda o set de ruedas se apoyen en una losa, a la vez, calcular el daño por fatiga producido en los puntos críticos de la losa, dado esto, determinar el espesor correspondiente considerando las condiciones de suelo, alabeo, tráfico, y otras condiciones relevantes.



Figura N° 6: Distribución de set de ruedas en losa de concreto
Fuente: Documentación de diseño Optipave2.

2.2.2.- Criterios de Comportamiento

A.- Confiabilidad: Es la probabilidad que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante el período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente. Cabe resaltar, que cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, es decir, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y asimismo de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado. Por lo tanto, la confiabilidad está asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

La confiabilidad (R) de un pavimento puede definirse en términos de ESALs como:

$$R(\%) = 100 * P(N_t > N_T)$$

Donde:

N_t = Número de ESALs de 80 kN que llevan al pavimento a su serviciabilidad final.

N_T = Número de ESALs de 80 kN previstos que actuarán sobre el pavimento en su período de diseño.

N_t y N_T tienen una distribución normal, la diferencia entre ambas, también tendrá una distribución normal.

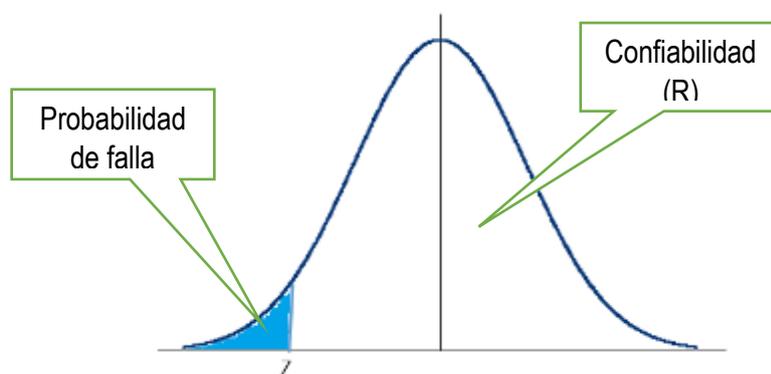


Figura N° 7: Distribución de ESALs, Probabilidad de falla y confiabilidad
Fuente: Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993"

B.- Serviciabilidad: es una medida del comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional), cuando éste circula por la vialidad. También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, peladuras, etc., que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural).

El concepto de serviciabilidad está basado en cinco aspectos fundamentales resumidos como sigue:

- Las carreteras están hechas para el confort y conveniencia del público usuario.
- El confort, o calidad de la transitabilidad, es materia de una respuesta subjetiva de la opinión del usuario.
- La serviciabilidad puede ser expresada por medio de la calificación hecha por los usuarios de la carretera y se denomina la calificación de la serviciabilidad.
- Existen características físicas de un pavimento que pueden ser medidas objetivamente y que pueden relacionarse a las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento produce un índice de serviciabilidad objetivo.
- El comportamiento puede representarse por la historia de la serviciabilidad del pavimento.

B.1.- Índice de serviciabilidad inicial (P₀): El índice de serviciabilidad inicial (P₀) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO estableció para pavimentos rígidos un valor inicial deseable de 4.5.

B.2.- Índice de serviciabilidad final (P_t): El índice de serviciabilidad final (P_t), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. Dependiendo de la importancia de la vialidad.

Se establece como la condición de la superficie del pavimento que no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario y corresponde al valor más bajo antes de que sea necesario rehabilitar o reconstruir un pavimento, En la Tabla N° 1; se proponen algunos valores para el índice de serviciabilidad final de pavimentos urbanos (NTE CE 0.10 Pavimentos Urbanos, 2010).

Tabla N° 1: Índice de serviciabilidad final

P _t	Tipo de Vía
3.0	Expresas
2.5	Arteriales
2.3	Colectoras
2.0	Locales y estacionamientos

Fuente: NTE CE 0.10 Pavimentos Urbanos, 2010, Pag. 42

B.3.- Pérdida de serviciabilidad: se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

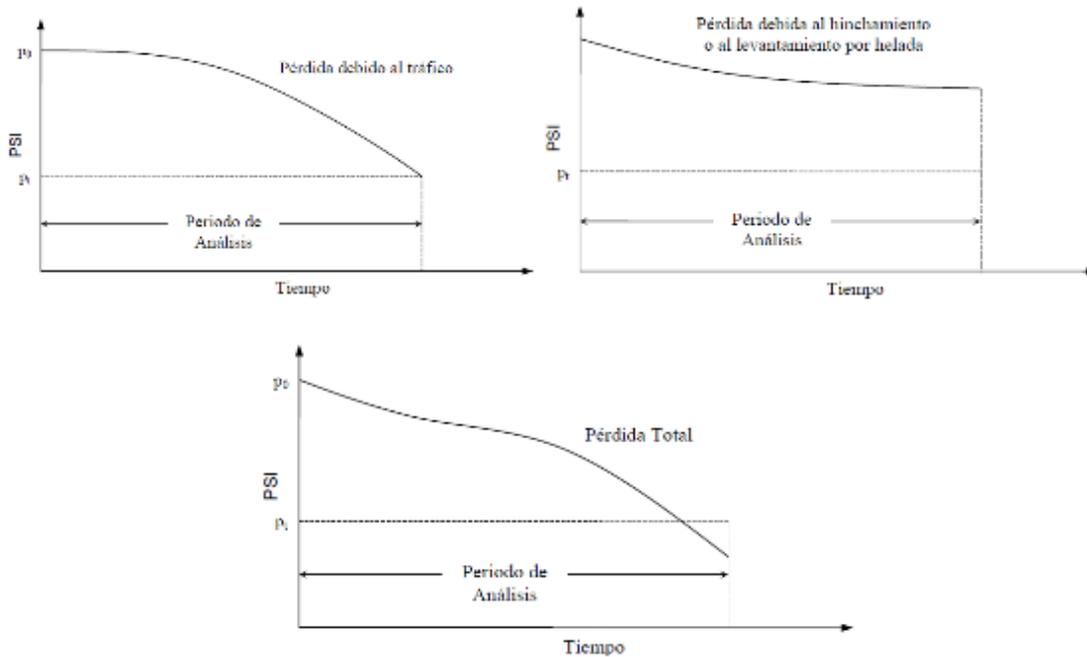


Figura N° 8: Pérdida de serviciabilidad de pavimento
Fuente: Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

C.- Rugosidad (IRI)

El IRI en un punto de una carretera se define como la razón del movimiento relativo acumulado por la suspensión del vehículo tipo, dividido por la distancia recorrida por dicho vehículo (Sánchez, 1989).

La rugosidad que tiene un pavimento es fundamental a la hora de evaluar el confort que siente un usuario al transitar por un pavimento. El método más utilizado universalmente para medir el nivel de confort que siente un usuario es el índice de rugosidad Internacional – IRI (TCP Pavements, 2013).

Modelo de IRI: El modelo de IRI fue calibrado y validado usando LTPP (FHWA 2009) y otros datos en terreno para asegurar que entrega resultados validos bajo cierta variedad de condiciones climáticas y de terreno. (Documentación de diseño Optipave2, 2012)

$$IRI = IRI_i + C1 * CRK + C2 * SPALL + C3 * TFAULT + C4 * SF$$

- Dónde:
- IRI* = IRI predicho, pulg/milla
 - IRI_i* = Rugosidad inicial, medido en términos de IRI, pulg/milla
 - CRK* = Porcentaje de losas agrietadas
 - SPALL* = Porcentaje de losas con Desconches
 - TFAULT* = Escalonamiento promedio acumulado por milla, pulg.
 - SF* = Factor de Sitio
 - C1* = 0,013

$$C2 = 0,007$$

$$C3 = 0,0008$$

$$C4 = 0,003$$

$$S F = AGE (1+0.5556 FI) (1+P200)/1,000,000$$

AGE = Edad Pavimento, años.

FI = Índice de Congelamiento, °F-días.

P₂₀₀ = Porcentaje de material fino (material que pasa malla N° 200).

D.- Agrietamiento transversal en el tercio central de la losa: En el pavimento es una grieta que ocurre en el tercio central de una losa, producto de la fatiga que presenta el material. Esta grieta se origina en la fibra inferior de la losa en el punto del borde de la losa y la mitad longitudinal de la losa.

E.- Agrietamiento Longitudinal: Ocurre por tensiones en la fibra inferior de la losa, y se desarrolla en sentido longitudinal atravesando todo el largo de la losa. La ubicación con respecto al borde en donde se origina la falla depende de varios factores entre los que se encuentran: el ancho de la losa, la magnitud del alabeo de la losa, la configuración del paso de los vehículos.

El cálculo de repeticiones de carga según el tipo de eje, para el agrietamiento longitudinal, es similar al transversal, solo que la carga se ubica en la junta transversal de la losa, El eje simple se modela en la posición crítica que es al borde de la junta longitudinal de la losa, con el total del peso del eje como se muestra en la Figura N° 9:



Figura N° 9: Agrietamiento longitudinal en el eje simple

Fuente: Documentación de diseño Optipave2

El eje doble en tanto, es similar al simple, con la mitad de la carga en la junta transversal y despreciando la otra carga. Se repite una vez el caso, como se muestra en la Figura N° 10:

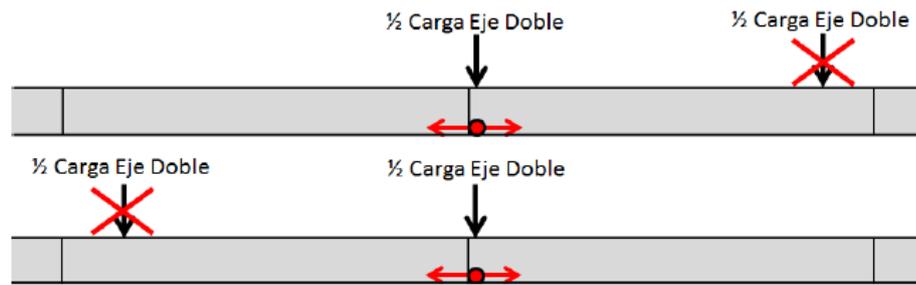


Figura N° 10: Agrietamiento longitudinal en eje doble
Fuente: Documentación de diseño Optipave2

F.- Agrietamiento de Esquina: Ocurre en la fibra superior de la losa, cuya ubicación depende de varios factores. Este se evaluó en diferentes puntos ya que el origen de la falla no siempre ocurre en la misma ubicación. Debido a la importancia del eje tándem en el origen de este tipo de falla, es que se consideró el efecto de ejes simple y el efecto de ejes tándem.

Para el agrietamiento de esquina, es importante considerar el eje doble en la losa ya que ocurre flexión en la parte superior de la losa, en el borde del pavimento y por lo tanto no es posible simplificar esa tensión como en el caso longitudinal y transversal. Para ejes simples, la carga está situada en la junta transversal del pavimento, como se muestra en la Figura N° 11.



Figura N° 11: Agrietamiento de esquina en eje simple
Fuente: Documentación de diseño Optipave2

Para el eje doble, la rueda delantera se sitúa en la junta transversal. Se debe también considerar el eje trasero en la junta transversal, considerándolo como un eje simple. Esto se muestra con mayor claridad en la Figura N° 12.

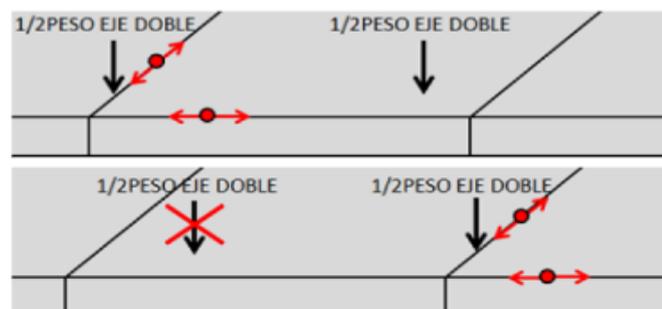


Figura N° 12: Agrietamiento de esquina en eje doble
Fuente: Documentación de diseño Optipave2

G.- Escalonamiento en la junta: Es una diferencia de altura entre dos losas debido al movimiento del material de la base.



Figura N° 13: Escalonamiento en la Junta
Fuente: Calo, 2012; Diseño de pavimentos rígidos

2.2.3.- Costos

Costo directo: Es la sumatoria de la mano de obra, equipos, herramientas y materiales necesarios para la realización de un proceso productivo, para la estimación es necesario conocer las cantidades y los costos unitarios de cada una de las partidas (Ibáñez, 2010).

El análisis de costos unitarios está definida por:

$$CU = Mj + Ne + Oh + Pm$$

Donde:

J, e, h, m: Son variables (costo de mano de obra, equipos, herramientas y materiales).

M, N, O, P: Variables condicionadas (cantidades consumidas de mano de obra, equipos, herramientas y materiales).

Metrados: Se define así al conjunto ordenado de datos obtenidos o logrados mediante lecturas acotadas, preferentemente, y con excepción con lecturas a escala, es decir, utilizando el escalímetro. Los metrados se realizan con el objeto de calcular la cantidad de obra a realizar y que al ser multiplicado por el respectivo costo unitario y sumado obtendremos el costo directo (CAPECO, 2003).

Presupuesto de obra: lo definen como la tasación o estimación económica “a priori” de un producto o servicio.

Partida.- Se denomina así a cada uno de los rubros o partes en que se divide convencionalmente una obra para fines de medición, evaluación y pago.

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

El área se encuentra ubicado al Sur-Este del centro de la ciudad de Puno, en el centro poblado de Jayllihuaya, se encuentra en la región de la sierra cuyas coordenadas geográficas los 15° 52' 08.64" de latitud sur, 69° 59' 07.93" de longitud Oeste del meridiano de Greenwich.



Figura N° 14: Ubicación del área de estudio
Fuente: Google Eart

3.2.- PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

El periodo de duración del estudio comprendió la realización de las actividades de revisión Bibliográfica, Recopilación y procesamiento de datos, Cálculo y análisis de resultados y redacción del informe.

La actividad de la recopilación de datos duró aproximadamente 6 meses, en esta parte se realizó estudios básicos de ingeniería, Tráfico, Geotecnia, Diseño de mezclas y otros; los datos se recabaron en campo y laboratorio.

Las actividades de Cálculo y análisis de resultados y redacción del informe duraron aproximadamente 5 meses, en esta parte se realizó el diseño de estructura de pavimento rígido por el método de AASHTO 93 y Losa de geometría optimizada, además de la redacción del informe se realizó de acuerdo a la Guía para la presentación impresa y digital de la Tesis, aprobada mediante Resolución Rectoral N° 3479-2018-R-UNA.

3.3.- PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

Los equipos utilizados para el cálculo de parámetros de diseño relacionados a estudio de geotecnia y diseño de mezclas son de laboratorio de mecánica de suelos y de construcciones de la escuela Profesional de Ingeniería Civil –UNAP, los cuales a la fecha de ensayos practicados están debidamente calibrados.

Para el diseño de pavimento rígido por el método de AASHTO 93 se utilizó el manual de diseño, que a partir de los parámetros de entrada recabados en los estudios básicos correspondientes y mediante la ecuación general se determinó el espesor de losa de concreto.

Para el diseño de pavimento rígido por el método de losa con geometría optimizada, se realizó mediante el programa computacional OptiPave 2.0, de propiedad de la empresa comercial TCPAVEMENTS LTDA, sociedad organizada de acuerdo a las leyes del Estado de Chile.

Las losas de geometría optimizada son determinadas mediante el programa Optipave2.0, que calcula las tensiones en el pavimento rígido, utilizando el concepto de estructura equivalente y redes neuronales, incluye la verificación para las condiciones de escalonamiento de las juntas transversales sin barras de transferencia de carga, agrietamiento de esquina e Índice de regularidad internacional.

Los parámetros de diseño de la metodología de losa con geometría optimizada se dividen en cinco grupos; *Parámetros de diseño del tipo de pavimento* (vida de diseño, largo de losa, espesor de losa, tipo de borde IRI inicial, IRI final, escalonamiento promedio final de diseño, confiabilidad); *Parámetros del tráfico* (ejes equivalentes, tasa de crecimiento, tipo de tráfico, distribución lateral del tráfico); *Propiedades del concreto* (resistencia, confiabilidad de la mezcla, desviación estándar de diseño, aumento de resistencia 28-90días, módulo de elasticidad, peso específico, módulo de poisson, coeficiente de expansión térmico, retracción a los 365 días, contenido de aire, relación agua/cemento); *Parámetros del suelo* (número de capas, módulo resiliente, módulo de poisson, espesor de capa, resistencia a la erosión, coeficiente de fricción pavimento-subbase, % de material fino en la subrasante) y *Parámetros del clima* (tipo de clima, gradiente de construcción, temperatura media en verano e invierno, temperatura fraguado del concreto, días de precipitación al año, índice de congelamiento de la base).

3.4.- POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

3.4.1.- Población: Es el conjunto de elementos (personas, objetos, etc.) que contienen una o más características medibles o contables de naturaleza cualitativa o cuantitativa. (Córdova, 2006).

La población está conformada por las metas físicas del proyecto “Mejoramiento de los jirones San Antonio de Padua, Paris, Montevideo, Buenos Aires, Santiago de España, Fátima y pasaje sol Aimara, del componente pistas expresado en m².

Tabla N° 2: Metas físicas del proyecto - Pistas

Vías Locales	Longitud (m)	Ancho(m)	Área (m ²)
Jr. San Antonio de Padua	216.79	8	1,734.32
Jr. Paris	216.39	8	1,731.12
Jr. Montevideo	260.86	8	2,086.88
Jr. Buenos Aires	216.03	8	1,728.24
Jr. Santiago de España	199.85	8	1,598.80
Jr. Fátima	100.74	8	805.92
Pasajes Sol Aimara y Atlántida	91.1	7.5	683.23
Total	1,301.76		10,368.51

Fuente: Datos de Proyecto de pre inversión.

3.4.2.- Muestra: Subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y debe ser representativo (Hernández, 2006).

El proyecto conduce a un estudio de caso, el tipo de muestreo se realiza de manera determinística; por tanto la muestra está conformada por los vías locales objeto de estudio (jirones San Antonio de Padua, Paris, Montevideo, Buenos Aires, Santiago de España, Fátima y pasajes sol aimara y Atlántida), que representa 10,368.51 m² de pistas.

3.5.- DISEÑO ESTADÍSTICO

3.5.1.- Enfoque de la investigación

El estudio corresponde al enfoque cuantitativo, debido a que la recopilación de datos en los estudios básicos de ingeniería (Topografía, Geotecnia, hidrología, tráfico), así como los resultados del diseño de pavimento por los métodos AASHTO 93, TCP son expresadas numéricamente.

Enfoque cuantitativo; “Usa la recolección de datos para probar hipótesis, en base a medición numérica y análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”. (Hernández, 2006).

3.5.2.- Nivel de investigación

El estudio corresponde al tipo de estudio descriptivo, denominándose así, porque se observará, describirá, documentará y se proyectara la manifestación de la variable; Aplicación de la metodología TCP en el diseño de pavimento rígido.

Nivel descriptivo; “Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice, describe tendencias de un grupo o población”. (Hernández, 2006).

3.5.3.- Tipo de investigación

El presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, en razón de que utiliza conocimientos del método TCP y AASHTO 93, para la determinación de los componentes del pavimento rígido.

La investigación aplicada busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática, los proyectos de ingeniería civil están ubicados dentro de este tipo de clasificación, siempre y cuando solucionen alguna problemática, por ejemplo: “diseño de una cimentación para suelos arenosos”. (Borja, 2012).

3.5.4.- Diseño estadístico para la prueba de hipótesis

Estadístico de prueba: se aplica el test estadístico de la diferencia de medias, con la distribución de T de Student unilateral a cola izquierda. Para la hipótesis específica uno y tres.

$$T_c = \frac{(\bar{E}_1 - \bar{E}_2)}{\sqrt{\left(\frac{s_c^2}{n_1} + \frac{s_c^2}{n_2}\right)}}$$

$$s_c^2 = \frac{(n_1 - 1) * s_1^2 + (n_2 - 1) * s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Estadístico de prueba: se aplica el test estadístico de T de Student de una sola muestra unilateral de cola izquierda. Para la hipótesis específica dos.

$$T_c = \frac{(\bar{I}_1 - \bar{I}_0)}{\sqrt{\frac{s^2}{n_1}}}$$

3.6.- PROCEDIMIENTO

3.6.1.- Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) **Técnica:** Para la recolección de datos se utilizó fuentes de información primaria y secundaria, mediante las técnicas de observación y revisión bibliográfica, para los estudios básicos de ingeniería (Geotecnia, diseño de mezclas, tráfico) y parámetros adicionales de diseño.

b) Instrumentos:

- Ficha de registro de datos (estudio de geotecnia)
- Ficha de registro de datos (estudio de tráfico)
- Ficha de registro de datos (diseño de mezclas)
- Ficha de registro de datos (parámetros de diseño adicionales)

3.6.2.- Recolección de datos

Se realizó la recolección de datos mediante las técnicas e instrumentos, en laboratorio para los estudios de geotecnia y diseño de mezclas, en campo para estudio de tráfico y revisión de referencias (estudios caso) para los parámetros de diseño adicionales.

3.6.3.- Procesamiento de datos

- Se realizó el cálculo y análisis de los parámetros de diseño relacionados a suelos, agregados y concreto en función al manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Para el diseño de la estructura de pavimento rígido por el método AASHTO 93, se procesa la información en la ecuación fundamental.
- Para el diseño de la estructura de pavimento por el método de TCP, se realizó mediante el programa computacional OPTIPAVE 2.0, de propiedad de la empresa comercial TCPAVEMENTS LTDA, sociedad organizada de acuerdo a las leyes del Estado de Chile.

3.7.- VARIABLES

3.7.1.- **Unidad de análisis:** hace referencia al objeto de estudio en una investigación.

- Estructura de pavimento rígido.

3.7.2.- Identificación de variables: es una característica que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de adoptar diferentes valores, los cuales pueden medirse u observarse.

La investigación es de tipo **UNIVARIABLE** definida como; “Diseño de pavimento rígido con la metodología de losa con geometría optimizada”, en viales locales de centro poblado de Jayllihuaya –Puno.

3.7.3.- Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición	
<i>Univariable:</i> Diseño de pavimento rígido con la metodología de losa con geometría optimizada	Espesor de la estructura de pavimento rígido	Espesor de la losa de concreto.	Numérica	
		Espesor de la capa subbase.	Numérica	
		Parámetros de diseño TCP.	Numérica	
		Parámetros de Diseño AASHTO 93.	Numérica	
	Pavimento Rígido seguro y comfortable		Tensiones Máximas	Numérica
			Índice de regularidad internacional (IRI)	Numérica
			Escalonamiento	Numérica
			% de losas agrietadas	Numérica
			Metrados	Numérica
			Rendimientos	Numérica
Costo directo del pavimento rígido TCP y AASHTO 93		Insumos	Numérica	
		Análisis de costos	Numérica	
		Unitarios	Numérica	

3.8.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Formulación de hipótesis alterna

- *Para Hipótesis específica 1:* Existe una diferencia significativa entre el espesor de la estructura de pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93.

$$H_0: E_1 - E_2 = 0$$

$$H_a: E_1 - E_2 < 0$$

H_0 : Hipótesis nula

H_a : Hipótesis alterna

E_1 : Espesor de la estructura de pavimento rígido diseñado por el método TCP

E_2 : Espesor de la estructura de pavimento rígido diseñado por el método AASHTO 93

- *Para Hipótesis específica 2:* El índice de regularidad internacional estimada para el periodo de servicio del proyecto es menor a 3.5m/km del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada.

$$H_0: I_1 = 3.5m/km$$

$$H_a: I_1 < 3.5m/km$$

H_0 : Hipótesis nula;

H_a : Hipótesis alterna

I_1 : Índice de regularidad internacional año 20 - TCP

- *Para Hipótesis específica 3:* Existe una diferencia significativa entre el costo directo del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93.

$$H_0: C_1 - C_2 = 0$$

$$H_a: C_1 - C_2 < 0$$

H_0 : Hipótesis nula;

H_a : Hipótesis alterna

C_1 : Presupuesto del pavimento rígido diseñado método losa Optimizada

C_2 : Presupuesto de pavimento rígido diseñado método AASHTO 93

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- RESULTADOS

4.1.1.- Espesores de la estructura de pavimento rígido diseñado con la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93

4.1.1.1.- Estudios de geotecnia

En el desarrollo de diferentes obras de ingeniería a lo largo del tiempo, el ingeniero civil ha enfrentado diversos e importantes problemas planteados por el terreno, lo que ha generado que el suelo se convierta en un factor de alta importancia en la proyección de estructuras de cierta envergadura. La aplicación de la mecánica de suelos a estudios de ingeniería requiere necesariamente contar con datos firmes, seguros y abundantes respecto al suelo con el que se está tratando.

El estudio de suelos en el presente proyecto se ha referido a la realización de exploración de suelo, ensayos de caracterización y de comportamiento del terreno de fundación; sobre la cual se proyectará la construcción de la estructura del pavimento, el mismo se ha desarrollado a través de resultados de ensayos de laboratorio de muestras representativas de suelo, a fin de determinar el cumplimiento de exigencias técnicas que califica como apto, caso contrario evaluar la posibilidad de reemplazo o procesos de mejoramiento a través estabilización.

Terreno de fundación: Se entiende como terreno de fundación a la parte de la corteza terrestre en que se apoya la estructura de la obra vial y que es afectada por la misma; su función principal es soportar la estructura de pavimento en condiciones razonables de resistencia y deformación.

La capacidad de soporte depende en gran parte del espesor que debe tener un pavimento de tipo rígido. Si encontramos un suelo de fundación de pésima calidad se debe eliminar, y frente a un suelo fino limoso o arcilloso susceptible de saturación se debe colocar una capa subbase de material granular seleccionado antes de la capa de rodadura.

Muestreo y exploración de suelos en el terreno de fundación: La metodología adoptada para la ejecución del estudio comprende básicamente de una investigación de campo, a través de prospecciones de exploración (obtención de muestras

representativas) mediante pozos de exploración a cielo abierto (calicatas), de las cuales se extrajo muestras representativas y que posteriormente se han practicado ensayos en laboratorio.

Reconocimiento de campo: Etapa en la cual se realizó el reconocimiento de área del proyecto mediante la observación visual, tomando nota la configuración de las vías, presencia de nivel freático, cárcavas de agua pluvial, localización de puntos de muestreo y se define tipo de exploración a realizar.

Sondaje y muestreo: La exploración se realizó mediante la excavación de pozos a cielo abierto (calicatas), que permitió observar los diferentes estratos, el nivel freático y la facilidad de extracción de la muestra; Para determinar el número de puntos (calicatas) se recurre al reglamento nacional de edificaciones en la sección CE. 010 Pavimentos Urbanos, el cual sugiere, que el número de sondajes a ejecutar está en función al tipo de vía. (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento – RNE, 2010).

Tabla N° 3: Número de puntos de investigación

Tipo de vía	N° de puntos	Área (m ²)
Expresas	1 Cada	2000
Arteriales	1 Cada	2400
Colectores	1 Cada	3000
Locales	1 Cada	3600

Fuente: Norma técnica CE 0.10/ Pavimentos urbanos

Con la información de la Tabla N° 3; Las vías del área de estudio corresponden al tipo Locales, por cada 3600 m² se debe realizar 01 punto de investigación; por tanto el número de calicatas requeridas para el estudio es de 3.

$$n = \frac{10,368.51 \text{ m}^2}{3600 \text{ m}^2} = 2.88 \cong 3$$

La profundidad de exploración está relacionada con la transmisión de los esfuerzos, el alcance máximo de una calicata o ensayo de penetración ligera es hasta 1.50m con respecto al nivel de subrasante. (Minaya; Ordoñez, 2005).



Figura N° 15: Muestreo en Calicata C-3

Ensayos realizados en terreno de fundación: Los ensayos de caracterización y de comportamiento se realizaron en el laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la escuela profesional de Ingeniería Civil –UNAP, siguiendo las pautas del manual de ensayo de materiales del ministerio de Transportes y Comunicaciones; los datos y los resultados están en el anexo D del presente trabajo.

a) Ensayos de caracterización

- Contenido de humedad (MTC E 108)
- Análisis granulométrico por tamizado (MTC E 107)
- Limite liquido (MTC E 110)
- Limite plástico (MTC E 111)

b) Ensayos de Comportamiento

- Proctor modificado (MTC E 115): el objetivo es determinar la densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo, se practicó el método C.
- CBR (MTC E 132): el objetivo es determinar la resistencia del suelo frente a sollicitaciones de carga.



Figura N° 16: Ensayo de Limite Líquido y CBR de la calicata C-3

c) Resumen de los resultados de ensayos para subrasante

La tabla N° 4, presenta el resumen de los datos procesados de los ensayos de caracterización y de comportamiento de la subrasante, los cuales son insumo para el diseño de pavimento rígido.

Tabla N° 4: Resultados de ensayos para subrasante.

Ensayo	Calicata		
	C-1	C-2	C-3
Humedad Natural	19.46	29.73	25.15
Clasificación AASHTO	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-4 (1)
Clasificación SUCS	SM	SC	SC
Limite Líquido	NP	25.95	26.22
Limite Plástico	NP	16.71	18.88
Índice de Plasticidad	NP	9.24	7.34
Máxima densidad seca (g/cm ³)	1.915	1.856	1.902
Óptimo contenido de Humedad (%)	9.43	13.34	10.28
95% de la máxima densidad seca (g/cm ³)	1.819	1.763	1.801
CBR al 100% de la MDS (%)	15.00	11.92	11.10
CBR al 95% de la MDS (%)	8.00	8.50	8.30

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo/Anexo D

Determinación del CBR de Diseño: El criterio más difundido para la determinación del valor de resistencia de diseño es el propuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total, 60, 75 o 87.5% de los valores individuales sea igual o mayor que él, de acuerdo con el tránsito que se espera circule sobre el pavimento.

Tabla N° 5: Límites para la selección de resistencia

Numero de Ejes de 8.2 Ton en el carril de diseño (N)	Percentil
< 10 ⁴	60.00%
10 ⁴ -10 ⁶	75.00%
> 10 ⁶	87.50%

Fuente: (Montejo Fonseca A., 2002, pág. 68).

Respecto al dato calculado, C.B.R. al 95% podemos determinar el valor del C.B.R. de diseño para el Terreno de Fundación, para lo cual requerimos el ESAL que ha sido determinado en el estudio de tráfico y es menor a 10⁴ y según la información de la Tabla N° 5, corresponde a un percentil de 60%; Se ordena de menor a mayor los valores de CBR obtenidos en laboratorio mediante el ensayo estándar y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

Tabla N° 6: Determinación del CBR de diseño

Valores CBR de Laboratorio	Numero de valores CBR iguales o mayores	% resultados iguales o mayores
8.00	3	100.00%
8.30	2	66.67%
8.50	1	33.33%

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

- El CBR al 95% de diseño en la subrasante para el cálculo de espesores de la estructura de pavimento es de 8.0%.

Estudio y ubicación de canteras: Se realizó el reconocimiento de la Cantera Mi Perú y La cantera del Rio Cutimbo como fuente de aprovisionamiento de materiales para la conformación de la estructura de pavimento, sub base y losa de concreto, en base a la información contemplada en los expedientes técnicos elaborados para la ejecución de infraestructura vial por parte de la Municipalidad Provincial de Puno.

Tabla N° 7: Ubicación de canteras

Coordenadas UTM: Zona 19 South				
N°	Cantera	Norte	Este	Altura
1	Mi Perú	8,242,617.00	391,258.00	4,043.00
2	Cutimbo	8,227,390.00	395,660.00	3,907.00

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

a.- Descripción de canteras

La cantera Mi Perú, está localizada a 8.30 km de la ciudad de Puno, el acceso es mediante la carretera Puno – Moquegua, el material que presenta es de tipo grava con limo -arcilla de baja plasticidad.

La cantera del Rio Cutimbo, está localizada a 30.2 km de la ciudad de Puno, se encuentra en la jurisdicción del distrito de Pichacani, el acceso es mediante la carretera Puno- Moquegua, el material que presenta es una grava.

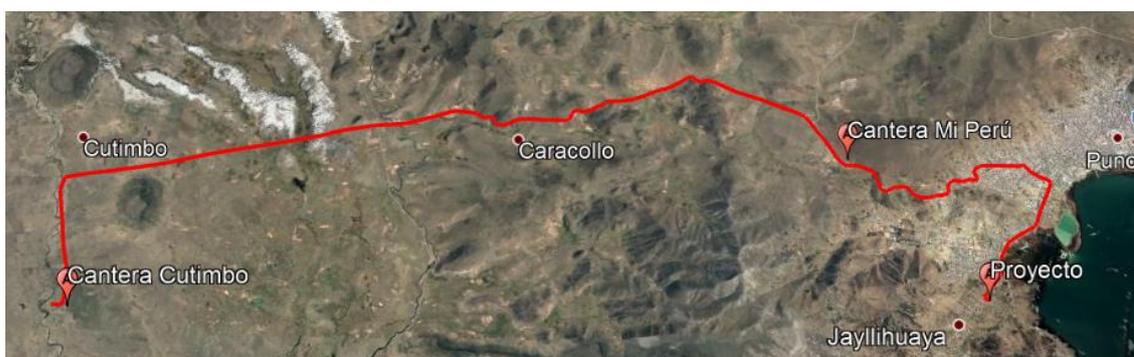


Figura N° 17: Localización de las canteras
Fuente: Google Maps

b.- Materiales para la subbase

Los materiales para el diseño de subbase fueron obtenidas de la canteras de Mi Perú y rio cutimbo que aprovechando los cortes existentes se tomaron muestras representativas para su posterior análisis en laboratorio.



Figura N° 18: Muestreo en la Cantera Mi Perú y Cutimbo

c.- Mezcla de suelos: Se realizó mediante el método grafico para dos suelos, en base a los resultados del ensayo de análisis granulométrico por tamizado.

El material de la cantera Mi Perú presenta 13.68% de material fino (pasa malla N° 200) y un índice de plasticidad 6.89%, valores que superan los máximos requeridos. (Anexo E)

Por otro lado el material de la cantera Cutimbo presenta 1.35% de material fino (pasa malla N° 200) y no presenta índice de plasticidad, el valor no alcanza el límite inferior requerido para porcentaje de finos. (Anexo E)

Tabla N° 8: Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A*	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	.....	.....
25 mm (1")	.....	75 - 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm (N° 4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm (N° 10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
4.25 um (N° 40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 um (N° 200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Fuente: Norma técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos

*La curva de gradación "A" debería emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

- El material diseñado para subbase resulta de la mezcla de dos materiales provenientes de la canteras Mi Perú (40% ligante) y cantera de río Cutimbo (60% hormigón).

Tabla N° 9: Mezcla de suelos para Sub-Base Granular

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso				OBS.
	Gradación A*	Suelo A (Mi Perú)	Suelo B (Río Cutimbo)	Mezcla 0.40*A +0.60*B	
76.2mm (3")		100	100	100	Cumple
63.5mm(2 1/2")		100	100	100	Cumple
50 mm (2")	100	100	100	100	Cumple
25 mm (1")	.....	93.08	84.47	87.34	Cumple
9.5 mm (3/8")	30 - 65	72.71	51.92	57.98	Cumple
4.75 mm (N° 4)	25 - 55	52.16	35.20	40.97	Cumple
2.0 mm (N° 10)	15 - 40	35.92	27.06	29.75	Cumple
0.42 mm (N° 40)	8 - 20	22.77	10.71	14.94	Cumple
0.074 mm (N° 200)	2 - 8	13.68	1.35	5.71	Cumple

Fuente: Anexo E y Norma técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos.

- Además, el material compuesto por las proporciones establecidas debe cumplir con los siguientes requisitos de calidad.

Tabla N° 10: Requerimientos de Calidad para Sub-Base Granular

Ensayo	Norma Técnica	Requerimiento	
		< 3000 msnm	>= 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	50% Max.	50% Max.
CBR(1)	MTC E 132	40% min.	40% min.
Limite Liquido	MTC E 110	25% Max.	25% Max.
Índice de plasticidad	MTC E 111	6% Max.	4% Max.
Equivalente de Arena	MTC E 114	25% min.	35% min.
Sales Solubles Totales (2)	MTC E 219	1% Max.	1% Max.

Fuente: Norma técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos

- El resumen de los resultados de los ensayos de requerimientos de calidad se muestra en la siguiente tabla.

Tabla N° 11: Resumen de ensayos de Calidad para Sub-Base Granular

Ensayo	Norma Técnica	requerimiento	Mezcla	Obs.
		>= 3000 msnm	0.4*A+0.6*B	
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	50% máx.	37.08%	Cumple
CBR(1)	MTC E 132	40% mín.	68.61%	Cumple
Limite Liquido	MTC E 110	25% máx.	23.81%	Cumple
Índice de plasticidad	MTC E 111	4% máx.	3.49%	Cumple
Equivalente de Arena	MTC E 114	35% mín.	54.30%	Cumple

Fuente: Anexo E y Norma técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos

4.1.1.2.- Estudios de Tráfico

El comportamiento del tráfico adquiere una importancia relevante en proyectos de obras viales en general cuya finalidad es cuantificar, clasificar y conocer el volumen de los vehículos que se movilizan por la vía así como estimar el origen - destino de los vehículos, elementos indispensables para la evaluación económica de la vía y la determinación de las características de diseño cada tramo de la misma. El tráfico se define como el desplazamiento de bienes y/o personas en los medios de transporte; mientras que, el tránsito viene a ser el flujo de vehículos que circulan por la carretera, pero usualmente se denomina tráfico vehicular.

Índice Medio Diario (IMD): Definida como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo.

$$\text{Tránsito promedio diario anual (IMDA): } IMDA = \frac{TA}{365}$$

Tránsito promedio diario mensual (IMDM): $IMDM = \frac{TA}{30}$

Tránsito promedio diario semanal (IMDS): $IMDS = \frac{TA}{7}$

De los indicadores de volúmenes de tránsito descritos, el Índice Medio Diario Anual (IMDA) es el indicador más importante que se debe conocer para efectuar el proyecto de diseño de pavimentos.

Para determinar el IMDA de una vía en operación, es necesario disponer de un número total de vehículos que pasan durante todo el año por un punto de referencia establecido, el que se realiza mediante una operación de conteo en forma directa del tránsito denominada “aforo vehicular”.

El IMDA es también posible estimar a partir de aforos vehiculares en determinadas temporadas, ya sea en periodos horarios, diarios, semanales o mensuales y luego proyectarlo a un año mediante técnicas estadísticas.

a) Periodo de diseño (n): El pavimento puede ser diseñado para soportar el efecto acumulativo del tránsito durante cualquier periodo de tiempo. El periodo seleccionado en años, para el cual se diseña el pavimento, se denomina periodo de diseño.

b) Carril de diseño: Para calles y carreteras de dos carriles, el carril de diseño puede ser cualquiera de los dos, mientras que para calles y carreteras de carriles múltiples, generalmente es el carril externo.

c) Crecimiento del tráfico: El pavimento debe ser diseñado para servir adecuadamente la demanda del tránsito durante un periodo de años, el crecimiento del tránsito se debe anticipar. El crecimiento puede considerarse como el Factor de Crecimiento, cuya fórmula se muestra en la ecuación siguiente.

$$\text{factor de crecimiento} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Dónde:

r : Tasa de crecimiento anual, en %.

n : Periodo de diseño en años.

- El tránsito inicial de vehículos comerciales utilizados para el diseño de un pavimento será la suma de: el normalmente existente, el atraído y el generado.

d) Análisis del Tráfico: Se determinó mediante un punto o estación de aforo vehicular ubicado de manera que esta determine todos los vehículos que

ingresen o salgan de la zona de estudio. Para el análisis de tráfico se tomó en cuenta la tabla N° 12, de pesos y medidas.

Tabla N° 12: Pesos y medidas

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores			
			1º	2º	3º	4º	
C2		12,30	7	11	---	---	18
C3		13,20	7	18	---	---	25
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	---	---	30

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos decreto supremo N° 058-2003-MTC

Aforo vehicular: Para el índice medio diario (IMD), se consideran los conteos totales realizados en los tramos correspondientes al cuadro anterior; con base en el mapa vial urbano de la ciudad de Puno. Realizamos un levantamiento estadístico de la carga vehicular que soporta actualmente las vías.

Para su determinación se procedió el conteo de flujo vehicular en tres puntos estratégicos, durante 7 días, lunes 21 al domingo 27 de mayo del año 2018. Según el detalle de la figura N° 19.



Figura N° 19: Croquis de ubicación de la Estación del Aforo Vehicular

- El conteo de flujo vehicular se realizó simultáneamente en los tres puntos; Jr. San Antonio de Padua, Jr. Paris y Jr. Buenos Aires.

Tabla N° 13: Aforo en la Intersección Jr. San Antonio y Av. Orgullo Aimara

Días	Auto	Station Wagon	Camioneta Pick-Up	Camioneta Panel	Camioneta Rural	Camión 2E	Camión 3E	Total	%
Lunes	1	1	1	0	0	1	0	4	10%
Martes	2	2	1	0	1	1	0	7	18%
Miércoles	1	2	0	0	1	1	0	5	13%
Jueves	2	1	1	0	2	1	0	7	18%
Viernes	1	2	1	0	1	0	0	5	13%
Sábado	1	2	1	0	1	1	0	6	15%
Domingo	1	1	1	0	2	0	0	5	13%
Total	9	11	6	0	8	5	0	39	100%
%	23%	28%	15%	0%	21%	13%	0%	100%	.-.

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Tabla N° 14: Aforo en la Intersección Jr. Paris y Av. Orgullo Aimara

Días	Automóvil	Station Wagon	Camioneta Pick-Up	Camioneta Panel	Camioneta Rural	Camión 2E	Camión 3E	Total	%
Lunes	5	3	1	0	2	3	0	14	11%
Martes	6	4	1	0	2	1	0	14	11%
Miércoles	5	2	0	0	1	2	0	10	8%
Jueves	6	2	2	0	3	1	0	14	11%
Viernes	7	4	4	0	3	0	0	18	14%
Sábado	9	14	2	2	3	2	2	34	26%
Domingo	10	10	2	0	3	2	0	27	21%
Total	48	39	12	2	17	11	2	131	100%
%	37%	30%	9%	2%	13%	8%	2%	100%	.-.

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Tabla N° 15: Aforo en la Intersección Jr. Buenos Aires y Av. Orgullo Aimara

Días	Automóvil	Station Wagon	Camioneta Pick-Up	Camioneta Panel	Camioneta Rural	Camión 2E	Camión 3E	Total	%
Lunes	14	4	2	0	5	4	0	29	12%
Martes	12	3	2	0	5	3	0	25	10%
Miércoles	10	1	2	0	4	3	1	21	8%
Jueves	15	3	1	0	3	3	0	25	10%
Viernes	17	6	5	0	4	4	1	37	15%
Sábado	30	8	6	3	6	7	5	65	26%
Domingo	18	6	3	3	8	5	5	48	19%
Total	116	31	21	6	35	29	12	250	100%
%	46%	12%	8%	2%	14%	12%	5%	100%	.-.

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

- Para el diseño de pavimento rígido se utilizó el aforo de la tabla N° 15, que corresponde al punto en la intersección de Jr. Buenos Aires y Av. Orgullo Aimara.

Determinación del Índice Medio Diario Anual IMDA: La estimación del Índice Medio Diario Anual (IMDA) se hace a partir del Índice Medio Diario Semanal (IMDS), dato recopilado en el trabajo de campo que es un insumo para el diseño de pavimento.

a) Calculo del IMDS: La estimación del tránsito promedio diario semanal (IMDS), está dada por la relación entre el número de vehículos registrados en el aforo semanal (lunes –domingo) dividida por 7 días.

$$IMDS = \frac{TA}{7} = \frac{250}{7} = 36$$

- Por lo tanto el IMDS será 36 vehículos mixtos/día

b) Calculo del IMDA: La estimación del IMDA o Media Poblacional, se estima en base al IMDS o Media muestral, y está dado por.

$$IMDA = IMDS \pm A$$

Dónde:

IMDA: Índice medio diario anual.

IMDS: Índice medio diario semanal.

A: Máxima diferencia entre el IMDA y el IMDS

El valor de A, sumado o restado del IMDS (Media Muestral), define el intervalo de confianza dentro del cual se encuentra el IMDA (Media Poblacional), Para un determinado nivel de confianza, el valor de “A” es el siguiente.

$$A = K * E$$

Dónde:

K: Número de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado.

E: Error estándar de la media.

Estadísticamente se ha demostrado que las medias de diferentes muestras, tomadas de la misma población, Tiene una distribución normal alrededor de la media poblacional y con una desviación estándar equivalente al error estándar.

$$E = \sigma' = \frac{S}{\sqrt{n}} \left(\sqrt{\frac{(N-n)}{(N-1)}} \right)$$

Dónde:

S: Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito diario ó desviación estándar muestral.

n: Tamaño de la muestra - número de días del aforo

N: Tamaño de la población - número días del año.

- La desviación estándar muestral S, se calcula con la siguiente relación.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - IMDS)^2}{n-1}}$$

Días	TD_i	IMDS	$(TD_i - IMDS)^2$
Lunes	29	36	49
Martes	25	36	121
Miércoles	21	36	225
Jueves	25	36	121
Viernes	37	36	1
Sábado	65	36	841
Domingo	48	36	144
Total	250		1502

$$S = \sqrt{\frac{1502}{7-1}} = 15.82$$

- Reemplazando la desviación estándar muestral en la ecuación, a fin de estimar el valor la desviación estándar poblacional.

$$E = \sigma' = \frac{S}{\sqrt{n}} \left(\sqrt{\frac{(N-n)}{(N-1)}} \right) = \frac{15.82}{\sqrt{7}} \left(\sqrt{\frac{(365-7)}{(365-1)}} \right) = 5.93$$

Para calcular el valor de “K”, se ha recurrido al uso de tablas estadísticas, para lo cual se ha considerado previamente un nivel de confiabilidad de 65% según al tipo de vía; AASTHO define en la Guide for Design of Pavement Structures 1993, Valores del Nivel de confianza R, de Acuerdo al tipo de camino, para vías locales y urbanas está en un rango de 50 -80. Para el caso específico del presente proyecto se optó por una valor de 65%.

Tabla N° 16: Factores de desviación normal

Confiabilidad	Zr
50	0
65	-0.389
80	-0.841
95	-1.645

Fuente: Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos IMCYC

- El valor K, estimado para calcular el IMDA es de -0.389.

Finalmente para el cálculo del Índice Medio Diario Anual (IMDA) usaremos la ecuación siguiente, y los valores K= -0.389 que corresponde a una confiabilidad de 65% y una desviación estándar poblacional 5.93 veh./día.

$$IMDA = IMDS \pm K * E = 36 \pm 5.93 * (-0.389)$$

$$IMDA = 36 \pm (-2.31)$$

El IMDA está en el intervalo de confianza; $33.69 < IMDA < 38.31$ veh./día y Para el diseño de pavimento en el área de estudio se adoptó el valor promedio ó central que corresponde a $IMDA = 36$ Vehículos/día.

Estimación de la tasa de crecimiento anual de tráfico

La estimación de la tasa de crecimiento anual de tráfico se determinó en base a tres fuentes de información; Datos de series de tiempo del parque automotor de la región Puno (2000-2012), Tasas sugeridas para vehículos ligeros y pesados por la ficha técnica estándar para formulación y evaluación de proyectos de inversión en carreteras Interurbanas y Tasas por tipo de vehículo del estudio especializado realizado por Provias descentralizado para la carretera Puno – Vilque – Mañazo –Huataquita.

a.- Estimación de tasa de crecimiento anual de tráfico en base al parque automotor de la región Puno.

Para el cálculo de tasa de crecimiento anual de tráfico se recabó información del parque automotor de la región Puno para el periodo de 2000- 2012. A partir de la información de series de tiempo, mediante la aplicación de modelos de regresión de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) se realizó el ajuste con un modelo lineal y exponencial a fin de realizar las proyecciones.

Tabla N° 17: Parque automotor, según departamentos 2004 – 2012

Año	Parque Automotor-Puno
2000	22,074
2001	23,340
2002	24,304
2003	25,135
2004	25,642
2005	25,874
2006	26,452
2007	28,062
2008	29,889
2009	31,645
2010	34,169
2011	37,074
2012	40,543

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones/INEI

a.1. Modelo Lineal: Aplicando un modelo de regresión lineal por el método de mínimos cuadrados (MCO) con la ecuación lineal denotado por, $Y = a + bX$; las constantes “a” y “b” se determinaron mediante las ecuaciones de primer y segundo orden a través del Software estadístico Stata versión 13.

Source	SS	df	MS	
Model	341091826	1	341091826	Number of obs = 13
Residual	36657525.7	11	3332502.33	F(1, 11) = 102.35
Total	377749352	12	31479112.6	Prob > F = 0.0000
				R-squared = 0.9030
				Adj R-squared = 0.8941
				Root MSE = 1825.5

y	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]
x	1368.989	135.3161	10.12	0.000	1071.16 1666.818
_cons	20570.91	956.8295	21.50	0.000	18464.94 22676.88

$$Y = 20570.91 + 1338.989 * X$$

Y= Parque Automotor-Puno; X = Años

a.2. Modelo Exponencial: Aplicando el modelo exponencial por el método de mínimos cuadrados ordinarios, con la ecuación denotada por, $Y = a * b^X$ las constantes “a” y “b” se determinan mediante las ecuaciones de primer y segundo orden a través del Software estadístico Stata versión 13, previa transformación de la ecuación por logaritmos a una ecuación lineal.

$$\log Y = \log a + X * \log b$$

Source	SS	df	MS			
Model	.073173397	1	.073173397	Number of obs =	13	
Residual	.004466608	11	.000406055	F(1, 11) =	180.21	
Total	.077640005	12	.00647	Prob > F =	0.0000	
				R-squared =	0.9425	
				Adj R-squared =	0.9372	
				Root MSE =	.02015	

logy	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]	
x	.0200512	.0014937	13.42	0.000	.0167637	.0233388
_cons	4.331752	.0105619	410.13	0.000	4.308505	4.354998

$$y = 21,463.47 * 1.047^X$$

Donde:

LogY= Parque Automotor-Puno expresado en logaritmos

X = Años

a.3. Proyección de tráfico: De los modelos aplicados lineal y exponencial, se realiza la proyección con el modelo exponencial, debido a que el grado de ajuste es mayor, $R^2 = 0.9425$.

Tabla N° 18: Proyección del Parque automotor, 2018 – 2038

N°	AÑOS	Parque Automotor-Puno
0	2018	49,061
1	2019	51,367
2	2020	53,782
3	2021	56,309
4	2022	58,956
5	2023	61,727
6	2024	64,628
7	2025	67,665
8	2026	70,846
9	2027	74,175

Continúa

10	2028	77,662
11	2029	81,312
12	2030	85,133
13	2031	89,135
14	2032	93,324
15	2033	97,710
16	2034	102,303
17	2035	107,111
18	2036	112,145
19	2037	117,416
20	2038	122,935

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Con la información estimada se precedió a calcular la tasa de crecimiento del parque automotor de la región Puno, reemplazando los valores en la ecuación se obtiene un valor de 4.7% anual.

$$r = \sqrt[n]{\frac{T_n}{T_i}} - 1 = \sqrt[20]{\frac{122,935}{49,061}} - 1 = 0.047 = 4.7\%$$

Donde:

r: tasa de crecimiento anual

T_n : Transito en el periodo ultimo

T_i : Transito en el periodo inicial

n: número de años

b.- Tasa de crecimiento anual de tráfico en base a RM 633-2018 – MTC/01

Para efectuar proyecciones de tráfico para cada tipo de vehículo, se utilizó la tasa de crecimiento de la población y PBI para el tráfico ligero y pesado respectivamente. Para ello se debe recurrir a proyecciones efectuadas por el INEI y otras fuentes especializadas en el ámbito del Sector.

La RM 633-2018 – MTC/01, Que Aprueba la Metodología Específica "Ficha Técnica Estándar, Instructivo y Líneas de Corte para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras Interurbanas, sugiere usar una tasa de crecimiento anual de tráfico de 0.92% en vehículos ligeros y 3.21% en vehículos pesados para la proyección de tráfico futuro en proyectos localizados en la región Puno.

Tipo de Vehículo	Tasa de Crecimiento Anual (%)
Ligeros	0.92%
Pesados	3.21%

b.- Tasa de crecimiento anual de tráfico en base a estudio especializado

El estudio de tráfico realizado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de Provias descentralizado para la carretera Puno – Vilque – Mañazo –Huataquita que pertenece a la Ruta Departamental PU-126, se determinó tasas de crecimiento por tipo de vehículo, tomando como variables macro económicas como el PBI agrícola del departamento de Puno y la tasa de crecimiento intercensal de la población del área de influencia del proyecto.

Para la determinación de tasa de crecimiento vehicular se utilizó 1.44% de tasa de crecimiento intercensal de población del área de influencia, 4.08% de tasa de crecimiento del PBI agrícola del departamento de Puno, según datos del Instituto nacional de Estadística e Informática – INEI. Estos valores fueron multiplicados por las elasticidades de tráfico calculadas a partir de relaciones entre parque automotor del departamento y el PBI de servicios para vehículos ligeros y PBI total para vehículos pesados mediante una regresión lineal y elasticidad punto, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla N° 19: Tasa de crecimiento Vehicular Anual

Tipo de Vehículo	Tasa de Crecimiento Anual (%)
Automóvil	1.43%
Station Wagon	1.50%
Camioneta Pick Up	1.42%
Camioneta Rural	1.45%
Camioneta Panel	1.48%
Camión 2E	4.00%
Camión 3E	4.00%

Fuente: Estudio de Trafico – Carretera PU-126 Puno/MTC

Factores Equivalentes de Carga, FEC

AASHTO ha calculado de acuerdo a su carga por eje en base al eje estándar de 8.2 toneladas, y por tipo eje simples, tándem y trídem. Con el objeto de evaluar el efecto en un pavimento, las cargas diferentes a la estándar de 8.2 toneladas, equivalente a una tándem de 14.5 toneladas, se han determinado factores de equivalencia de carga por eje, que se han obtenido a partir de los resultados del AASHTO ROAD TEST. Los resultados obtenidos en el camino de prueba de la AASHTO, han permitido determinar

que la equivalencia entre cargas diferentes transmitidas al pavimento por el mismo sistema de ruedas y ejes, se expresa como.

$$FEC = \left(\frac{p_i}{p_0}\right)^4$$

FEC: Factor de Equivalencia de Carga.

P_i: Carga de eje considerada, cuya equivalencia de daño se desea calcular (Ton)

P₀: Carga de eje de referencia estándar (Ton)

Tabla N° 20: Factor Camión

Carga bruta por eje		Factores de equivalencia de Carga		
KN	lb	Ejes Simples	Ejes Tandem	Ejes Tridem
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.360	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80.0	18,000	1.000	0.077	0.017
89.0	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.180	0.040
106.8	24,000	3.03	0.260	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.080
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169.0	38,000	17.20	1.70	0.393
178.0	40,000	21.08	2.08	0.487
187.0	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31.00	3.00	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.50	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43

Fuente: Minaya, Ordoñez. (2006) - Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos – UNI

a) Carril de diseño: Para calles y carreteras de dos carriles, el carril de diseño puede ser cualquiera de los dos, mientras que para calles y carreteras de carriles múltiples, generalmente es el carril externo.

Bajo ciertas condiciones, es probable que haya mayor tránsito de camiones en un sentido que en otro. En muchos sitios los camiones circulan cargados en un sentido y vacíos en otro. Las recomendaciones del Instituto del Asfalto y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), son:

- Instituto del Asfalto:

Tabla N° 21: Carril de diseño según el Instituto del Asfalto

N° carriles (2 direcciones)	% de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45 (35 - 48)
6 o mas	40 (25 - 48)

Fuente: Minaya, Ordoñez. (2006) - Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos – UNI

- *AASHTO*: Parte del conteo en ambas direcciones, el factor direccional recomendado es de 50%, aunque este valor puede variar entre 30 a 70%. El tráfico en un sentido se separa para el carril de diseño según la recomendación:

Tabla N° 22: Carril de diseño según AASHTO

N° carriles (1 direcciones)	% ESAL en el carril de diseño
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Fuente: Minaya & Ordoñez. (2006) - Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos - UNI

b) Estimación del Factor Camión, FC: Se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes estándar de 80 kN, correspondiente al paso de un vehículo. El factor camión se puede obtener por pesaje. El pesaje es un método costoso para proyectos pequeños; por lo tanto, cuando se deba efectuar el diseño para un tramo de vía en la cual no se tengan datos sobre el pesaje quedan dos alternativas:

- Asumir el F.C. conocido de una vía cuyas características sean similares.
- Estimar el F.C. por algún método empírico

Se puede emplear el D.S. N°034-2001-MTC del 25 de julio del 2001, en la mencionada norma se publican las dimensiones y pesos por eje de vehículos pesados,

Los autos no se incorporan en la presente norma, porque el paso de un vehículo ejerce un daño no significativo en el pavimento.

Se ubicó el peso en toneladas por eje del vehículo de la tabla N° 12, luego se convierten en unidades de Kilo-Newton (KN), posteriormente con este valor se ubica su Factor Equivalente de Carga con la tabla N° 18, para finalmente sumar los valores del Eje 1 y el Eje 2, obteniendo el Factor Camión (FC).

Tabla N° 23: Resultados del Factor Camión

Tipo de Vehículo	Eje 1			Eje 2			Factor Camión
	Ton	KN	FEC	Ton	KN	FEC	
Autos	0.5	4.905	0.0001	0.5	4.905	0.0001	0.0002
Station Wagon	0.7	6.867	0.0001	0.7	6.867	0.0001	0.0002
Camioneta Pick-Up	1.5	14.715	0.001	1.5	14.715	0.001	0.002
Camioneta Panel	2	19.620	0.001	2	19.620	0.001	0.002
Camioneta Rural	2	19.620	0.003	2	19.620	0.003	0.006
C2	7	68.670	0.548	11	107.910	3.164	3.712
C3	7	68.670	0.548	18	176.580	2.05	2.598

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

ESAL’s de Diseño

El tránsito proveniente del conteo vehicular debe ser dividido para el carril de diseño, El volumen de tránsito del carril de diseño se convierte a un determinado número de ESAL, que es equivalent single axle load, que es el parámetro usado en el diseño de la estructura del pavimento.

Para determinar el factor de crecimiento se utilizó las tasas de crecimiento anual de tráfico sugerido por la RM 633-2018 – MTC/01, Las tasas de crecimiento por tipo de vehículo obtenido en el estudio desarrollado por Provias Descentralizado –MTC para la carretera PU-126 y Tasa de crecimiento calculada por el volumen de parque automotor de la región Puno, Para finalmente estimar el ESAL.

El factor de crecimiento está dada por la siguiente ecuación matemática (7); reemplazando valores se tiene.

$$Factor\ de\ crecimiento = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

r: Tasa de crecimiento anual de tráfico.

Tabla N° 24: ESAL con tasas de la RM -633-2018 –MTC/01

Tipo de Vehículo	Porcentaje de cada tipo de vehículos (1)	Nº veh/día (2 sent.) (2)=IMDA*(1)	Nº veh/día (1 sent.) (3)=50%*(2)	Nº veh/año (4)=(3)*365	Factor de Camión (5)	ESAL en carril de diseño (6)=(4)*(5)	Factor de crecimiento (7)	ESAL de diseño (8)=(6)*(7)
Autos	46.40%	17	8.50	3,102.50	0.0002	0.62	21.85	13.56
stación Wagon	12.40%	4	2.00	730.00	0.0002	0.15	21.85	3.19
Camioneta Pick-Up	8.40%	3	1.50	547.50	0.002	1.10	21.85	23.92
Camioneta Panel	2.40%	1	0.50	182.50	0.002	0.37	21.85	7.97
Camioneta Rural	14.00%	5	2.50	912.50	0.006	5.48	21.85	119.62
C2	11.60%	4	2.00	730.00	3.712	2,709.76	27.45	74,387.77
C3	4.80%	2	1.00	365.00	2.598	948.27	27.45	26,031.71
Total	100.00%	36	18.00	6,570.00		3,665.73		100,587.75

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Tabla N° 25: ESAL con tasas por tipo de vehículo/estudio especializado

Tipo de Vehículo	Porcentaje de cada tipo de vehículos (1)	Nº veh/día (2 sent.) (2)=IMDA*(1)	Nº veh/día (1 sent.) (3)=50%*(2)	Nº veh/año (4)=(3)*365	Factor de Camión (5)	ESAL en carril de diseño (6)=(4)*(5)	Factor de crecimiento (7)	ESAL de diseño (8)=(6)*(7)
Autos	46.40%	17	8.50	3,102.50	0.0002	0.62	22.96	14.25
stación Wagon	12.40%	4	2.00	730.00	0.0002	0.15	23.12	3.38
Camioneta Pick-Up	8.40%	3	1.50	547.50	0.002	1.10	22.94	25.12
Camioneta Panel	2.40%	1	0.50	182.50	0.002	0.37	23.08	8.42
Camioneta Rural	14.00%	5	2.50	912.50	0.006	5.48	23.01	125.98
C2	11.60%	4	2.00	730.00	3.712	2,709.76	29.78	80,691.45
C3	4.80%	2	1.00	365.00	2.598	948.27	29.78	28,237.66
Total	100.00%	36	18.00	6,570.00		3,665.73		109,106.26

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

Tabla N° 26: ESAL con tasas en base al parque automotor región -Puno

Tipo de Vehículo	Porcentaje de cada tipo de vehículos (1)	Nº veh/día (2 sent.) (2)=IMDA*(1)	Nº veh/día (1 sent.) (3)=50%*(2)	Nº veh/año (4)=(3)*365	Factor de Camión (5)	ESAL en carril de diseño (6)=(4)*(5)	Factor de crecimiento (7)	ESAL de diseño (8)=(6)*(7)
Autos	46.40%	17	8.50	3,102.50	0.0002	0.62	32.04	19.88
stación Wagon	12.40%	4	2.00	730.00	0.0002	0.15	32.04	4.68
Camioneta Pick-Up	8.40%	3	1.50	547.50	0.002	1.10	32.04	35.08
Camioneta Panel	2.40%	1	0.50	182.50	0.002	0.37	32.04	11.69
Camioneta Rural	14.00%	5	2.50	912.50	0.006	5.48	32.04	175.40
C2	11.60%	4	2.00	730.00	3.712	2,709.76	32.04	86,811.85
C3	4.80%	2	1.00	365.00	2.598	948.27	32.04	30,379.47
Total	100.00%	36	18.00	6,570.00		3,665.73		117,438.05

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

EL Índice Medio Diario Anual (IMDA) proyectado es 36 Vehículos mixtos/día y el ESAL's estimado para el diseño de la estructura de pavimento rígido es 100,587.75 109,106.26 y 117,438.05 ejes equivalentes de 80 KN, a diferentes tasas de crecimiento anual de tráfico.

4.1.1.3.- Diseño geométrico del pavimento

Clasificación vial urbana: La infraestructura vial urbana materia del presente estudio es de tipo local. Tienen por objeto brindar el acceso a los predios, debiendo llevar únicamente su tránsito propio, generado tanto de ingreso como de salida. Por ellas transitan vehículos livianos, ocasionalmente semipesados; se permite estacionamiento vehicular y existe tránsito peatonal irrestricto. Las vías locales se conectan entre ellas y con las vías colectoras. (Manual de diseño geométrico de vías urbanas -2005).

Parámetros de diseño en vías urbanas: La forma de cada vía cumple las funciones propias de su tipo y está asociada a determinados parámetros de diseño, habiéndose establecido en el “Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas 2005”, la velocidad de diseño, características del flujo, control de accesos, relación con otras vías, número de carriles, servicio a propiedades adyacentes, transporte público y estacionamiento.

Velocidad directriz o de diseño: Para el presente proyecto, se ha adoptado una velocidad directriz o de diseño de 30 Km/h. en función a las especificaciones del manual de diseño geométrico de vías urbanas.

Tabla N° 27: Parámetros de diseño vinculados según a la clasificación

Atributos y restricciones	vías locales
Velocidad de Diseño	Entre 30 y 40 Km/hora. Se regirá por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.
Características del flujo	Está permitido el uso por vehículos livianos y el tránsito peatonal es irrestricto. El flujo de vehículos semipesados es eventual. Se permite el tránsito de bicicletas.
Control de Accesos y Relación con otras Vías	Se conectan a nivel entre ellas y con las vías colectoras.
Número de carriles	Unidireccionales: 1 carril/sentido Bidireccionales: 2 carriles.
Servicio a propiedades adyacentes	Prestan servicio a las propiedades adyacentes, debiendo llevar únicamente su tránsito propio generado.
Servicio de Transporte público	No permitido
Estacionamiento, carga y descarga de mercaderías	El estacionamiento está permitido y se regirá por lo establecido en los artículos 203 al 225 del RNT vigente

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005

Visibilidad: Uno de los parámetros que determinan la seguridad de una vía es la visibilidad, de ella depende la oportunidad que tiene un conductor de tomar una acción determinada como la detención, el sobrepaso o el cambio de velocidad. En general cuando se utiliza el término visibilidad nos referimos a una distancia a través del cual no existen obstrucciones para la visión del conductor.

a) Distancia de visibilidad de parada: Es la distancia que recorre un vehículo desde el momento en el que logra observar una situación de riesgo hasta que el conductor logra detenerlo. Para el cálculo de esta distancia se debe entender que existen dos momentos claramente diferenciados en el proceso de detener el vehículo.

b) El tiempo de percepción – reacción: Es un intervalo de tiempo que requiere el ser humano para comprender, analizar, decidir y reaccionar accionando el freno, se mide desde la observación de la situación, se asume el valor de 2.5 segundos que es recomendado por la AASHTO y que corresponde al tiempo del 90avo percentil del tiempo empleado por los conductores sometidos a sus estudios.

- Por los modelos de la cinemática se determina la demanda de una distancia requerido para un tiempo de percepción-reacción.

$$D_{pr} = v_0 * t_{pr} = 0.694 * v_0$$

Dónde: v_0 : Velocidad de diseño en km/h.

D_{pr} : Distancia recorrida en metros

T_{pr} : Tiempo de percepción (seg.)

c) El tiempo neto de frenado: Es el tiempo que tarda el vehículo en pasar desde la velocidad de circulación (considerar la velocidad de diseño) hasta la velocidad cero. Este tiempo se maneja a través de la distancia recorrida por el vehículo, su valor se calcula por las condiciones del movimiento uniformemente acelerado, y por la conocida relación de $F = m a$.

$$D_f = \frac{v_0^2}{254 * f}$$

Dónde:

V_0 : Velocidad de diseño en km/h

f : Factor de fricción (ver Tabla 23)

D_f : Distancia en metros

Tabla N° 28: Coeficiente de fricción longitudinal según la velocidad de circulación.

V(km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
f	0.40	0.38	0.35	0.33	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets ASSHTO 1994

- Finalmente la Distancia de Visibilidad de Parada está dada por la suma de las ecuaciones de tiempo de percepción –reacción y tiempo neto de frenado.

$$D_p = 0.694 * v_0 + \frac{v_0^2}{254*f} = 0.694 * 30 + \frac{30^2}{254*0.40} = 29.68 \cong 30 \text{ m}$$

D_p: Distancia de parada

- La influencia por pendiente tiende a cero, debido a la topografía del área de estudio definida como plana.

Alineamiento Horizontal: Son las características del diseño geométrico en planta, debe permitir, en lo posible, la operación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar en promedio la misma velocidad directriz en la mayor longitud de vía que sea posible.

a) Alineamientos rectos: El trazado de una vía urbana contiene usualmente alineamientos rectos, los cuales ofrecen ventajas de orientación, entre otras. Usualmente la longitud de los alineamientos rectos está condicionada por las características del derecho de vía.

Se adoptó las longitudes mínimas de tangentes, indicadas en la tabla N° 29, calculadas en función de la velocidad directriz del diseño.

Tabla N° 29: Longitud mínima en tangentes para el diseño geométrico/locales

Velocidad Directriz		Longitud Mínima de Tangente
Km/h	m/s	metros
30	8.33	20
40	11.11	25
50	13.88	30
60	16.66	35
80	22.22	....

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005

Los tramos en tangente de las diferentes vías del proyecto son mayores a 20 m. para una velocidad de diseño de 30km/h.

b) Curvas Horizontales: El diseño de tramos viales en curva debe efectuarse teniendo en cuenta la relación entre la velocidad de diseño, el radio de la curva, el efecto de la inclinación transversal de la vía y la interacción de estos con la fricción entre vehículo y vía.

Tabla N° 30: Radios Mínimos

Km/h	Coef. Fricción Transversal $f_{max.}$	Valor Real de R mínimo con p máx. deseable		Valor Práctico de R mínimo con p máx. deseable	
		p máx. 4%	p máx. 6%	p máx. 4%	p máx. 6%
20	0.18	14.32	13.12	15.00	15.00
30	0.17	33.75	30.81	35.00	30.00
40	0.17	59.99	54.78	60.00	55.00
50	0.16	98.43	89.48	100.00	90.00
60	0.15	149.19	134.98	150.00	135.00
70	0.14	214.35	192.91	215.00	195.00
80	0.14	279.97	251.97	280.00	250.00
90	0.13	375.17	335.68	375.00	335.00
100	0.12	492.13	437.45	490.00	435.00
110	0.11		560.44		560.00
120	0.09		755.91		755.00
130	0.08		950.51		950.00

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005

El radio mínimo es de 35m para una velocidad directriz de 30 Km/h y un peralte máximo de 4% (tabla N° 30). En las intersecciones de las vías del área del proyecto los radios son mayores a lo establecido.

Alineamiento Vertical: El alineamiento vertical del trazo vial está condicionada por los frentes de las viviendas, y se asimila la pendiente al terreno existente.

a) El Perfil Longitudinal: Es una línea que se emplea en el diseño para representar gráficamente la disposición vertical de la vía respecto del terreno. Esta línea suele estar asociada al Eje del trazo definido en la planta, identificándose a lo largo de su desarrollo las variaciones de las cotas del terreno y de la rasante de la vía. El nivel de acabado final se denomina rasante de la vía.

b) Tangentes Verticales: Se denomina también como pendiente y es el cociente entre la variación vertical y variación horizontal expresada en porcentaje.

- **Pendientes Mínimas:** La pendiente mínima está gobernada por el sistema de drenaje; si el bombeo de la calzada es de 2% se puede adoptar pendientes mínimas de 0.3%; para casos de bombeo menor usar pendiente longitudinal mínima de 0.5%.

- **Pendientes Máximas:** En vías urbanas, cuando se tiene la posibilidad de elegir la pendiente a emplear en un alineamiento vertical, se deberá tener presente las consideraciones económicas, constructivas y los efectos de la gradiente en la operación vehicular.

Tabla N° 31: Pendientes Máximas

Tipo de vía	Tipo de Terreno		
	Plano	Ondulado	Montañoso
Locales	Según Topografía	10.00%	10.00%
Rampas de acceso o salida a vías libre de intersecciones	6% - 7%	8% - 9%	8% - 9%

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005.

- Las vías del área del proyecto son tipo local, con una topografía relativamente plana y se adopta las especificaciones de la tabla N° 31.

c) Curvas Verticales: Cuando la velocidad directriz de la vía es menor a 50km/h se deberá diseñar una curva vertical siempre que la diferencia algebraica de pendientes sea mayor a 1%. Según la forma en que las dos pendientes se encuentran se requerirá el diseño de una curva vertical Cóncava o Convexa. En cualquiera de los casos, estas curvas se trazan gracias a la tabulación de fórmulas cuadráticas del tipo $y = kx^2$.

Sección Transversal: corresponde a un corte vertical normal al eje del alineamiento horizontal, definiendo la ubicación y dimensiones de cada uno de los elementos que conforman.

a) Número de Carriles: La determinación del número de carriles y consecuentemente del ancho de la calzada, en un principio, se define en los estudios de planificación de la red vial y de transporte urbano realizados por la municipalidad provincial de Puno. Para el caso del presente proyecto, se realizó de acuerdo a los parámetros urbanísticos existentes, lo cuales nos permitieron optar por una vía de 2 carriles, uno en cada sentido.

b) Ancho de Carriles: El ancho recomendable para los carriles de una vía dependerá principalmente de la clasificación de la misma y de la velocidad de diseño adoptada, sin embargo no siempre será posible que los diseños se efectúen según las condiciones ideales. Se podrá justificar el empleo de valores excepcionales atendiendo aspectos sociales, económicos, físicos, geográficos e inclusive institucionales. Dependiendo de la

velocidad de diseño y de la clasificación vial, el ancho de los carriles, en tramos rectos, puede asumir los valores indicados en la Tabla N° 32.

Tabla N° 32. Ancho de Carriles

Tipo de vía	Velocidad (Km/h)	Ancho recomendable (m)	Ancho Mínimo de carril en pista normal (m)	Ancho mínimo de carril único del tipo solo bus (m)	Ancho de dos carriles juntos (m)
Locales	30 - 40	3.00	2.75	3.50	6.50

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005

- Para el presente proyecto se adoptó un ancho de carril de 4.00 metros, de esta manera se cumple con los criterios establecidos en el manual de diseño geométrico.

c) Bombeo: La pendiente de las secciones transversales en tramos rectos o “bombeo” tiene por objeto facilitar el drenaje superficial. Esta inclinación puede ser constante en todo el ancho o presentar discontinuidad en el eje de simetría para que el drenaje se produzca hacia ambos bordes. La magnitud del bombeo dependerá del tipo de superficie de rodadura y de los niveles de precipitación de la zona.

Tabla N° 33: Bombeo

Tipo de Superficie	Bombeo (%)	
	Precipitación < 500 mm/año	Precipitación > 500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto portland	2	2.5

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Perú, DG – 2013

Por las condiciones de precipitación total que se presenta en la región Puno, el bombeo adoptado para el diseño es de 2%, el cual garantizara el drenaje transversal hacia las cunetas.

d) Sardineles: Son elementos que delimitan la superficie de la calzada, vereda, berma, andén, o cualquier otra superficie de uso diferente, formada por elementos prefabricados de concreto, vaciados in situ, colocados con anclajes o sobre cimientos de concreto o adheridos con pegamento si el pavimento es asfáltico.

Tienen el propósito de limitar el espacio de circulación, para que los vehículos circulen solamente en las calzadas, con confort y seguridad y que los peatones se sientan protegidos en las veredas, bermas centrales o islas de canalización, realizando

altimétricamente estas últimas áreas. El proyecto contempla Construcción de sardineles de concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, de 0.15 m. de ancho, 0.45 m de alto.

e) Veredas: Parte de la vía urbana, destinada para el uso exclusivo de los peatones o transeúntes, dotadas con rampas de acceso para un tránsito óptimo e inclusivo, El proyecto contempla el diseño de veredas con concreto frotachado y bruñado, $e=10\text{cm}$ ($f'c=175 \text{ kg/cm}^2$), con un ancho variable de (1.40 m. – 2.00 m.), de ancho en ambos lados de la vía.

f) Cunetas: Son canales abiertos construidos en forma paralelo a la vía, con el propósito de conducir los escurrimientos superficiales procedentes de la calzada, taludes y áreas adyacentes a fin de proteger la estructura del pavimento. La sección transversal adoptada es de tipo triangular de una sección de Ancho: 0.40 m, Profundidad 0.10 m.

Conclusiones Parciales del Diseño Geométrico: Los parámetros de diseño geométrico adoptados para el estudio se resumen en el siguiente detalle:

- Clasificación Vial Urbana: Vía Local.
- Velocidad Directriz o de Diseño: 30 km/h
- Distancia de Visibilidad de Parada: 30 m.
- Radio mínimo: 20 m.
- Pendiente Longitudinal Mínima: 0.3 %
- Pendiente Longitudinal Máxima: 4 %
- Bombeo: 2.0 %
- Cunetas: Diseño triangular (ancho 0.4 m: alto 0.10m)
- Ancho de carril: 4.00 m
- Sardineles: 0.15 m. x 0.45 m.
- Veredas: Ancho variable 1.40 m – 2.00

4.1.1.4.- Diseño de la estructura de pavimento por el método AASHTO 93

El método de diseño AASHTO posee varias versiones, pero en esta investigación se utilizará la Guía AASHTO edición de 1993. Cabe rescatar que esta edición es la que se recomienda en los reglamentos de diseño de vías urbanas con pavimento rígido.

Las variables que intervienen para el diseño de pavimentos rígidos son tomadas en base a un conocimiento empírico, por lo que es importante conocer y entender las

consideraciones que tienen que ver con cada una de ellas. El cálculo de espesor de la losa de concreto es mediante la fórmula que propone la guía AASHTO 93.

A.- Periodo de diseño: $n = 20$ años, según recomendaciones de AASHTO 93.

B.- Tránsito en ejes equivalentes: $ESAL = 109,106.26$ KN y $117,438.05$ KN, determinada en el estudio de tráfico.

C.- Factor de confiabilidad (R) y desviación estándar: La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Cabe resaltar, que cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, es decir, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y asimismo de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado. Por lo tanto, la confiabilidad está asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

Un nivel de confiabilidad alto implica un pavimento más costoso y por lo tanto mayores costos iniciales, pero también pasará más tiempo hasta que ese pavimento necesite una reparación y por ende los costos de mantenimiento serán menores. Por el contrario, un nivel de confiabilidad bajo da pavimentos más económicos, pero con un mayor costo de mantenimiento.

La guía AASHTO recomienda los siguientes valores del coeficiente de confiabilidad con respecto a la clasificación funcional de la vía.

Tabla N° 34: Valores del nivel de confianza R, de acuerdo al tipo de camino

Tipo de Camino	Zonas Urbanas	Zonas Rurales
Interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arteriales/carreteras principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras/Carreteras secundarias	80 - 95	75 - 95
Camino Vecinales/Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

La vía urbana en estudio corresponde a Camino Vecinal/Local por tanto se adopta valores comprendidos entre 50% – 80%, se realizó la estimación del espesor de concreto con los siguientes factores de confiabilidad, 50%, 60%. 65%, 70% y 80%.

Tabla N° 35. Valores de la Desviación Normal Estándar

Confiabilidad R (%)	Desviación Estándar (Zr)
50	0
60	-0.253
65	-0.389
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

- Para el diseño se adopta las desviaciones estándar que corresponde a los grados de confiabilidad seleccionadas según la tabla N° 35.

D.- Error estándar combinado (S₀): AASHTO sugiere los siguientes valores para seleccionar la Variabilidad o Error Estándar Combinado, este factor representa la cantidad de datos dispersos dentro de los cuales pasa la curva real del comportamiento de la estructura.

El rango típico sugerido por AASHTO 93 es el siguiente:

- Para pavimentos rígidos $0.30 < S_0 < 0.40$
- Para pavimentos flexibles $0.40 < S_0 < 0.50$

Para el diseño se adoptó el valor de **S₀ = 0.35**, basado en el desarrollo de la carretera experimental efectuada por la AASHTO para pavimentos rígidos.

E.- Serviciabilidad: Es una medida del comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y confort que brinda al usuario (funcional), cuando éste circula por la vialidad. También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, peladuras, etc., que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (estructural).

Cuando el conductor hace uso de la vialidad, experimenta la sensación de seguridad o inseguridad dependiendo de lo que ve y del grado de dificultad para controlar el vehículo. El principal factor asociado a la seguridad y comodidad del usuario es la calidad de rodamiento que depende de la regularidad o rugosidad superficial del pavimento. La valoración de este parámetro define el concepto de Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en inglés).

Tabla N° 36: Índice de Serviciabilidad

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

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

E.1.- Índice de Serviciabilidad Inicial (Po): se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO estableció para pavimentos rígidos y flexibles los siguientes índices.

- Pavimentos rígidos $Po = 4.5$

E.2.- Índice de Serviciabilidad Final (Pt): ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de confort y seguridad exigidas por el usuario, el valor de servicio final (Pt) (AASHTO, 1993, pag.: II-10), sugerido es.

- Carreteras de tránsito menor $Pt = 2.0$

E.3.- La pérdida de serviciabilidad, se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y final.

- $\Delta PSI = P0 - Pt = 4.5 - 2 = 2.5$

F.- Módulo de reacción de la subrasante (K): expresa la resistencia del suelo de la subrasante a ser penetrado por efecto de la flexión de losas que se mide por la relación entre la Presión unitaria y el hundimiento que experimenta.

Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada

cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci).

F.1.- Cálculo del valor de K para subrasante y subbase mediante el ábaco sugerido en la NTE CE.010 Pavimentos Urbanos.

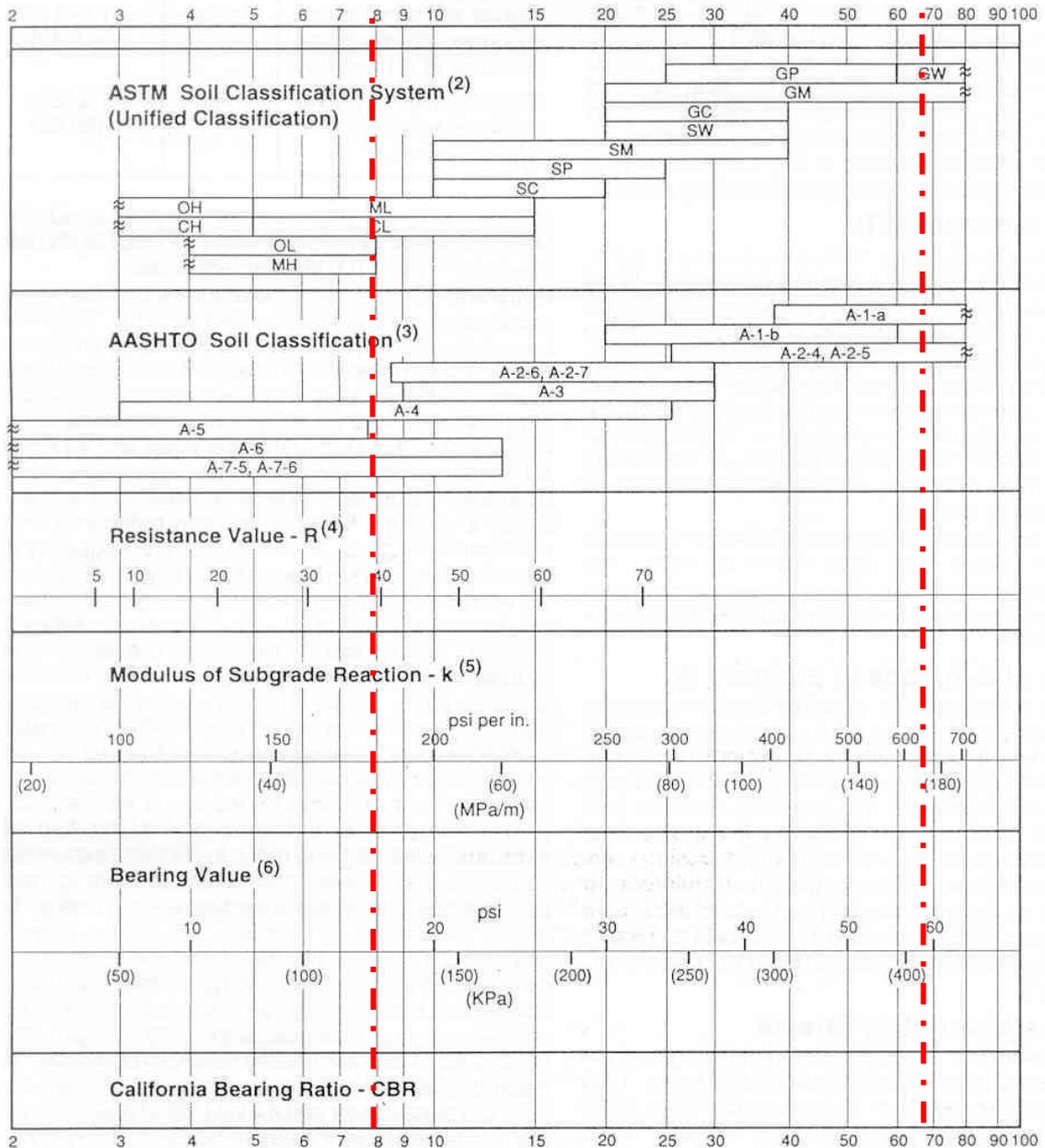


Figura N° 20: Relaciones entre resistencia y clasificación del Suelo
Fuente: NTE CE 0.10 Pavimentos Urbanos, Pág. 57

- Para un valor de CBR = 8%, corresponde un valor del módulo de reacción de la sub rasante aproximadamente de $K_0 = 50 \text{ MPa/m}$ aproximadamente, y este valor convertido a unidades inglesas pci resulta;

$$k_0 = 50 \frac{MPa}{m} * \left(\frac{145.0377}{MPa} * \frac{m}{100cm} * \frac{2.54cm}{1 pulg} \right) = 184.19 \text{ pci}$$

- Para un valor de CBR = 68%, corresponde un valor del módulo de reacción de la subbase aproximadamente de $K_1 = 173.30 \text{ MPa/m}$ aproximadamente. y este valor convertido a unidades inglesas pci resulta 638.4 pci.

F.2.- Cálculo del valor k para subrasante y subbase mediante relaciones empíricas

- Para $CBR < 10\%$; $k_0(Mpa/m) = 2.55 + 52.5 * \text{Log}(CBR)$, Reemplazando valores

$$k_0 = 2.55 + 52.5 * \text{Log}(8.0) = 49.96 \frac{Mpa}{m} = 184.05 \text{ pci}$$

- Para $CBR \geq 10\%$; $k_1 \left(\frac{Mpa}{m} \right) = 46 + 9.08 * [\text{Log}(CBR)]^{0.34}$, Reemplazando valores

$$k_1 = 46 + 9.08 * [\text{Log}(68)]^{0.34} = 171.80 \frac{Mpa}{m} = 632.5 \text{ pci}$$

F.3.- Los valores adoptados para el cálculo de K combinado son $k_0 = 50 \frac{Mpa}{m}$ y $k_1 = 172 \text{ Mpa/m}$

F.4.- Cálculo de k_c (subrasante – subbase), definida en manual de carreteras, sección suelos y pavimentos.

$$k_c = k_0 * \left[\sqrt{1 + \left(\frac{h_b}{38} \right)^2 * \left(\frac{k_1}{k_0} \right)^{\frac{2}{3}}} \right]$$

Donde:

k_c : Módulo de reacción combinado

h_b : Espesor de capa de Sub base

k_1 : Módulo de reacción de Sub base

k_0 : Módulo de reacción de sub rasante

$$k_c = 50 * \left[\sqrt{1 + \left(\frac{20}{38} \right)^2 * \left(\frac{172}{50} \right)^{\frac{2}{3}}} \right] = 63.86 \frac{Mpa}{m} = 235.25 \text{ pci}$$

G.- Módulo de rotura del concreto (S'_c): El valor de módulo de rotura del concreto es posible obtener en laboratorio mediante el ensayo de resistencia a flexión, medida en vigas de 15cm x 15cm de sección transversal y de luz como mínimo tres veces el

espesor 45cm a los 28 días de curado, cargando en los tercios de la luz una fuerza equivalente.

En el estudio “influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto f'_c 210 kg/cm²”, se realizó una comparación de la resistencia a flexión entre el concreto sin adición de polipropileno y con adición, obteniendo un valor de 32.24 kg/cm² a los 28 días de edad del concreto en testigos prismáticos con cero incorporación de polipropileno. (Isidro, 2017).

Para determinar el módulo de rotura se realizó el diseño de mezclas con agregados provenientes de la cantera de río Cutimbo, cemento portland IP marca Rumi y Agua potable, elaborándose vigas de 6”x6”x20” en moldes metálicos, el cual ha sido sumergido en agua por un periodo de 28 días, para finalmente realizar el ensayo de resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en el punto central obteniendo un resultado de:

$$s'_c = 3.15 \text{ Mpa}; 32.12 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}; 456.85 \text{ psi}$$

La otra forma de estimar módulo de rotura (M_r), es mediante la correlación entre y la resistencia máxima a la compresión (f'_c), medida a partir de probetas cilíndricas de 15cm de diámetro y 30cm de altura.

$$s'_c = k * \sqrt{f'_c}$$

f'_c : Resistencia a compresión del concreto en kg/cm²

Según especificaciones de la norma ACI 363 el factor de correlación entre módulo de rotura (M_r) y la resistencia máxima a la compresión (f'_c) varía entre 1.99 a 3.18, adoptando para el cálculo un factor $k=2.2$ debido a las dificultades en el curado de concreto.

En laboratorio se realizó el ensayo de resistencia a la compresión en muestras cilíndricas de 6” de diámetro y 12” de altura a los 28 días de curado. Obteniendo un valor de 212 kg/cm².

- Reemplazando valores y realizando conversión unidades a psi, se tiene.

$$s'_c = 2.2 * \sqrt{\frac{212 \text{ kg}}{\text{cm}^2}} = 32.02 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 455.57 \text{ psi}$$

H.- Módulo de elasticidad del concreto (E_c): Es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria, representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo.

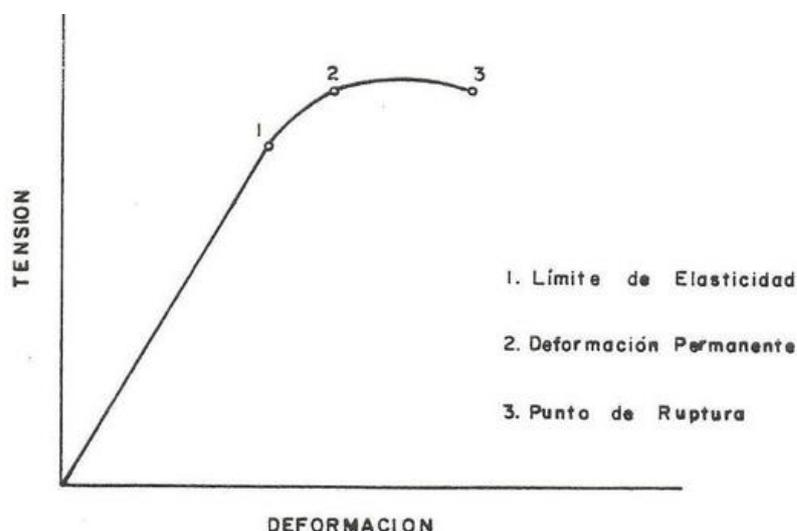


Figura N° 21: Estados de deformación del concreto

Fuente: recuperado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto>

- Para concreto de peso normal, la AASHTO sugiere usar la siguiente ecuación.

$$E_c = 57,000 * \sqrt{f'_c}$$

f'_c : Resistencia a compresión del concreto en psi.

- Para determinar el módulo de elasticidad del concreto se realizó el ensayo de resistencia a compresión de concreto en muestras cilíndricas de 6" de diámetro y 12" de alto a una edad de 28 días, obteniendo como resultado $f'_c = 212 \text{ kg/cm}^2$.
- Reemplazando valores y convirtiendo unidades, se tiene

$$E_c = 57,000 * \sqrt{212 * \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \frac{\text{lb}}{0.4536\text{kg}} * \frac{2.54^2\text{cm}^2}{\text{pulg}^2}} = 3,129,995.55 \text{ psi}$$

I.- Coeficiente de drenaje (C_d): El método AASHTO propone la utilización de coeficientes modificados de drenaje para las capas del pavimento, en función de las características de drenaje de los materiales, del material empleado y de la posición de la capa en la estructura del pavimento.

El valor del coeficiente de drenaje está relacionada con el comportamiento de dos variables.

I.1.- La calidad del drenaje, está en función al tiempo que tarda en remover el agua infiltrada en la estructura del pavimento.

Tabla N° 37: Calidad de Drenaje

Calidad de Drenaje	Agua removida en
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	agua no drena

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

I.2.- Exposición a la saturación, representa el porcentaje de tiempo durante el año en la cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad altos y está en función de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje.

Tabla N° 38: Valores recomendados del coeficiente de drenaje m_i

Calidad de Drenaje Cd	Porcentaje de Tiempo al cual está Expuesta la Estructura del Pavimento a Niveles de Humedad Próxima a la Saturación			
	Menor del 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

En la región Puno, se presenta temporadas de lluvias con una estacionalidad de hasta 4 meses y por la topografía del área de estudio, se considera que la calidad de drenaje es “regular”, implica que el agua se removerá en 1 semana, y además se considera que la estructura estará sometida a niveles de humedad próximos a la saturación entre el 5 y 25% como máximo, por lo tanto se asumirá; $C_d = 0.90$

J.- Coeficiente de transferencia de carga (J): La transferencia de carga es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir fuerzas cortantes con las losas adyacentes, con el objeto de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento, mientras mejor sea la transferencia de cargas, el comportamiento de las losas del pavimento será óptimo.

El método AASHTO 93 considera la transferencia de cargas mediante el factor de cargas J, la efectividad de la Transferencia de Carga entre losas adyacentes depende de tres principales factores:

- Cantidad de Tráfico
- Utilización de Pasa juntas
- Soporte Lateral de las Losas

Una manera de transferir la carga de una losa a otra es mediante la trabazón de agregados que se genera en la grieta debajo del corte de la junta, sin embargo esta forma de transferir carga se recomienda para vías con tráfico ligero.

Tabla N° 39. Coeficientes de Transferencia de Carga

Arcén ó Banquina	Asfalto		Concreto	
	Si	No	Si	No
Barras de transferencia de cargas				
Tipo de Pavimento				
Concreto Simple o Armado c/juntas	3.20	3.8 - 4.4	2.5 - 3.2	3.6 - 4.2
Hormigón Armado Continuo	2.9 - 3.2	.....	2.3 - 2.9	.....

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

- Para el diseño de la presente estructura de pavimento, se considera un coeficiente promedio de J = 3.9, debido a que el pavimento no contempla barras de transferencia y es de concreto simple.

K.- Espesor de losa (D): Se refiere solamente a la capa de concreto hidráulico que se colocara sobre la subbase granular.

Para estimar el espesor del concreto hidráulico, se utilizó la “Ecuación General de la Guía AASHTO 93 para pavimentos rígidos, determinando cinco espesores de losa de concreto para diferentes grados de confiabilidad.

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log\left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J [D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}}]}\right]$$

Donde:

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.

Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.

S_0 = Desvío estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

P_t = Serviciabilidad final.

S'_c = Módulo de rotura del concreto en psi.

J = Coeficiente de transferencia de carga.

C_d = Coeficiente de drenaje

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

K = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg).

Tabla N° 40: Resumen de los parámetros de diseño

Parámetros	Unidad	Valor
Periodo de diseño (n)	años	20
Trafico ESAL - (W18)	KN	109,106.26- 117,438.05
Factor de Confiabilidad - (R)	%	65
Desviación Estándar - (Zr)		-0.389
Error Estándar Combinado - (So)		0.350
Serviciabilidad inicial - (Po)		4.5
Serviciabilidad final - (Pt)		2.0
Variación de serviciabilidad -(PSI)		2.5
Coeficiente de la subrasante - (k)	pci	184.05
Módulo de rotura del concreto - (Sc')	psi	456.85
Módulo de Elasticidad del concreto (Ec)	psi	3,129,995.55
Coeficiente de drenaje - (Cd)		0.90
Coeficiente de transferencia - (J)		3.90

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

- Reemplazando los parámetros de diseño en la ecuación general de AASHTO 93 para pavimento rígido, se tiene.

Tabla N° 41: Espesor de losa a una tasa de crecimiento de trafico 4%

Confiabilidad (%)	desviación estándar (Zr)	Espesor de losa (in)	Espesor de losa (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor de la estructura de pavimento (cm)
50%	0.000	5.34	13.56	20.00	33.56
60%	-0.253	5.58	14.16	20.00	34.16
65%	-0.389	5.71	14.50	20.00	34.50
70%	-0.524	5.85	14.85	20.00	34.85
80%	-0.841	6.21	15.77	20.00	35.77

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

El espesor de la estructura de pavimento calculado a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4% y a diferentes porcentajes de confiabilidad varía de 34 cm a 36 cm, conformado por un espesor de losa de concreto variable (13.56 cm – 15.77 cm) y una capa subbase de 20cm.

Tabla N° 42: calculado a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4.7%

Confiabilidad (%)	desviación estándar (Zr)	Espesor de losa (in)	Espesor de losa (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor de la estructura de pavimento (cm)
50%	0.000	5.42	13.77	20.00	33.77
60%	-0.253	5.67	14.40	20.00	34.40
65%	-0.389	5.81	14.76	20.00	34.76
70%	-0.524	5.95	15.11	20.00	35.11
80%	-0.841	6.33	16.08	20.00	36.08

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

El espesor de la estructura de pavimento calculado a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4.7% estimada en base al volumen del parque automotor de la región Puno y a diferentes porcentajes de confiabilidad varía de 34 cm a 36 cm, conformado por un espesor de losa de concreto variable (13.77cm – 16.08cm) y una capa subbase de 20cm.

El espesor promedio de la estructura de pavimento rígido calculado a tasas de crecimiento anual de tráfico de 4% y 4.7% es de 35cm, conformada por una losa de concreto de 15 cm de espesor y una subbase granular de 20cm.

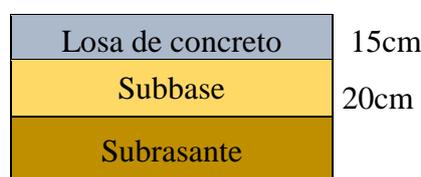


Figura N° 22: Estructura de Pavimento Rígido AASHTO 93

L.- Espesor de la subbase (Sb)

El cálculo del espesor de la Sub Base se realizó con la ayuda del monograma del método empírico del CBR, y se estima en función al tipo de vehículo más crítico C3 de 25 toneladas, la curva corresponde a un espesor de la estructura de pavimento de 38 cm aproximadamente, por tanto se asume para una subbase de 20cm de espesor.

4.1.1.5.- Diseño de la estructura de pavimento por el método TCP (Thin Concrete Pavements).

El diseño de pavimento rígido de losa optimizada se realizó en base al manual de diseño de TCP y los cálculos mediante el software OPTIPAVE versión 2.

A.- Parámetros de Diseño

A.1.- Vida de Diseño: Es la cantidad de tiempo (en años) en que se espera que un pavimento se desempeñe con un cierto estándar de calidad. El desempeño del pavimento se predice desde el momento en que el camino se abra al tráfico y se puede seleccionar dependiendo de la clasificación de la vía.

Tabla N° 43: Vida de Diseño Recomendado según clasificación del Pavimento

Clasificación de la Vía	Vida de Diseño (Años)
Rutas Locales y Calles	15-20
Calles Principales y vías de mediano tráfico $< 15 \cdot 10^6$ EE	20
Carreteras Interurbanas y Vías de Alto Tráfico $> 15 \cdot 10^6$ EE	20-40

Fuente: Manual de diseño de TCP - Optipave2.

- Según sugerencias de la tabla N° 43, corresponde al tipo de vía local y se adopta una vida de diseño de 20 años.

A.2.- Dimensionamiento de las losas de concreto: Es el equivalente al espaciamiento existente entre una junta transversal y la siguiente, depende de la ubicación de construcción del pavimento, las técnicas, equipos y materiales utilizados durante la construcción. Si la pavimentación se realiza en un área propensa a alabeos de magnitudes altas, es conveniente realizar juntas transversales menos espaciadas. El largo de la losa debe ser de entre 1,4 y 2,3 m.

Se realizó el dimensionamiento de losas optimizadas en función de las principales dimensiones del tipo de vehículos más crítico (C3) que posiblemente transitará por las vías locales del área de estudio, con la finalidad de asegurar que una set de ruedas pueda cargar por losa, reduciendo de esta forma las tensiones y por ende el agrietamiento prematuro.

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
C2		12,30	7	11	---	---	---	18
C3		13,20	7	18	---	---	---	25

Figura N° 23: Pesos y medidas de vehículos
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

- Se realizó el diseño de geometría optimizada con losas de concreto de 1.50 m y 1.75 m de largo por 1.80m de ancho, estas dimensiones están en función al vehículo más crítico (ver Anexo G).

A.3.- Espesor de la Losa de Concreto: Representa la carpeta de rodadura, se expresa en milímetros y el espesor sugerido es de 60mm a 250mm. El programa computacional OptiPave 2.0 permite evaluar el desempeño de un cierto espesor del pavimento o realizar una iteración que obtiene el espesor mínimo que cumple con el umbral de diseño especificado.

- Se inicia el procesamiento de datos con 15cm de espesor de losa de concreto estimado por el método AASHTO 93, hasta obtener un espesor óptimo.

A.4.- Tipo de Borde: Se refiere a la condición de borde del pavimento, lo cual tiene dos efectos, primero define el soporte lateral que entrega la berma al pavimento en términos de transferencia de carga y por otro lado aleja el tráfico del borde.

Tabla N° 44: Borde y efecto en soporte y circulación del tráfico

Tipo de Borde	Soporte a la Estructura	¿Aleja el tráfico del Borde?
Borde Libre	Nulo	No
Berma Granular/Asfáltica	Muy Leve	No
Berma de Hormigón	Leve	NO
Vereda	Mediano	SI

Fuente: Manual de diseño de TCP - Optipave2.

- El diseño del proyecto asume el tipo de borde vereda con un soporte mediano que si aleja el tráfico del borde.

A.5.- Porcentaje de Losas Agrietadas: Es el umbral de daño aceptado, dado un nivel de confiabilidad que se espera tenga el pavimento al final de su vida útil. El nivel de daño máximo admisible depende de la importancia de la vía.

Tabla N° 45: % Máximo Admisible de Losas Agrietadas según tipo de Vía

Clasificación de la Vía	Porcentaje Máximo Admisible de Losas Agrietadas
Rutas Locales y Calles	30% -50%
Calles Principales y vías de mediano tráfico $< 15 \cdot 10^6$ EE	10% -30%
Carreteras Interurbanas y Vías de Alto Tráfico $> 15 \cdot 10^6$ EE	10%

Fuente: Manual de diseño de TCP - Optipave2.

- Se adopta un valor de 30% máximo admisible de losas agrietadas al final de la vida de útil del proyecto.

A.6.- IRI Inicial: Es la rugosidad superficial del pavimento una vez concluida la construcción, y se mide antes de la apertura al tráfico en mm/km, m/km, TCP sugiere un valor de 2 m/km.

- La Norma técnica CE.010 pavimentos urbanos 2010 del reglamento nacional de edificaciones, establece una Rugosidad Superficial inicial medida en unidades IRI, tendrá un valor máximo de 2.5 m/km para vías expresas.
- Por otro lado se hace referencia la Norma técnica EG-2018, para construcciones nuevas de pavimento de concreto hidráulico la rugosidad superficial medida en unidades IRI no podrá ser mayor de 3,0 m/km.
- Como parámetro de diseño se adopta la rugosidad superficial inicial medida en unidades IRI de 3.0 m/km, tratándose de un pavimento de clasificación de tipo local.

A.7.- IRI final de diseño: IRI máximo admisible que deberá cumplir el pavimento. En caso de superar ese valor el pavimento deberá ser sometido a algún tratamiento que permita bajar los niveles de IRI. En general el valor máximo permitido es de 3,5 m/km. valor que se adoptó para el diseño.

A.8.- Escalonamiento Promedio Final de diseño: Representa un tipo de falla en pavimentos rígidos, y se define como la diferencia de elevación a través de una junta o grieta, producto del movimiento de material fino de la subabase debajo de la losa de concreto adyacente.

El escalonamiento es perceptible si alcanza 2.5mm y requiere mantenimiento cuando la diferencia de elevación es 4mm, se adopta como parámetro de diseño 5mm de escalonamiento máximo durante la vida útil del proyecto.

A.9.- Confiabilidad: El grado de confiabilidad del diseño, que se controla por el factor de confiabilidad (M) que es función de un valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal (Z_r) y de la desviación normal del error combinado (S_e) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

La desviación normal del error combinado (S_e), es la dispersión de resultados entre el daño por fatiga calculado y el daño medido real, esto incluye las dispersiones inherentes a todos los factores que influyen en el comportamiento del pavimento. Este método permite asignar de forma diferente niveles de confiabilidad según el tipo de deterioro y se divide en:

- Confiabilidad Porcentaje de Losas Agrietadas
- Confiabilidad IRI Final de Diseño
- Confiabilidad Escalonamiento Final Promedio

Tabla N° 46: Confiabilidad según la clasificación de la vía

Clasificación de la Vía	Urbanas	Rurales
Carreteras Interurbanas y Vías de Alto Tráfico	85% - 97%	80% - 95%
Calles Principales y Vías de Mediano Tráfico	80% - 95%	75% - 90%
Calles de Bajo Tráfico	75% - 85%	70% - 80%
Pasaje	50% - 75%	50% - 75%

Fuente: Manual de diseño de TCP - Optipave2

Según la clasificación de la vía que es de tipo calles de bajo tráfico se adopta para el diseño de pavimento rígido un grado de confiabilidad de 80%, para cálculo de porcentaje de losas agrietadas, escalonamiento e IRI final de diseño.

B.- Parámetros de Tráfico

El programa Optipave2 permite ingresar el tráfico como parámetro de diseño, a través de dos variables: tráfico por ejes equivalentes y tráfico por espectro de carga, para el presente estudio se realizó por ejes equivalentes.

B.1.- Tráfico por Ejes Equivalentes: Parámetro que transforma los diferentes ejes que circulan por las vías del área de estudio, a un eje simple de rueda doble (E.S.R.D) de 80 KN (18 Kips) de peso, considerado como eje patrón (Daño Equivalente). El factor de equivalencia es el cociente que resulta entre el número de ejes de una configuración y

peso, necesarios para originar una determinada pérdida de serviciabilidad, respecto del número de ejes patrón requerido para producir la misma pérdida de serviciabilidad; el valor de este cociente es el Factor de Ejes Equivalentes.

En el parámetro se debe ingresar el número total de ejes equivalentes que circularán por el pavimento desde la apertura al tráfico hasta el final de la vida de diseño.

En el programa optipave2, se ingresó el número total de ejes equivalentes que circularán por las vías $ESAL = 1.091 \times 10^5$ kN y 1.174×10^5 kN, que corresponde desde la apertura al tráfico hasta el final de la vida de diseño, dato estimado en el estudio de tránsito.

B.2.- Tasa de Crecimiento: Representa el crecimiento anual promedio del tráfico, calculado en base al crecimiento que experimentará el pavimento durante su vida, para su análisis y cálculo se utilizó el crecimiento del PBI departamental tal como se definió en el estudio de tránsito.

Para el diseño de la estructura de pavimento se adoptó como parámetro de diseño una tasa de crecimiento anual de tráfico de 4.0% y 4.7%, parámetro que se determinó en el estudio realizado por el Ministerio de Transporte y comunicaciones a través de Provias Descentralizado para la carretera Puno –Vilque- Mañazo – Huataquita y en base al volumen del parque automotor de la región Puno.

B.3.- Tipo de Tráfico: Se realizó la selección del tipo de tráfico en base a la clasificación de la Federal Highway Administration de EEUU que asigna al tipo de tráfico una numeración que va desde 1 hasta 17.

Tabla N° 47: Clasificación de Tráfico Recomendado según uso del pavimento

Uso del Pavimento	Grupo de Clasificación Recomendado
Arterias Principales (Rutas inter-regionales)	1,2,3,4,5,8,11,13
Arterias Principales(Rutas interregionales incluye autopistas urbanas)	1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,14,16
Arterias Menores	4,6,8,9,10,11,12,15,16,17
Colectoras Mayores	6,9,12,14,15,17
Colectoras Menores	9,12,14,17
Calles Locales y de Servicio	9,12,14,18

Fuente: Manual de diseño de TCP - Optipave2.

- En función al variable uso de pavimento se adopta el tráfico número 18 por la mayor demanda actual y futuro de vehículos ligeros.

B.4.- Distribución Lateral del Tráfico: El efecto que produce la ubicación con respecto al borde del pavimento es significativo, La posición en que pasa un cierto vehículo, tiene una distribución normal con media 45 cm desde la línea de demarcación del pavimento y una desviación estándar de 25 cm.

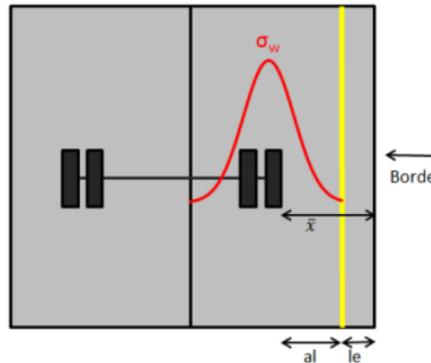


Figura N° 24: Distribución lateral típica de un pavimento de hormigón
Fuente: Manual de diseño de TCP - Optipave2.

Tabla N° 48: Distancia entre el borde, demarcación y rueda de los vehículos

Tipo de Borde	Distancia entre el borde y la línea de demarcación	Distancia entre la línea de demarcación y la rueda externa de los vehículos	Distancia entre el borde y la rueda externa de demarcación
Borde Libre, Berma de Hormigón, berma granular/asfáltica	150 mm	450 mm	600 mm
Solera/asfáltica	150 mm	550 mm	700 mm
Losa con Sobreechancho	300 mm	450 mm	750 mm

Fuente: Manual de diseño de TCP - Optipave2.

Tabla N° 49: Desviación Estándar según tipo de Borde

Tipo de Borde	Desviación Estándar por defecto de distar. Lateral de tráfico
Borde Libre, Berma de Hormigón, berma granular/asfáltica	250 mm
Solera de Borde	200 mm
Losa con Sobreechancho	250 mm

Fuente: Manual de diseño de TCP - Optipave2

Se define el pavimento en el área de estudio con una disposición sin borde, sin embargo para cálculos se toma valores que corresponde al tipo de borde libre, porque las cunetas de sección triangular permiten alejar el tráfico a una desviación estándar lateral de 250mm.

C.- Propiedades del Concreto

C.1.- Resistencia del Concreto: La flexotracción se determina por medio de la resistencia de probetas prismáticas o cilíndricas utilizando factores de correlación. Se deberá especificar la resistencia característica e incorporar el efecto de la dispersión de resistencias normales en la fabricación del concreto.

Para determinar la resistencia a flexión de concreto se elaboró probetas prismáticas de 6”x6”x20” en moldes metálicos, realizando el ensayo de método de la viga simple cargada en el punto central a una edad de 28 días, se obtuvo un resultado de.

$$s'_c = 3.15 \text{ Mpa}; 32.12 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}; 456.85 \text{ psi}$$

Para determinar la resistencia a compresión de concreto se elaboró probetas cilíndricas de 6” de diámetro y 12” de alto y en laboratorio se realizó el ensayo de resistencia a la compresión simple a una edad de 28 días, obteniendo un valor de $f'_c = 212 \text{ kg/cm}^2$.

C.2.- Desviación Estándar de Diseño del concreto: Desviación estándar se utiliza para evaluar la dispersión de datos respecto al promedio.

Tabla N° 50: Desviación estándar de diseño de concreto

N°	X	$(X - \bar{X})^2$
1	212.52	0.36
2	215.12	10.24
3	208.12	14.44
Total	635.76	25.04
Promedio	211.92	
Varianza	8.35	
Desviación estándar	2.89	

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

X: resistencia a compresión de muestras cilíndricas

\bar{X} : Promedio de resistencia a compresión

- La desviación estándar del diseño de concreto determinada como parámetro para la estimación del espesor de losa de concreto es de 2.89 kg/cm^2 ; 0.283 Mpa .

C.3.- Confiabilidad de la Mezcla de Concreto: el grado de confiabilidad del diseño y mezcla de concreto está relacionada al coeficiente de variación en el diseño.

- El coeficiente de variación es el resultado de dividir la desviación estándar entre la resistencia promedio.

$$v = \frac{S}{\bar{X}} * 100 = \frac{2.89}{211.92} = 1.36$$

Donde:

v: coeficiente de variación

S: Desviación estándar

\bar{X} : Promedio de resistencia a compresión

- El coeficiente de variación calculado es de 1.36%, entonces el grado de confiabilidad del diseño de mezcla es mayor al 95%; se adopta como parámetro de diseño de espesor de losa de concreto un grado de confiabilidad del 95%.

C.4.- Aumento de Resistencia 28-90 Días: Corresponde al incremento porcentual en la resistencia a la Flexo tracción que ocurre desde el día 28 al día 90 en las losas de concreto. El valor de este depende de cada mezcla, para concretos de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ el aumento de resistencia es de 1.1 (10%).

C.5.- Módulo de Elasticidad del Concreto: para estimar se utilizó la siguiente relación que está en función a la resistencia a compresión de probetas cilíndricas.

$$E_c = 57,000 * \sqrt{f'_c}$$

- Reemplazando valores y convirtiendo unidades, se tiene

$$E_c = 57,000 * \sqrt{212 * \frac{kg}{cm^2} * \frac{lb}{0.4536kg} * \frac{2.54^2 cm^2}{pulg^2}} = 3,129,995.55 \text{ psi}$$

$$E_c = 3.129 \times 10^6 \text{ psi} = 21,580.55 \text{ Mpa}$$

Dónde:

E_c : Modulo de Elasticidad [Psi]

f'_c : Resistencia a la Compresión Cilíndrica [Psi]

C.6.- Peso Específico del Concreto: Es el peso de la mezcla de concreto por unidad de volumen, dicho valor se determinó a partir de la medición del volumen y peso unitario siguiendo el procedimiento del ensayo peso unitario compactado de agregados MTC E 203 y dicho valor se aproxima a 2,150 kg/m³.

C.7.- Módulo de Poisson: Es la razón entre la deformación unitaria lateral y la deformación unitaria axial, causada por una carga en el sentido axial, varía entre 0,1 y 0,25, la guía de diseño recomienda usar un valor de 0,15.

C.8.- Coeficiente de Expansión Térmico: es una medida de la expansión o contracción de un material al ser sometido a cambios de temperatura. La guía de diseño recomienda utilizar un valor de $1.10^{-5}C^{-1}$, salvo que se determine el valor por ensayo de laboratorio.

C.9.- Retracción del concreto a 365 Días

La retracción del hormigón es un parámetro de gran importancia en el hormigón que afecta la transferencia de carga que habrá entre dos juntas. Como se ve en la imagen, esta retracción va aumentando a medida que el hormigón se va endureciendo, hasta un punto en el que baja bruscamente y luego se estabiliza. La retracción en este punto es irreversible ya que no disminuye si se sigue saturando la mezcla. Por defecto la Retracción a 365 días se determina aumentando en un 30% este valor final. Se utiliza por defecto 0,0007 (700 $\mu\epsilon$).

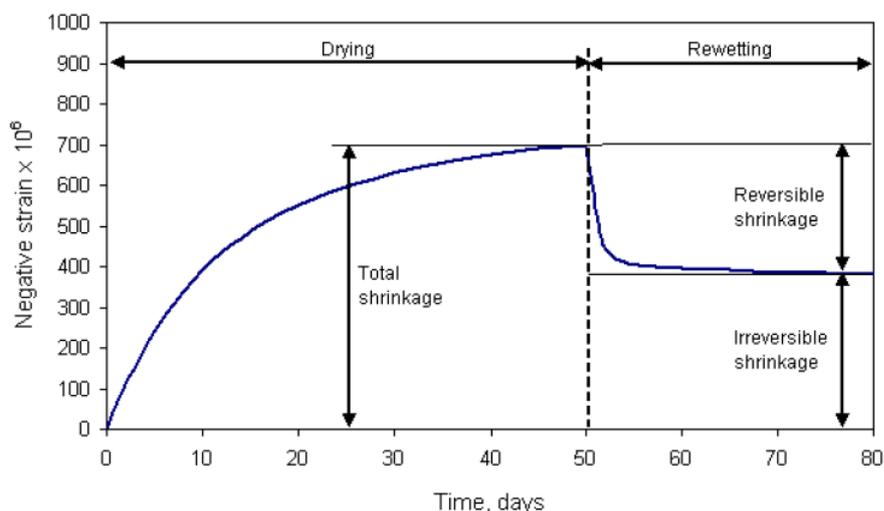


Figura N° 25: Retracción típica del hormigón en el tiempo

Fuente: Manual de diseño de TCP - Optipave2.

C.10.- Contenido de Aire: Porcentaje de aire contenido en la mezcla de concreto, está en función al tamaño nominal de agregado grueso 1", y para el diseño de mezcla se considera 1.5% de aire atrapado en la mezcla.

C.11.- Relación Agua/cemento: Cantidad de agua utilizada por unidad de cemento en la mezcla de concreto, para elección de la relación se toma en consideración los criterios

de resistencia promedio requerida y exposición a climas severos, adoptando como parámetro de diseño una relación Agua/Cemento de 0.50.

D.- Propiedades de Suelo

D.1.- Número de Capas: hace referencia al número de capas de la estructura de pavimento rígido sin considerar la losa de concreto, como parámetro de diseño se adopta una capa que corresponde a la subbase granular.

D.2.- Tipo de suelo: Para subrasante y subbase

- Tipo de suelo subrasante: A-2-4(0), A-2-4(0) A-4 (1), Arenas con limos de baja plasticidad y arenas con arcillas de baja plasticidad.
- Tipo de suelo Subbase: A-1-a (0); Referido a mezclas de suelos, Grava bien graduada con limos de baja plasticidad.

D.3.- Módulo Resiliente de la Capa: definido como el esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial entre la deformación axial recuperable, La medición del módulo resiliente se realizó mediante correlaciones con el ensayo CBR, utilizando la siguiente formula.

$$M_r = 17.6137 * (CBR)^{0.64} \text{ Mpa}$$

- *Para la subrasante:* en el estudio de geotecnia se determinó un CBR = 8.0%.

$$M_r = 17.6137 * (8.0)^{0.64} \text{ Mpa} = 66.65 \text{ Mpa}$$
- *Para la sub base:* en el estudio de geotecnia se determinó un CBR = 68%.

$$M_r = 17.6137 * (68)^{0.64} \text{ Mpa} = 262 \text{ Mpa}$$

D.4.- Módulo de Poisson: es un parámetro característico de cada material en la subrasante y subbase que indica la relación entre las deformaciones longitudinales que experimenta el material en sentido perpendicular a la fuerza aplicada y las deformaciones longitudinales en dirección de la fuerza aplicada sobre el mismo.

El programa OptiPave, dispone una base de datos de los coeficientes de poisson, y se caracteriza en función al tipo de suelos ingresados.

D.5.- Espesor de la Capa: se inicia las iteraciones con un espesor de la capa subbase de 20cm el cual fue estimado en el diseño de pavimento rígido por el método AASHTO 93, hasta obtener una espesor óptimo.

D.6.- Coeficiente de Fricción Pavimento-Subbase: Presente entre la losa de concreto y la capa soportante que relaciona la transferencia de carga del pavimento. Para el caso de suelos granulares la guía de diseño TCP sugiere un valor de 0,65.

D.8.- Porcentaje de Material Fino en la Subrasante: considera el material fino pasante la malla #200 en el suelo que corresponde a la capa subbase.

Según resultados de análisis granulométrico por tamizado de la mezcla de suelos para la capa subbase (40% de material de la cantera Mí Perú + 60% de material de la cantera cutimbo), se obtuvo 5.71% de material fino que pasa la malla N° 200.

E.- Propiedades de Clima

El programa Tiene incorporado 12 climas específicos, En caso de que ningún clima sea aplicable a la zona en que se construirá el pavimento y no se tenga información, la guía sugiere utilizar los climas genéricos; Húmedo- Heladizo, Húmedo-no Heladizo, Seco- Heladizo, Seco-No Heladizo.

- Para el diseño de pavimento se adoptó utilizar el clima genérico *seco-heladizo* por la similitud de clima que presenta la región Puno.
- El clima del departamento se caracteriza por ser frío y seco, debido a su localización geográfica y altitud, además se beneficia con el efecto termorregulador del lago Titicaca y En la ciudad de Puno el clima lo determinan los factores de altitud y latitud, la conformación geográfica y la proximidad al lago Titicaca que la hace más templada y tolerable. El clima se clasifica como frío y seco. (*plan de desarrollo concertado del a provincia de Puno, 2011*).

E.1.- Gradiente de Construcción: El gradiente de construcción es una estimación del alabeo inicial que se produce en la losa debido a retracciones diferenciales entre la parte superior y la parte inferior de esta.

El gradiente de construcción se expresa como el gradiente térmico (°C) que existiría para tener la losa plana, El valor depende gran parte de la época del año cuando se construye, y del clima de la zona.

La guía de diseño recomienda utilizar los siguientes valores según la zona en que se construirá el pavimento; Zonas Húmedas sin viento -5°C, Zonas Húmedas con viento y zonas secas sin viento -10°C, Zonas Secas con viento y Altura -15° C, Condiciones extrema de evaporación de agua -20°C.

Para el diseño se utilizó un gradiente térmico para zona seca con viento y altura de (-15°C), por la similitud de factores en la región.

E.2.- Temperatura Media de invierno y verano: Corresponde a la temperatura media del aire de los 6 meses de menor y mayor temperatura del año.

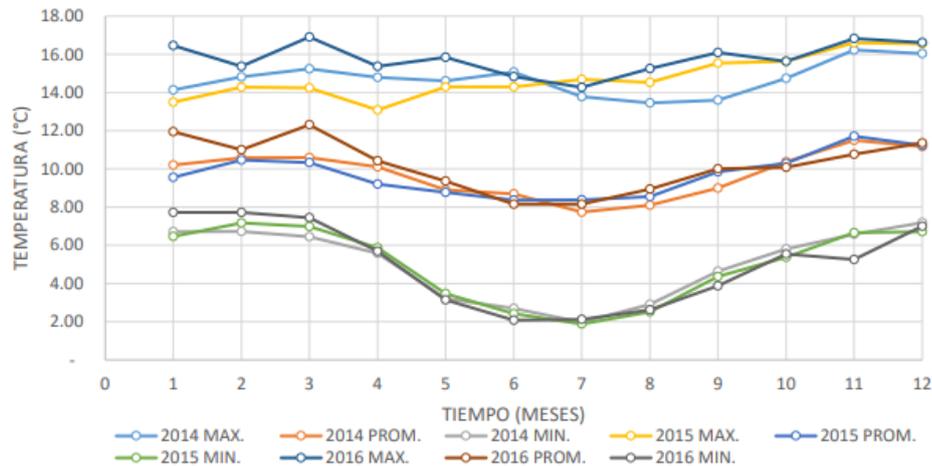


Figura N° 26: Gradiente térmico máximo, promedio y mínimo por años

Fuente: Quispe N. (2017). Influencia del gradiente térmico en la resistencia del concreto en la ciudad de puno – 2017. Recuperado/ (www.repositorio.unap.pe).

- Con la información de la figura N° 26, la variación de la temperatura más baja en los 6 meses (invierno) se encuentra en un promedio de 1°C.
- Con la información de la figura 26, la variación de la temperatura más alta en los 6 meses (verano) se encuentra en un promedio de 15°C.

E.3.-Temperatura Fraguado del concreto: Es la temperatura máxima de construcción del concreto durante el fraguado durante las primeras 4 horas.

Para medir la máxima temperatura de fraguado del concreto se realizó el ensayo de método normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto MTC E 724, en la cual se extrajo una muestra de concreto fresco en un recipiente de material no absorbente y cuidando que exista mínimo 3 pulgadas de concreto en todas las direcciones alrededor del sensor de medición de la temperatura, en seguida se colocó el instrumento de medición esperando un tiempo de 5 minutos para la primera lectura y cada 5 minutos las siguientes mediciones por un periodo de 4 horas.



Figura N° 27: Temperatura máxima de fraguado

La temperatura máxima de fraguado del concreto que se registró del minuto 17 al 52 fue de 26.7 °C, se adopta como parámetro de diseño el valor registrado.

E.4.- Número de Días al año con Precipitaciones: Número de días en un año promedio, en que se registran precipitaciones.

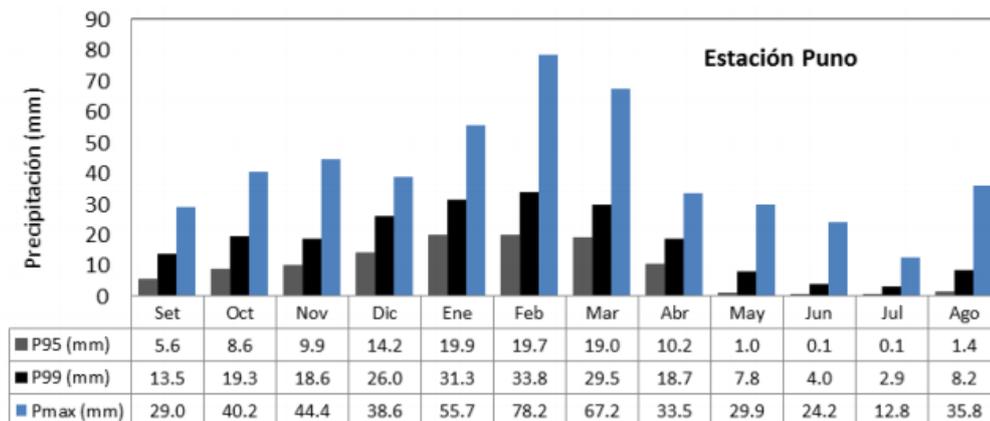


Figura N° 28: Umbrales de precipitación pluvial para la estación de CP Puno
Fuente: Díaz R. (2013). Determinación de umbrales de temperatura y precipitación pluvial para las cuencas de los ríos Coata e Ilave-región puno. Recuperado/ www.senamhi.gob.pe.

En base a la información de la figura N° 28, La estación meteorológica Puno registró lluvias todos los meses del año y con mayor frecuencia e intensidad de enero a abril, para el diseño de pavimento se adopta como número de días al año con precipitaciones de 100 días por ser representativo.

E.5.- Índice de Congelamiento de la Base: representa el porcentaje del tiempo en el año que la base se encuentra a una temperatura inferior a 0°C.

En base a la información de la figura N° 28, en la región Puno las temperaturas más bajas se presenta en los meses de Junio y Julio, que representa el 15% de días para un año, que probablemente la base del pavimento se encuentre congelada.

F.- Resumen de los parámetros de diseño del método TCP

Tabla N° 51: Parámetros de Diseño

Parámetros	Unidad	Valor
Vida de diseño	años	20.00
Largo de losa	m	1.50 - 1.75
Espesor de losa	mm	110 -150
Tipo de borde		Borde libre
Losa exterior con Sobreancho		No
Barras de transferencia de carga		No
IRI inicial	m/km	2.50
Porcentaje de losas agrietadas	%	30.00
IRI final	m/km	3.50
Escalonamiento promedio	mm	5.00

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Tabla N° 52: Características de Tráfico

Parámetro	Unidad	Valor
Método de análisis de tráfico		Ejes equivalentes
Clasificación del tipo Tráfico		Pavimentación residencial
Tasa de crecimiento de tráfico	%	4.0 – 4.7
Total ESAL en el carril de diseño	KN	109,106.26-117,438.05
Ubicación media de la rueda (desde el marcado del carril)	mm	450.00
Desviación estándar de la distribución lateral del tráfico	mm	250.00

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Tabla N° 53: Propiedades de Concreto

Parámetro	Unidad	Valor
Tipo de ensayo de resistencia		Flexión, Compresión
Edad de ensayo	días	28.00
Módulo de rotura	Mpa	3.15
Confiabilidad de diseño del concreto	%	95.00
Desviación estándar de diseño del concreto	Mpa	0.28
Aumento de resistencia 29-90 días		1.10
Módulo de elasticidad de concreto	Mpa	21,580.55
Peso específico del concreto	kg/cm ²	2,150.00
Módulo de poisson		0.15
Coefficiente dilatación térmico	1/°C	10.00
Retracción de concreto a los 365 días	ue	700.00
Contenido de aire	%	1.50
Relación agua-cemento		0.50

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Tabla N° 54: Propiedades de Suelo

Parámetro	Unidad	Valor
Numero de capas		1.00
tipo de ensayo		CBR
Tipo de suelo - Subrasante		A-2-4(0);A-4(1)
Módulo resiliente - Subrasante	Mpa	66.65
Módulo de Poisson - Subrasante		0.35
Tipo de suelo - Subbase		A-1-a(0)
Módulo resiliente - Subbase	Mpa	262.00
Módulo de Poisson - Subbase		0.35
Espesor de Subbase	mm	150 -200
Resistencia a la erosión(capa bajo el pavimento)		3.00
Coefficiente de fricción base-pavimento		0.65
Material fino pasa la malla 200(capa bajo el pavimento)		5.71

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Tabla N° 55: Factores de Clima

Parámetro	Unidad	Valor
Según ubicación del proyecto		genérico
Tipo de clima		Seco - heladizo
Gradiente equivalente de construcción	°C	-15.00
Temperatura media de invierno	°C	1.00
Temperatura media de Verano	°C	15.00
Temperatura de fraguado de concreto	°C	26.70
Número de días lluviosos al año	Días	100.00
Índice de congelamiento de la base	%	15.00

Fuente: : Elaborado por el Equipo de Trabajo

G.- Resultados del diseño de pavimento rígido TCP

El procesamiento de datos se realizó en el programa computacional OptiPave 2.0, se inicia con el registro de datos del proyecto (nombre, ubicación, fecha), Parámetros de diseño, trafico, concreto, suelo y clima, además la estimación del espesor de la estructura de pavimento rígido se efectuó para tasa de crecimiento anual de trafico de 4% y 4.7% con los ESAL correspondientes.

En la sección de parámetros de diseño se especifica los umbrales máximos y se define la geometría de losas de concreto.

G.1.- Umbrales máximos establecidos

- % de losas agrietadas máximo 30% al final de la vida útil del proyecto
- Escalonamiento promedio máximo 5mm al final de la vida útil del proyecto
- IRI final máximo de 3.5m/km al final de la vida útil del proyecto

G.2.- Geometría de las losas de concreto: los cálculos se desarrollaron con las siguientes geometrías.

Tabla N° 56: Espesor de losa, L=1.50m, Tasa de crecimiento de tráfico 4%

Largo losa de concreto (m)	Espesor de losa (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor de la estructura de pavimento (cm)	% de losas agrietadas	Escalonamiento (mm)	IRI final (m/km)
1.5	15	20	35.00	4.0	0.17	2.61
1.5	14	20	34.00	4.0	0.21	2.64
1.5	13	20	33.00	4.0	0.25	2.67
1.5	12	20	32.00	6.0	0.30	2.72
1.5	11	20	31.00	18.0	0.37	2.88

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo / OptiPave 2

La tabla N° 56, Muestra los resultados del diseño de losa con geometría optimizada a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4% y mediante la combinación de las capas de la estructura de pavimento rígido y largo de losa de concreto, se obtuvo un espesor de estructura de pavimento rígido que varía de 31 a 35 cm, para un largo de losa constante de 1,50m y espesor de la capa subbase de 20 cm; así mismo los valores de los umbrales máximos establecidos (% de losas agrietadas, escalonamiento, IRI final), se encuentran en el rango de aceptación.

Tabla N° 57: Espesor de losa, L=1.50m, Tasa de crecimiento de tráfico de 4.7%

Largo losa de concreto (m)	Espesor de losa (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor de la estructura de pavimento (cm)	% de losas agrietadas	Escalonamiento (mm)	IRI final (m/km)
1.5	15	20	35.00	4.0	0.18	2.62
1.5	14	20	34.00	4.0	0.22	2.65
1.5	13	20	33.00	4.0	0.27	2.68
1.5	12	20	32.00	6.0	0.32	2.74
1.5	11	20	31.00	19.0	0.39	2.92

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo / OptiPave 2

La tabla N° 57, Muestra los resultados del diseño de losa con geometría optimizada a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4.7% calculada a partir del volumen del parque automotor de la región Puno y mediante la combinación de las capas de la estructura de pavimento rígido y largo de losa de concreto, se obtuvo un espesor de estructura de pavimento rígido que varía de 31 a 35 cm, para un largo de losa constante de 1,50m y espesor de la capa subbase de 20 cm; así mismo los valores de los

umbrales máximos establecidos (% de losas agrietadas, escalonamiento, IRI final), se encuentran en el rango de aceptación.

Tabla N° 58: Espesor de losa, L=1.75m, Tasa de crecimiento de tráfico 4%

Largo losa de concreto (m)	Espesor de losa (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor de la estructura de pavimento (cm)	% de losas agrietadas	Escalonamiento (mm)	IRI final (m/km)
1.75	15	20	35.00	4.0	0.25	2.65
1.75	14	20	34.00	4.0	0.31	2.68
1.75	13	20	33.00	5.0	0.38	2.73
1.75	12	20	32.00	8.0	0.47	2.80

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo /OptiPave 2

La tabla N° 58, Muestra los resultados del diseño de losa con geometría optimizada a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4% y mediante la combinación de las capas de la estructura de pavimento rígido y largo de losa de concreto, se obtuvo un espesor de estructura de pavimento rígido que varía de 32 cm a 35 cm, para un largo de losa constante de 1,75m y espesor de la capa subbase de 20cm; así mismo los valores de los umbrales máximos establecidos (% de losas agrietadas, escalonamiento, IRI final), se encuentran en el rango de aceptación.

Tabla N° 59: Espesor de losa, L=1.75m, Tasa de crecimiento de tráfico de 4.7%

Largo losa de concreto (m)	Espesor de losa (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor de la estructura de pavimento (cm)	% de losas agrietadas	Escalonamiento (mm)	IRI final (m/km)
1.75	15	20	35.00	4.0	0.27	2.66
1.75	14	20	34.00	4.0	0.33	2.69
1.75	13	20	33.00	5.0	0.41	2.74
1.75	12	20	32.00	8.0	0.50	2.83

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo /OptiPave 2

La tabla N° 59, Muestra los resultados del diseño de losa con geometría optimizada a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4.7% calculada a partir del volumen del parque automotor de la región Puno y mediante la combinación de las capas de la estructura de pavimento rígido y largo de losa de concreto, se obtuvo un espesor de estructura de pavimento rígido que varía de 32 a 35 cm, para un largo de losa constante de 1,75m y espesor de la capa subbase de 20 cm; así mismo los valores de los umbrales máximos establecidos (% de losas agrietadas, escalonamiento, IRI final), se encuentran en el rango de aceptación.

Tabla N° 60: Espesor de losa, L=1.75m, Tasa de crecimiento de tráfico 4%

Largo losa de concreto (m)	Espesor de losa (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor de la estructura de pavimento (cm)	% de losas agrietadas	Escalonamiento (mm)	IRI final (m/km)
1.75	15	15	30	4.0	0.27	2.66
1.75	14	15	29	5.0	0.33	2.70
1.75	13	15	28	6.0	0.41	2.75
1.75	12	15	27	10.0	0.52	2.86

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo /OptiPave 2

La tabla N° 60, Muestra los resultados del diseño de losa con geometría optimizada a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4% y mediante la combinación de las capas de la estructura de pavimento rígido y largo de losa de concreto, se obtuvo un espesor de estructura de pavimento rígido que varía de 27 cm a 30 cm, para un largo de losa constante de 1,75m y espesor de la capa subbase de 15cm; así mismo los valores de los umbrales máximos establecidos (% de losas agrietadas, escalonamiento, IRI final), se encuentran en el rango de aceptación.

Tabla N° 61: Espesor de losa, L=1.75m, Tasa de crecimiento de tráfico de 4.7%

Largo losa de concreto (m)	Espesor de losa (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor de la estructura de pavimento (cm)	% de losas agrietadas	Escalonamiento (mm)	IRI final (m/km)
1.75	15	15	30	4.0	0.29	2.67
1.75	14	15	29	5.0	0.36	2.71
1.75	13	15	28	6.0	0.44	2.77
1.75	12	15	27	11.0	0.55	2.89

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo /OptiPave 2

La tabla N° 61, Muestra los resultados del diseño de losa con geometría optimizada a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4.7% calculada a partir del volumen del parque automotor de la región Puno y mediante la combinación de las capas de la estructura de pavimento rígido y largo de losa de concreto, se obtuvo un espesor de estructura de pavimento rígido que varía de 27 a 30 cm, para un largo de losa constante de 1,75m y espesor de la capa subbase de 15 cm; así mismo los valores de los umbrales máximos establecidos (% de losas agrietadas, escalonamiento, IRI final), se encuentran en el rango de aceptación.

Tabla N° 62: Espesor de losa, L=1.50m, Tasa de crecimiento de tráfico 4%

Largo losa de concreto (m)	Espesor de losa (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor de la estructura de pavimento (cm)	% de losas agrietadas	Escalonamiento (mm)	IRI final (m/km)
1.50	15	15	30	4.00	0.18	2.62
1.50	14	15	29	4.00	0.22	2.65
1.50	13	15	28	5.00	0.27	2.69

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo / OptiPave 2

La tabla N° 62, Muestra los resultados del diseño de losa con geometría optimizada a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4% y mediante la combinación de las capas de la estructura de pavimento rígido y largo de losa de concreto, se obtuvo un espesor de estructura de pavimento rígido que varía de 28 cm a 30 cm, para un largo de losa constante de 1,50m y espesor de la capa subbase de 15cm; así mismo los valores de los umbrales máximos establecidos (% de losas agrietadas, escalonamiento, IRI final), se encuentran en el rango de aceptación.

Tabla N° 63: Espesor de losa, L=1.50m, Tasa de crecimiento de tráfico de 4.7%

Largo losa de concreto (m)	Espesor de losa (cm)	Espesor subbase (cm)	Espesor de la estructura de pavimento (cm)	% de losas agrietadas	Escalonamiento (mm)	IRI final (m/km)
1.50	15	15	30	4.00	0.19	2.63
1.50	14	15	29	4.00	0.24	2.66
1.50	13	15	28	5.00	0.29	2.70

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo / OptiPave 2

La tabla N° 63, Muestra los resultados del diseño de losa con geometría optimizada a una tasa de crecimiento anual de tráfico del 4.7% calculada a partir del volumen del parque automotor de la región Puno y mediante la combinación de las capas de la estructura de pavimento rígido y largo de losa de concreto, se obtuvo un espesor de estructura de pavimento rígido que varía de 28 a 30 cm, para un largo de losa constante de 1,50 m y espesor de la capa subbase de 15 cm; así mismo los valores de los umbrales máximos establecidos (% de losas agrietadas, escalonamiento, IRI final), se encuentran en el rango de aceptación.

El efecto de las tasas de crecimiento anual de tráfico (4% y 4.7%) y los ESAL calculados no generan mayores diferencias en el cálculo de espesor de la losa de concreto, además la variación de los valores del indicador de comportamiento del pavimento rígido (% de losas agrietadas, escalonamiento, IRI final) son poco significativas.

El espesor promedio de la estructura de pavimento rígido diseñando con la metodología de losa con geometría optimizada es de 32 cm, conformada por 20cm de capa subbase y 12cm de losa de concreto, así mismo las dimensiones de losa de concreto es de 1.50m largo y 2.8m ancho.

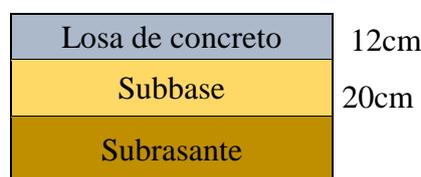


Figura N° 29: Estructura de pavimento rígido TCP

4.1.2.- Comportamiento del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada en el periodo de servicio proyectado.

4.1.2.1.- Estados tensionales en base a método mecanicista-empírico

El análisis de tensión se realizó para losas de concreto diseñados por la metodología de losa con geometría optimizada y por AASHTO 93, mediante el método de elementos finitos a través del programa computacional EverFe 2.24.

El programa EverFe, fue desarrollado por (Davids 1998) para modelar la reacción de los sistemas de pavimento de hormigón masivo ante las cargas del tráfico y los efectos ambientales. La losa, la base, y la subrasante fueron modelados usando elementos cuadráticos hexaédricos de 20 nodos. Todas las capas del pavimento fueron tratadas como materiales linealmente elásticos. El macizo de Winkler fue modelado debajo de la subrasante usando un elemento de interface cuadrático de 8 nodos. Los mecanismos de transferencia como el pasador y la trabazón de agregados fueron modelados con elementos especializados y relaciones constitutivas. Fueron simulados gradientes térmicos dentro del espesor de losa. El modelo fue verificado comparando los desplazamientos pronosticados y las tensiones con los valores medidos de pruebas a escala en laboratorio.

El primer paso que se realizó fue designar la geometría de la losa, de la base y subrasante, y también la posición de la carga.

Tabla N° 64: Geometrías de losa de concreto

Geometría de la losa de concreto	TCP	AASHTO 93
Largo (mm)	1500	3000
Ancho (mm)	1800	2800
Altura (mm)	120	150

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

El segundo paso de la modelación se designó las características físicas y mecánicas de los materiales como la losa, base y de la subrasante, dados Módulos de elasticidad, Modulo de Poisson, densidades y módulo de expansión térmica de la losa; cuyos valores fueron calculados en los estudios correspondientes.

El Tercer paso se designó el tipo de eje y sus dimensione tales como la distancia entre ruedas (A y B), separación entre ejes (S) y el área de contacto del neumático-pavimento a través del ancho y largo del neumático (W y L respectivamente).

Finalmente se estableció el mallado de análisis para la determinación de tensiones. Se definió un mallado de 12x12 en el eje X, Y, 3 líneas de análisis en profundidad en la losa, 2 líneas de análisis en la base y una en la subrasante.

Designado todas las variables mencionadas anteriormente se procede a ejecutar programa, el cual permite visualizar en 3D y de manera interactiva los resultados de tensión máximas y mínimas en cualquier punto del plano YZ, XZ, XY de la losa. En la Figura N° 30, se muestra el estado tensional de la superficie del pavimento provocadas por la carga estática de 80KN y se puede apreciar en color rojo la tracción y en azul la compresión.

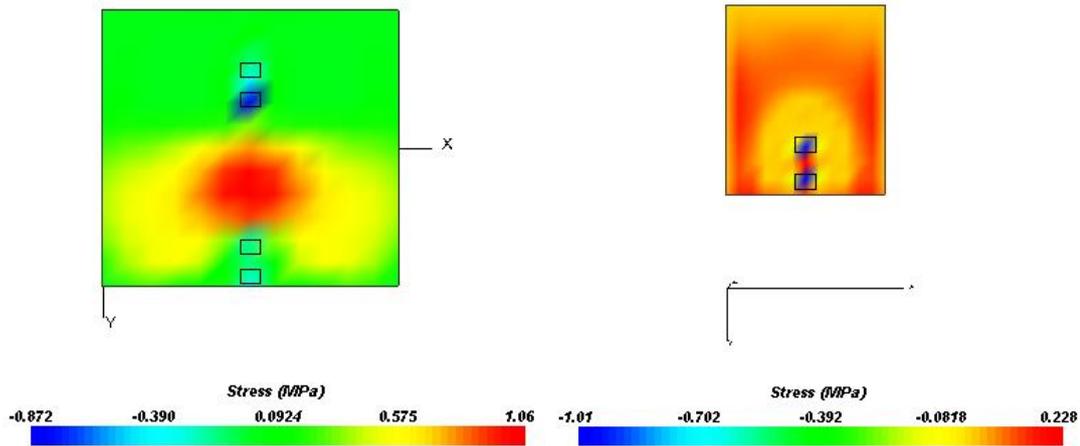


Figura N° 30: Tensión Máxima en la losa diseñada por AASHTO 93 y TCP

La figura N° 30; muestra que para las geometrías establecidas en losas, se obtiene un esfuerzo máximo en la superficie de 1.06 Mpa y 0.228 Mpa para losas diseñadas por el método AASHTO 93 y losa de geometría optimizada, estos valores de tensión son menores al módulo de rotura del concreto ($M_r = 3.15 \text{ Mpa}$), entonces se puede inferir que la capacidad de respuesta de la losa de concreto es adecuada.

El programa EverFe 2.25 además entrega las deformaciones en una determinada losa de concreto en forma global, las cuales comprueban finalmente los estados tensionales producidos en la misma.

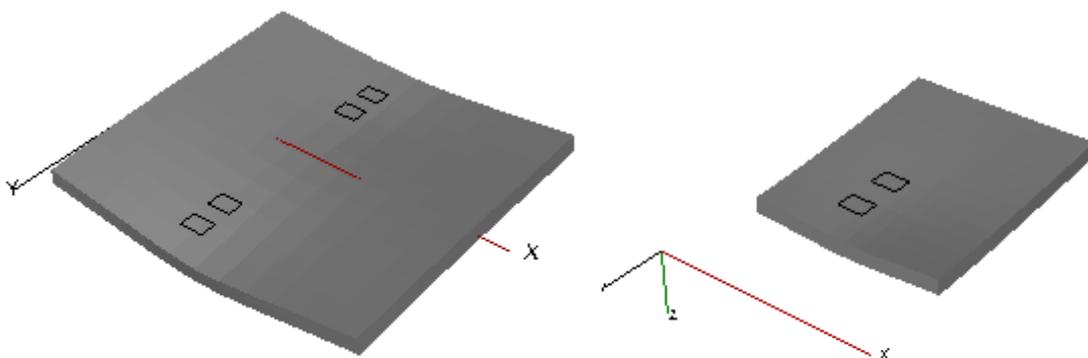


Figura N° 31: Deformación de losas de concreto AASHTO 93 y TCP

La figura N° 31, muestra el grado de deformación de las losas de concreto diseñado por el método AASHTO 93 y losa de geometría optimizada, aparentemente se observa que la losa de 3m de largo y 2.8m de ancho presenta mayor deformación en comparación a la losa corta optimizada.

4.1.2.2.- Comportamiento de la losa de concreto

El objeto de la evaluación del comportamiento es determinar la serviciabilidad del pavimento en el horizonte de servicio, expresada en términos de seguridad y confort para el usuario. La evaluación de la estructura de pavimento diseñado por el método TCP, se realiza en función al % de losas agrietadas, Escalonamiento promedio en las juntas y/o fisuras y el índice de regularidad internacional (IRI) en el horizonte que comprende la vida útil del proyecto.

a) Porcentaje de losas agrietadas

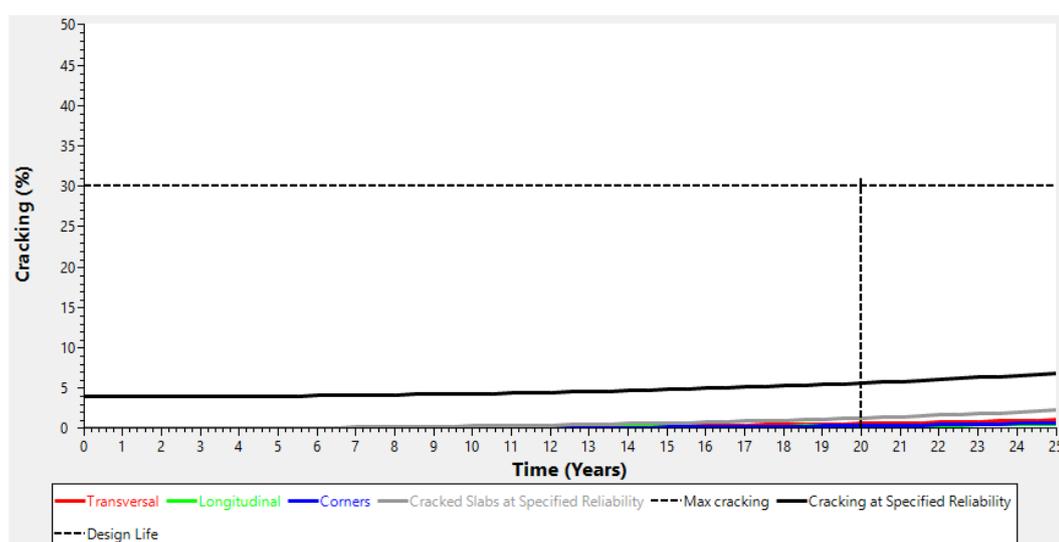


Figura N° 32: % Losas Agrietadas en el horizonte de evaluación/OptiPave 2.0

La figura N°32, Muestra el comportamiento del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada para el periodo de 20 años, Inicialmente se estableció como umbral máximo el 30% de losas agrietadas, representada en la figura con la línea horizontal; el porcentaje de losas agrietadas presenta una tendencia positiva a medida que incrementa el tráfico en el periodo de evaluación, Para el año 20 registra 6%, menor a valor establecido.

b) Grado de escalonamiento

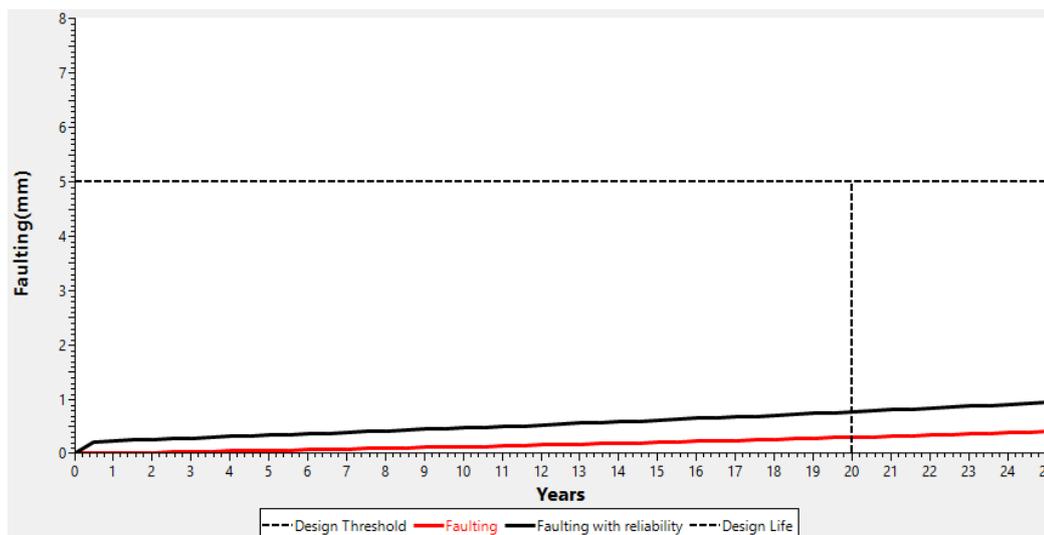


Figura N° 33: Escalonamiento en el horizonte de evaluación/ OptiPave 2.0

La figura N°33, Muestra el comportamiento del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada para el periodo de 20 años, Inicialmente se estableció como umbral máximo 5mm de escalonamiento en las juntas, representada en la figura con la línea horizontal; la tendencia del escalonamiento es mayor a medida que transcurre los años de servicio, Para el año 20 registra un valor de 0.30 mm menor al umbral máximo.

c) Índice de regularidad internacional (IRI)

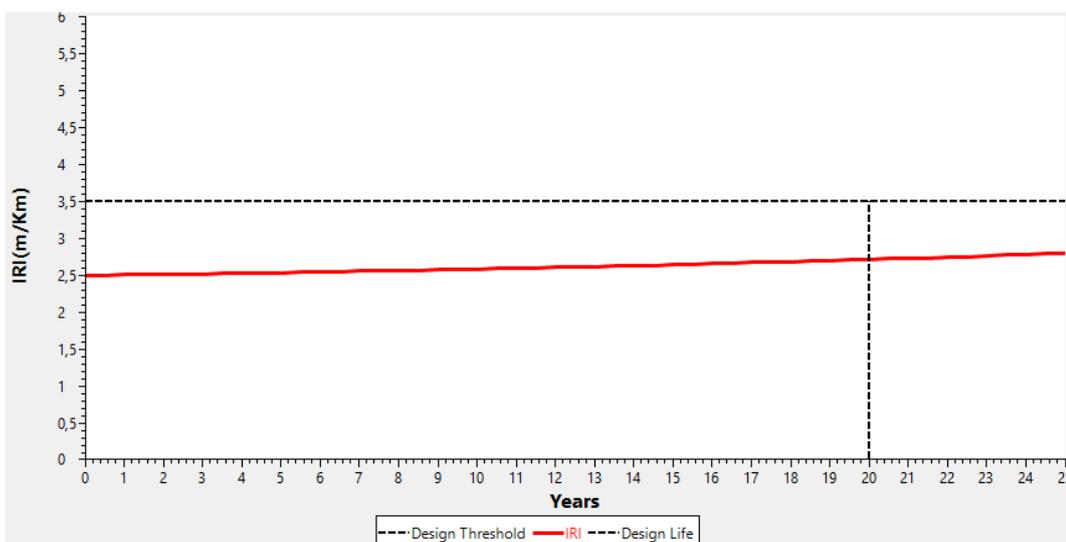


Figura N° 34: IRI en el Horizonte de evaluación/ OptiPave 2.0

La figura N°34, Muestra el comportamiento del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada para el periodo de 20 años, Inicialmente se estableció como umbral máximo 3.5 m/km de Índice de regularidad internacional, representada en la figura con la línea horizontal y se adoptó 2.5 m/km para el año cero (Pavimento nuevo), la tendencia del valor IRI es mayor a medida que transcurre los años de servicio, para el año 20 registra un valor de 2.72 mm menor al establecido.

4.1.3.- Costo directo del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93

Se realizó la estimación de presupuesto (costo directo) para la estructura de pavimento diseñado por el método de losa con geometría optimizada y AASHTO 93, en base a las siguientes condiciones iniciales.

Tabla N° 65: Dimensiones de losa de concreto

Descripción	TCP	AASHTO 93
Largo de Pavimento (m)	100.00	100.00
Ancho de Pavimento (m)	7.40	7.40
Área de Pavimento (m ²)	740.00	740.00
Ancho de carril (m)	3.70	3.70
largo de losa de concreto (m)	1.50	3.00
Ancho de losa de concreto (m)	1.85	3.70

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

El tramo seleccionado de pavimento rígido, permite analizar las diferencias en la estimación de cantidades o análisis de costo unitario, en cuanto a la partida de encofrado y desencofrado, sello en juntas y juntas de contracción.

A.- Metrados: La estimación de cantidad se realizó para el pavimento diseñado por el método TCP y AASHTO 93.

Por el método TCP, se estimó para 32 cm espesor de la estructura de pavimento, compuesto por 20cm de subbase y 12 cm losa de concreto.

Por el método AASHTO 93, se estimó para 35 cm espesor de la estructura de pavimento, compuesto por 20cm de subbase y 15 cm losa de concreto.

B.- Análisis de costos unitarios

B.1.- Recursos: comprende la mano de obra, materiales, maquinarias y servicios, la combinación de estos hace posible la ejecución de una unidad de medida en una partida.

- Para la subbase los recursos más incidentes son el material de préstamo, provenientes de las canteras del río Cutimbo (60% hormigón) y Mi Perú (40% ligante), las maquinarias requeridas en cada una de las partidas y Mano de obra.
- Para losa de concreto: los recursos más incidentes son los agregados, cemento portland, mano de obra, equipos.

B.2.-Costos de los recursos: se ha establecido en función a los precios de expedientes técnicos elaborados por la municipalidad Provincial de Puno, costo de mano de Obra y Maquinarias, el resto se ha definido mediante un estudio de mercado.

Tabla N° 66: Costo de los recursos

Descripción	Unidad	Costo (s/.)
<i>Mano de obra</i>		
Operario	hh	11.91
Oficial	hh	10.23
Peón	hh	9.25
<i>Materiales</i>		
Cemento portland	bolsas	21.50
Agregado grueso	m3	40.00
Agregado fino	m3	40.00
Agua	m3	6.00
Petróleo D-2	gln	15.00
<i>Maquinarias</i>		
Tractor de orugas de 190-240 hp	hm	220.00
Cargador sobre llantas 160-195 hp 3.5 yd3	hm	120.00
Rodillo liso vibratorio autopropulsado 70-100 hp 7-9 ton	hm	120.00
Camión volquete 14 m3	hm	80.00
Motoniveladora de 130-135 hp	hm	220.00
Mezcladora de concreto de 9 -11p3	hm	15.00

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

C.- Costo directo del Pavimento: se realizó dos presupuestos (TCP y AASHTO 93) mediante el programa computacional S10 (costos y presupuestos), y se realiza el análisis para los componentes de subbase y losa de concreto.

Tabla N° 67: Resumen de costo directo del pavimento

<i>N°</i>	<i>Descripción</i>	<i>TCP (s/.)</i>	<i>AASHTO 93 (s/.)</i>	<i>Variación</i>
1.0	Subbase	10,531.63	10,531.63	0.00%
2.0	Losa de concreto	34,273.47	40,993.36	16.39%
2.1	Concreto fc=210kg/cm ²	28,555.42	35,694.27	20.00%
3.0	Costo directo	44,805.10	51,524.99	13.04%

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo /presupuesto TCP y AASHTO 93

La variación del costo directo en relación al componente subbase es 0.00%, debido a que para ambas estructuras de pavimento rígido la capa subbase es de 20cm.

La variación del costo directo en relación a la partida de Concreto fc=210kg/cm² diseñada por el método de losa con geometría optimizada es menor a AASHTO 93 en 20%, la diferencia es explicada por el espesor de la losa concreto.

La variación promedio del costo directo para una estructura de pavimento conformada por 20 cm de subbase y losa de concreto de 12cm y 15cm respectivamente es del 13.04%, siendo menor el pavimento rígido diseñado por el método de losa con geometría optimizada.

4.2.- DISCUSIÓN

a) Hipótesis específica 1: Existe una diferencia significativa entre el espesor de la estructura de pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93.

$$H_0: E_1 - E_2 = 0 ; H_a: E_1 - E_2 < 0$$

H_0 : Hipótesis nula

H_a : Hipótesis alterna

E_1 : Espesor de la estructura de pavimento rígido diseñado por el método TCP.

E_2 : Espesor de la estructura de pavimento rígido diseñado por el método AASHTO 93

- *Nivel de significancia:* se define como la probabilidad de tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera, el investigador asume un valor de 5%.
- *Estadístico de prueba:* se realiza el test estadístico de la diferencia de medias, con la distribución de T de Student unilateral a cola izquierda.

$$s_c^2 = \frac{(n_1 - 1) * s_1^2 + (n_2 - 1) * s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$s_c^2 = \frac{(16 - 1) * 6.86 + (5 - 1) * 0.68}{16 + 5 - 2} = 5.42$$

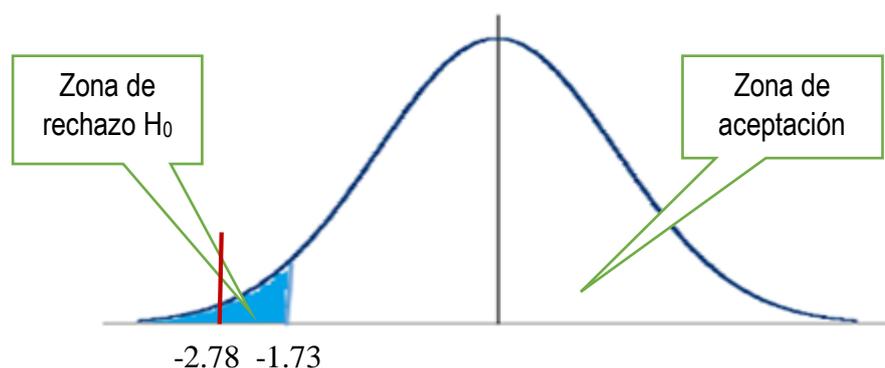
$$T_c = \frac{(\bar{E}_1 - \bar{E}_2)}{\sqrt{\left(\frac{s_c^2}{n_1} + \frac{s_c^2}{n_2}\right)}} = \frac{(31.25 - 34.57)}{\sqrt{\left(\frac{5.42}{16} + \frac{5.42}{5}\right)}} = -2.78$$

El T calculado o de prueba para el contraste de la hipótesis específica 1 es -2.78.

- *T crítico o de tablas*: se estima a partir de la función acumulada de la distribución T, para un nivel de significancia del 5% y con 19 grados de libertad.

$$T_{t(\alpha, n_1+n_2-2)} = T_{t(0.05, 19)} = -1.729$$

- *Regla de decisión*: se rechaza la hipótesis nula (H_0) porque el T de prueba se encuentra en la zona de rechazo y por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa.



Se puede concluir que existe una diferencia significativa entre el espesor de la estructura de pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93, en el diseño de vías locales identificadas del centro poblado de Jayllihuaya, Puno.

Pérez (2012), En su estudio “análisis comparativo de Pavimentos de geometría optimizada y pavimentos tradicionales”, concluye que las losas cortas de 1.35x1.75n hasta 2.5x1.75m mantienen todas las ventajas sustentables de un pavimento de concreto tradicional como su claridad, rigidez, ser reciclable, pero además al ser de menor espesor se reduce el consumo de concreto el cual requiere de gran energía para su producción y áridos que en algunas zonas del país es escasa, por otro lado (Sanchez,2014), en su estudio realizó simulaciones en el software de elementos finitos

EverFe 2.24 y determinó que las losas cortas de 1.5x1.5m y de 1.8x1.8m y 12cm de espesor fueron las que proporcionaron los menores esfuerzos generados por las combinaciones de cargas de ejes y de temperatura (alabeo) y recomienda losas de dimensiones superficiales optimizadas que sean mayores a 1.5x1.5m y menores a 1.8x1.8m para desempeños óptimos, en presente estudio se obtuvo una losa optimizada de 1.50x2.00m y un espesor de 12cm el cual tendrá un comportamiento aceptable en el periodo de servicio.

b) Hipótesis específica 2: El índice de regularidad internacional estimada para el periodo de servicio del proyecto es menor a 3.5m/km del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada.

$$H_0: I_1 \geq 3.5m/km$$

$$H_a: I_1 < 3.5m/km$$

H_0 : Hipótesis nula

H_a : Hipótesis alterna

I_1 : Índice de regularidad internacional año 20 – TCP

- *Nivel de significancia:* se define como la probabilidad de tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula cuando ésta es verdadera, el investigador asume un valor de 5%.
- *Estadístico de prueba:* se realiza el test estadístico de T de Student de una sola muestra unilateral de cola izquierda.

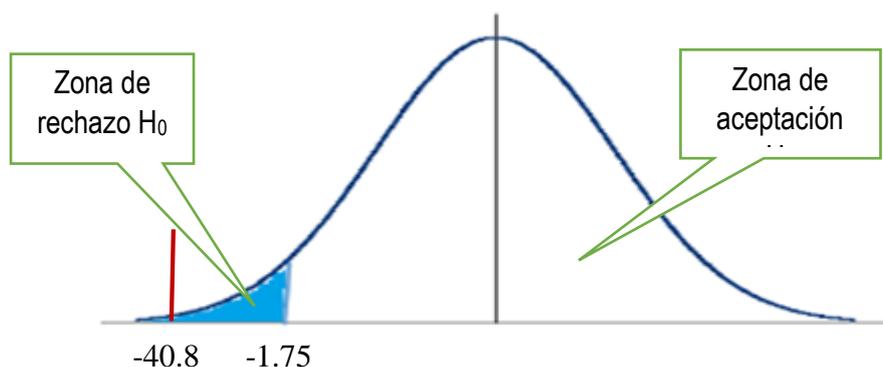
$$T_c = \frac{(\bar{I}_1 - \bar{I}_0)}{\frac{\sqrt{S^2}}{\sqrt{n_1}}} = \frac{(2.71 - 3.50)}{\sqrt{\frac{0.006}{16}}} = -40.79$$

El T calculado o de prueba para el contraste de la hipótesis específica 2 es -40.79.

- *T crítico o de tablas:* se estima a partir de la función acumulada de la distribución T, para un nivel de significancia del 5% y con 15 grados de libertad.

$$T_{t(\alpha, n_1-1)} = T_{t(0.05, 15)} = -1.75$$

- *Regla de decisión:* se rechaza la hipótesis nula (H_0) porque el T de prueba se encuentra en la zona de rechazo y por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa.



Se puede concluir que el índice de regularidad internacional estimada para el periodo de servicio es menor a 3.5m/km del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada.

Para la estructura de pavimento rígido, conformada por 20cm de subbase, 12 cm de espesor y 1.50m de largo de losa de concreto, se realizó la evaluación de comportamiento durante el periodo de servicio y resulta que el % de losas agrietadas es menor al 30%, el escalonamiento promedio es menor a 5mm y el índice de regularidad internacional es menor a 3.5 m/km, implica que el pavimento rígido diseñado bajo la metodología de losa con geometría optimizada generará seguridad y confort a los usuarios al momento de conducir un vehículo motorizado.

c) Hipótesis específica 3: Existe una diferencia significativa entre el costo directo del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada y AASHTO 93.

$$H_0: C_1 - C_2 = 0$$

$$H_a: C_1 - C_2 < 0$$

H_0 : Hipótesis nula

H_a : Hipótesis alterna

C_1 : Costo directo del pavimento rígido diseñado por el método TCP

C_2 : Costo directo del pavimento rígido diseñado método AASHTO 93

El costo directo es un dato determinístico producida a partir de condiciones iniciales y no contempla la existencia de aleatoriedad. Por tanto se acepta la argumentación inicial en contraste con el valor estimado (presupuesto).

El costo directo del pavimento rígido diseñado por el método AASHTO 93 es mayor en 13.04% aproximadamente con respecto al diseño por el método de losa con geometría optimizada.

Covarrubias (2012), realizó un estudio sobre “Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada” y concluye que se ha introducido un nuevo y revolucionario método de diseño en la cual optimiza las dimensiones de losas de hormigón para minimizar el espesor requerido, con estas losas cortas de entre 1.4 y 2.5m, la tensión máxima se ha reducido considerablemente reduciendo el costo de construcción en aproximadamente un 20% del costo inicial, con una vida de diseño similar; por otro lado (Pérez, 2012), En su estudio “Análisis comparativo de Pavimentos de geometría optimizada y pavimentos tradicionales concluye que ante la interacción de las diferentes partidas los pavimentos de geometría optimizada generan un ahorro de 16.48% por cada 100m de calzada, respecto a los pavimentos tradicionales, entonces la aplicabilidad de la metodología de losa con geometría optimizada en el diseño de pavimento rígido en el centro poblado de Jayllihuaya- Puno, generaría ahorros significativos en la etapa de construcción.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

- El espesor de la estructura de pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada está compuesta por 12 cm de losa de concreto y 20 cm de subbase granular y es menor al diseñado por el método AASHTO 93 conformada por 15cm de losa de concreto y 20cm de subbase granular, resultado de la combinación del conjunto de parámetros de diseño, tráfico, suelo y factores climáticos.
- El comportamiento del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada es apropiado y garantizará un rodamiento de calidad generando confort para los usuarios durante la vida útil del proyecto. Debido a que el Índice de regularidad internacional, el grado de escalonamiento, porcentaje de losas agrietadas y las tensiones máximas en encuentran el rango de aceptación.
- El costo directo del pavimento rígido diseñado por la metodología de losa con geometría optimizada es menor en 13.04% aproximadamente en comparación por el método de AASHTO 93, que es resultado de la combinación óptima de recursos, cantidades y rendimientos.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

- Para garantizar seguridad y confort a los usuarios, En la etapa de construcción se deberá utilizar de preferencia concreto premezclado, por disponer una producción uniforme, continua y en estricto cumplimiento de proporciones del diseño de mezcla. A fin de cumplir la resistencia a flexión utilizada en el diseño.
- La ejecución de las juntas de contracción se deberá realizar después de 4 horas de terminado el vaciado, mediante la utilización del equipo cortadora de concreto con disco diamantada que permita realizar canales de 2mm de preferencia. A fin de evitar el ingreso excesivo de agua a la capa subbase.
- Extender estudios para vías de alto tráfico, a fin de encontrar ventajas y desventajas en la aplicación de la metodología de losa con geometría optimizada.

CAPÍTULO VII

7. REFERENCIAS

- AASHTO. (1993). Guide for Design of Pavement Structures. Washington D.C. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Borja, M. (2012). Metodología de la investigación científica para ingenieros. Perú
- Covarrubias, J. (2012). Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada. Chile
- Córdova, M. (2006). Estadística Aplicada. (Primera Edición). Perú: editorial Moshera S.R.L.
- CAPECO (2003). Costos y presupuestos edificación. Lima: Edit. Macro
- Chagua, J. y Huayta, P. (2018). Fibra sintética estructural para la optimización del diseño de un pavimento rígido en la nueva planta Farmagro – Huachipa – Lima. (Tesis). Lima.
- Díaz, R (2013). Determinación de umbrales de temperatura y precipitación pluvial para las cuencas de los ríos Coata e Ilave-región puno./ (www.senamhi.gob.pe.)
- Hernández, R; Fernández, C. (2006). Metodología de la investigación. (Cuarta edición).México. McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A
- Ibáñez, W. (2010). Costos y Tiempos en carreteras. (Primera edición). Lima: Edit. Macro
- Isidro, G. (2017). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto $f'c$ 210 kg/cm². (www.repositorio.unap.pe).
- Montejo, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Ministerio de transportes y comunicaciones (2014). Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos. Lima.
- Ministerio de transportes y comunicaciones (2016). Manual de ensayos de materiales
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). Norma CE.010 Pavimentos Urbanos. Lima.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción. Lima.
- Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas (2005), difundido por instituto de la Construcción y Gerencia.
- Ordoñez, D. (2015). Pavimentos de losas cortas de concreto para vías tercias en Colombia. Colombia.
- TCPavements (2013). Manual de diseño de TCP - Optipave2. Chile
- Quispe, N. (2017). Influencia del gradiente térmico en la resistencia del concreto en la ciudad de puno – 2017. (www.repositorio.unap.pe).
- Sánchez, P. (2014). Método de diseño de losas de dimensiones superficiales, en pavimentos de concreto hidráulico. El Salvador
- Sánchez, I. (1989). IRI un indicador de regularidad superficial. (Tesis). Madrid.

ANEXOS

Anexo A: Parámetros de diseño y resultados en el programa Optipave2.0

Figura A.1: Pestaña de diseño del programa Optipave2
Permite insertar los parámetros de diseño y umbrales máximos

Figura A.2: Pestaña de tráfico del programa Optipave2
Permite insertar los parámetros de tráfico (ESAL, tasa de crecimiento, tipo de borde)

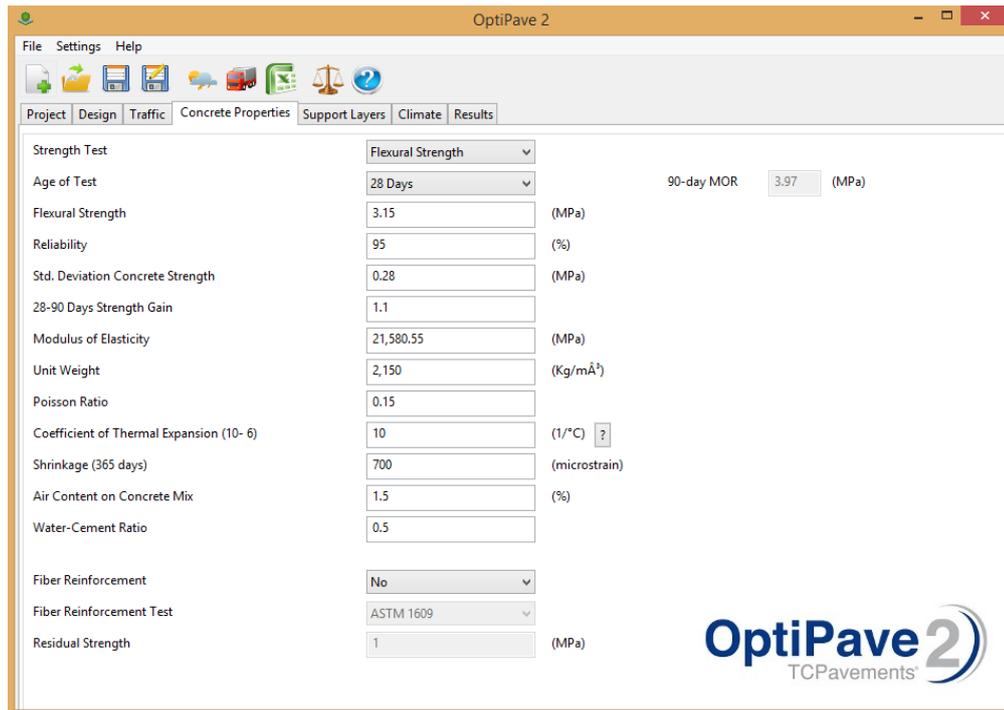


Figura A.3: Pestaña de propiedades de concreto del programa Optipave2
Permite insertar los parámetros de concreto (módulo de rotura, elasticidad, relación a/c, % de aire, etc.)

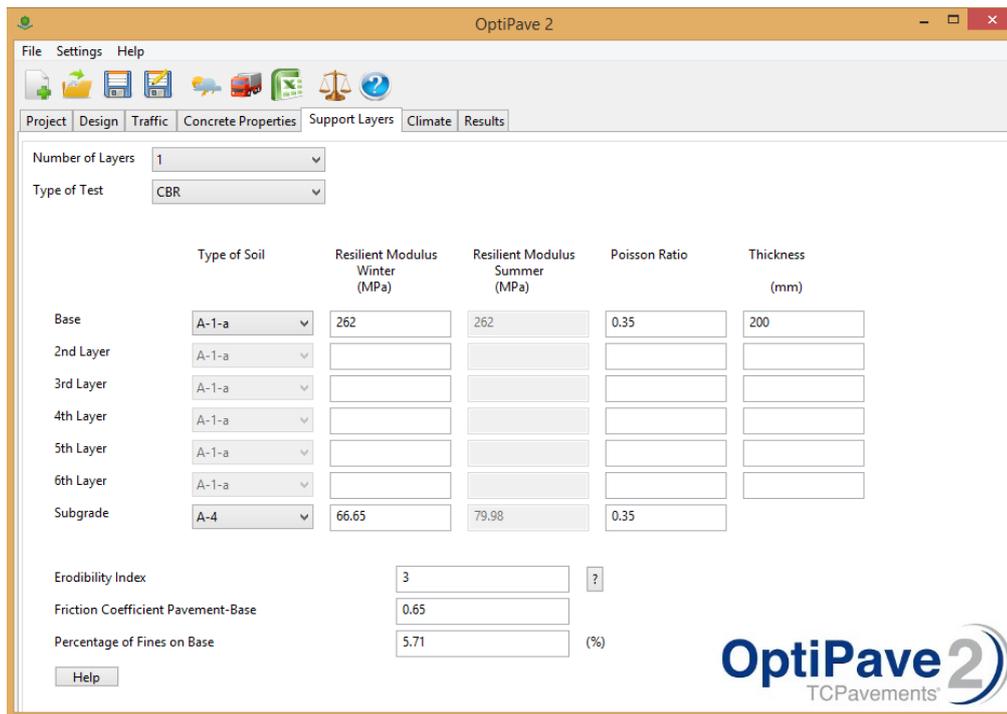


Figura A.4. Pestaña de propiedades suelos del programa Optipave2
Permite insertar los parámetros de suelo (número de capas, Mr, espesor de subbase, etc.)

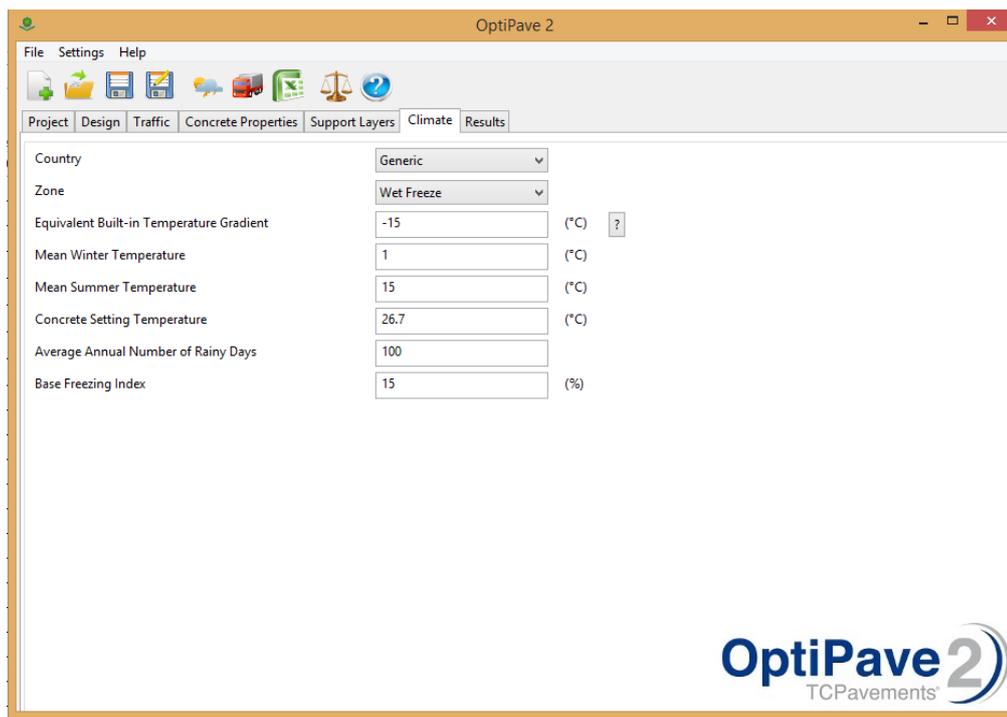


Figura A.5: Pestaña clima del programa Optipave2
Permite insertar los parámetros de clima (tipo de clima, temperatura media, Gradiente de construcción)

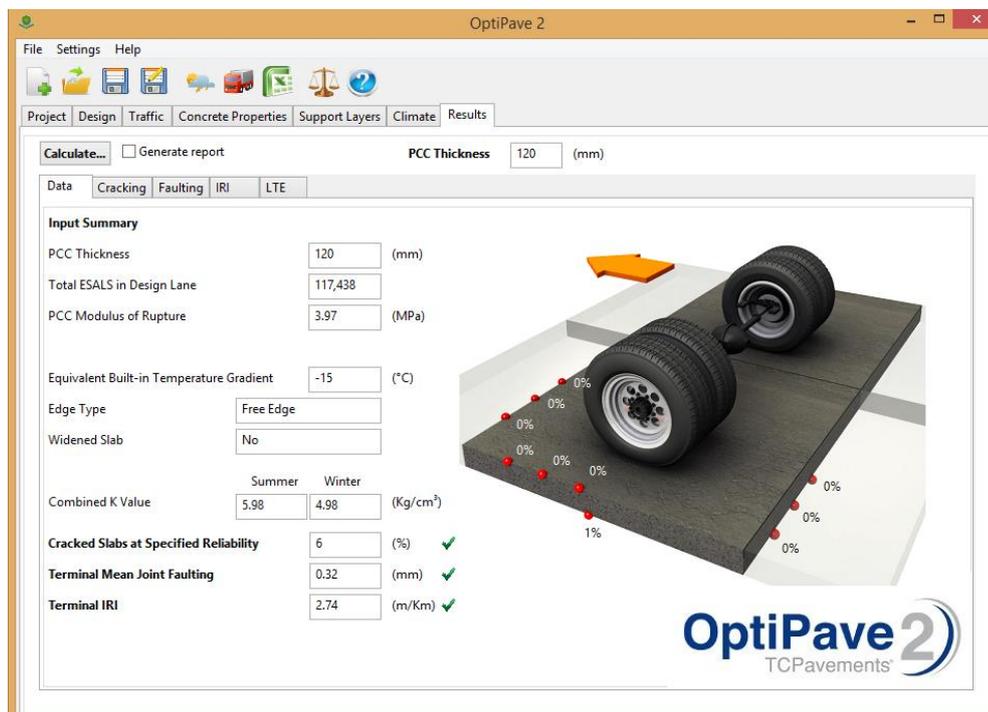


Figura A.6: Resultado Pavimento TCP del programa Optipave2
Muestra el espesor de concreto, % de losas agrietadas, escalonamiento promedio y IRI.

Anexo B: Presupuesto de pavimento rígido para el método TCP

S10

Página

1

Presupuesto

Presupuesto **0403005** APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LOSA CON GEOMETRÍA OPTIMIZADA EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CENTRO POBLADO DE JAYLLIHUAYA - PUNO
 Subpresupuesto **001** METODO TCP
 Cliente **MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PUNO** Costo al **06/11/2018**
 Lugar **PUNO - PUNO - PUNO**

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	PRESUPUESTO				
01.01	SUBBASE E=0.20M				10,531.63
01.01.01	MATERIAL DE PRESTAMO CANTERA CUTIMBO (MEZCLA 60%)				4,495.29
01.01.01.01	EXTRACCION Y APILAMIENTO MATERIAL (EN CANTERA R=450 m3/día)	m3	88.80	6.11	542.57
01.01.01.02	ZARANDEO DEL MATERIAL DE CANTERA	m3	111.88	14.69	1643.52
01.01.01.03	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL SELECCIONADO	m3	111.88	20.64	2,309.20
01.01.02	MATERIAL DE PRÉSTAMO CANTERA MI PERÚ (MEZCLA 40%)				1,787.26
01.01.02.01	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL LIGANTE	m3	59.20	7.47	442.22
01.01.02.02	ZARANDEO DE MATERIAL SELECCIONADO	m3	74.60	3.96	295.42
01.01.02.03	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL SELECCIONADO	m3	74.60	14.07	1,049.62
01.01.03	CONFORMACION DE SUB BASE				4,249.08
01.01.03.01	MEZCLADO DE MATERIALES DE CONFORMACION DE SUB BASE	m3	148.00	3.89	575.72
01.01.03.02	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL MEZCLADO SUB BASE	m3	148.00	7.82	1,157.36
01.01.03.03	CONFORMACION DE SUBBASE E=0.16M	m2	740.00	3.40	2,516.00
01.02	CONCRETO F'c = 210 kg/cm2; E=0.12M				34,273.47
01.02.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO LOSA	m2	79.24	35.23	2,791.63
01.02.02	CONCRETO f'c=210 kg/cm2	m3	88.80	321.57	28,555.42
01.02.03	CURADO DE LOSA DE CONCRETO	m2	740.00	0.43	318.20
01.02.04	JUNTA DE CONTRACCIÓN EN LOSA DE CONCRETO	m	681.00	3.83	2,608.23
	Costo Directo				44,804.10

SON: CUARENTA Y CUATRO MIL OCHOCIENTOS CINCO Y 10/100 NUEVOS SOLES

Anexo C: Presupuesto de pavimento rígido para el método AASHTO 93

S10

Página

1

Presupuesto

Presupuesto	0403005	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LOSA CON GEOMETRÍA OPTIMIZADA EN EL DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO EN CENTRO POBLADO DE JAYLLIHUAYA - PUNO		
Subpresupuesto	002	METODO AASTHO 93		
Cliente		MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PUNO	Costo al	06/11/2018
Lugar		PUNO - PUNO - PUNO		

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	PRESUPUESTO				
01.01	SUB BASE E=0.20M				10,531.63
01.01.01	MATERIAL DE PRESTAMO CANTERA CUTIMBO (MEZCLA 60%)				4,495.29
01.01.01.01	EXTRACCION Y APILAMIENTO MATERIAL (EN CANTERA R=450 m3/día)	m3	88.80	6.11	542.57
01.01.01.02	ZARANDEO DEL MATERIAL DE CANTERA	m3	111.88	14.69	1,643.52
01.01.01.03	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL SELECCIONADO	m3	111.88	20.64	2,309.20
01.01.02	MATERIAL DE PRÉSTAMO CANTERA MI PERÚ (MEZCLA 40%)				1,787.26
01.01.02.01	EXTRACCION Y APILAMIENTO DE MATERIAL LIGANTE	m3	59.20	7.47	442.22
01.01.02.02	ZARANDEO DE MATERIAL SELECCIONADO	m3	74.60	3.96	295.42
01.01.02.03	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL SELECCIONADO	m3	74.60	14.07	1,049.62
01.01.03	CONFORMACION DE SUB BASE				4,249.08
01.01.03.01	MEZCLADO DE MATERIALES DE CONFORMACION DE SUB BASE	m3	148.00	3.89	575.72
01.01.03.02	CARGUIO Y TRANSPORTE DE MATERIAL MEZCLADO SUB BASE	m3	148.00	7.82	1,157.36
01.01.03.03	CONFORMACION DE SUB BASE E=0.20m	m2	740.00	3.40	2,516.00
01.02	CONCRETO F'c = 210 kg/cm2; E=0.15M				40,993.36
01.02.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO LOSA	m2	111.80	35.23	3,983.71
01.02.02	CONCRETO f'c=210 kg/cm2	m3	111.00	321.57	35,694.27
01.02.03	CURADO DE LOSA DE CONCRETO	m2	740.00	0.43	318.20
01.02.04	SELLADO DE JUNTAS	m	188.80	5.52	1,042.18
	Costo Directo				51,524.99

SON: CINCUENTA Y UNO MIL QUINIENTOS VEINTE CUATRO Y 99/100 NUEVOS SOLES

Anexo D: Ensayos suelos en laboratorio para subrasante

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216)

Datos de la Muestra:

Localidad: C.P. Jayllihuaya Calicata: C-1
 Fecha de muestreo: 05/05/2019 Estrato: E-2
 Fecha de ensayo: 07/05/2019 Profundidad (m): 0.85- 1.55

N° de Tara	A-7	S-27	S-11
Peso de Tara (gr.)	13.43	19.54	18.02
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	125.54	130.35	120.37
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	107.12	112.55	103.61
Peso de Agua (gr.)	18.42	17.80	16.76
Peso de Muestra Seca (gr.)	93.69	93.01	85.59
Contenido de Humedad (W%)	19.66%	19.14%	19.58%
Promedio Cont. Humedad (W%)	19.46%		

Datos de la Muestra:

Localidad: C.P. Jayllihuaya Calicata: C-2
 Fecha de muestreo: 05/05/2019 Estrato: E-2
 Fecha de ensayo: 07/05/2019 Profundidad (m): 0.80 - 1.55

N° de Tara	S-12J	S-61	S-18
Peso de Tara (gr.)	17.81	22.15	16.24
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	135.62	155.33	142.28
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	108.99	124.88	112.94
Peso de Agua (gr.)	26.63	30.45	29.34
Peso de Muestra Seca (gr.)	91.18	102.73	96.70
Contenido de Humedad (W%)	29.21%	29.64%	30.34%
Promedio Cont. Humedad (W%)	29.73%		

Datos de la Muestra:

Localidad: C.P. Jayllihuaya Calicata: C-2
 Fecha de muestreo: 05/05/2019 Estrato: E-2
 Fecha de ensayo: 07/05/2019 Profundidad (m): 0.80 - 1.55

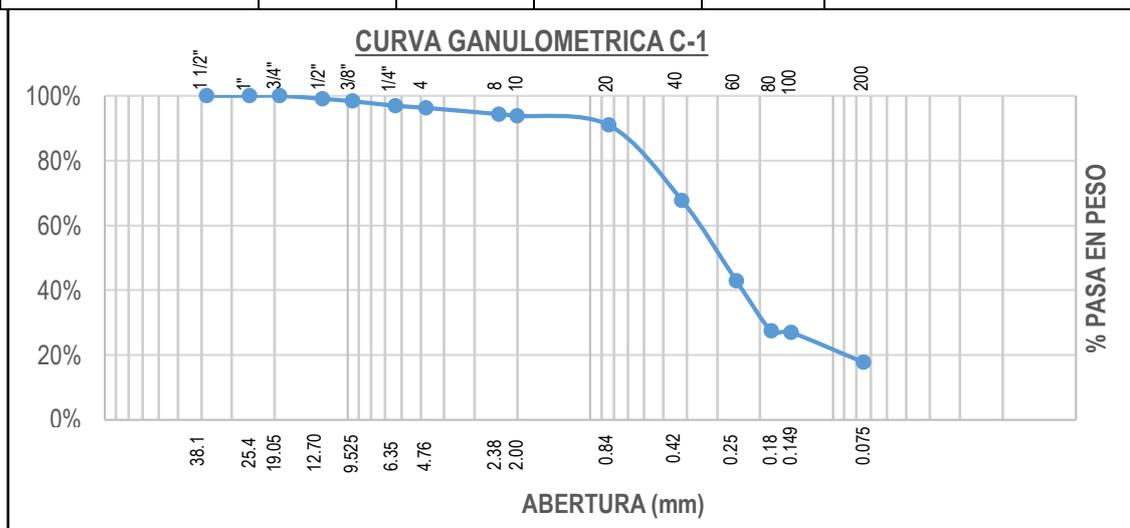
N° de Tara	S-45	S-56	S-41
Peso de Tara (gr.)	22.05	16.97	17.28
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	119.02	135.76	123.11
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	99.33	111.70	101.84
Peso de Agua (gr.)	19.69	24.06	21.27
Peso de Muestra Seca (gr.)	77.28	94.73	84.56
Contenido de Humedad (W%)	25.48%	25.40%	25.15%
Promedio Cont. Humedad (W%)	25.34%		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D 421)

Datos de la Muestra:

Localidad: C.P. Jayllihuaya Calicata: C-1
 Fecha de ensayo: 13/05/2019 Estrato: E-2
 Profundidad (m): 0.85- 1.55

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
1 1/2"	38.1	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Peso Inicial (gr): 2,025.87
1"	25.4	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Límites de Consistencia
3/4"	19.05	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	L. Líquido: NP
1/2"	12.7	19.23	0.95%	0.95%	99.05%	L. Plástico: NP
3/8"	9.525	15.12	0.75%	1.70%	98.30%	I. Plástico: NP
1/4"	6.35	28.15	1.39%	3.09%	96.91%	
Nro 4	4.76	13.22	0.65%	3.74%	96.26%	Clasificación de Suelos
Nro 8	2.38	39.14	1.93%	5.67%	94.33%	AASHTO: A-2-4(0)
Nro 10	2	10.55	0.52%	6.19%	93.81%	SUCS: SM
Nro 20	0.84	58.55	2.89%	9.08%	90.92%	
Nro 40	0.42	470.50	23.22%	32.31%	67.69%	% de Grava: 3.74%
Nro 60	0.25	505.18	24.94%	57.24%	42.76%	% de Arena: 78.54%
Nro 80	0.18	310.06	15.31%	72.55%	27.45%	% Pasa N° 200: 17.72%
Nro 100	0.149	10.14	0.50%	73.05%	26.95%	
Nro 200	0.075	187.02	9.23%	82.28%	17.72%	Observaciones:
BASE		359.01	17.72%	100.00%	0.00%	



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (NTP 339.141 - ASTM D 1557)

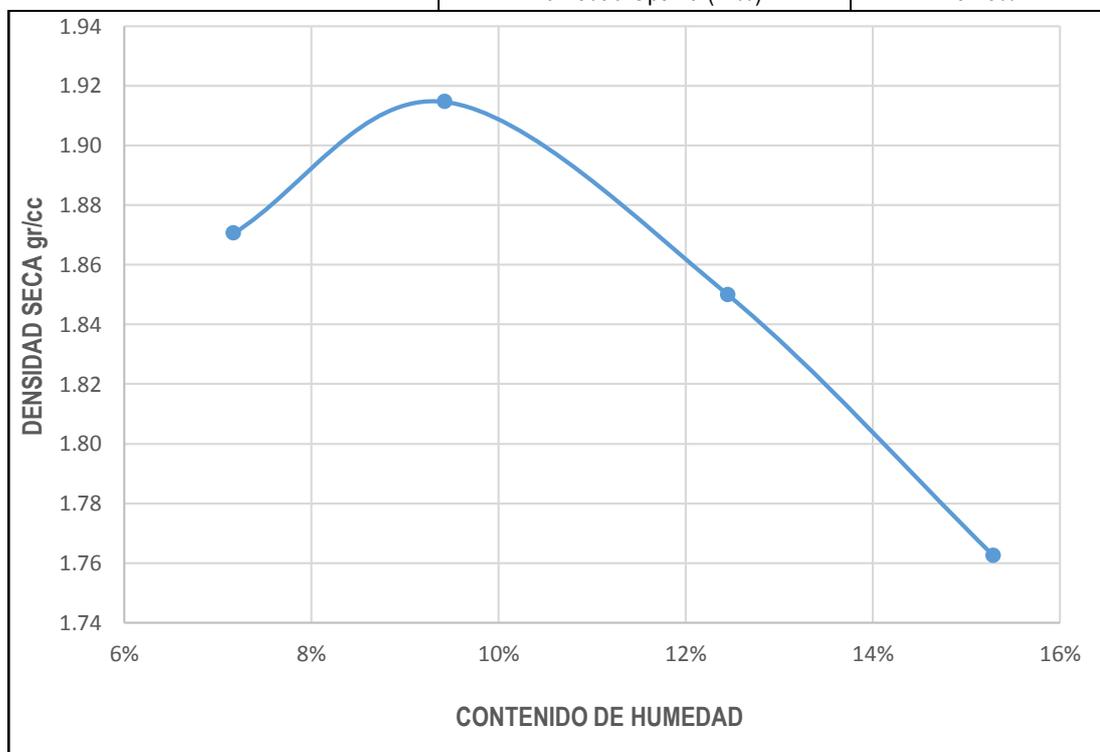
Tesista: Pari Mamani, Jenrry Calicata: C-1
 Ubicación: C.P. Jayllihuaya Estrato: E-2
 Fecha ensayo: 24/05/2019 Profundidad (m): 0.85 -1.55

Molde N°	1
N° de Capas	5
Método	C

Volumen Molde V(cm3)	2156
Golpes por Capa	56

Puntos	Und.	1	2	3	4
A. Peso del Molde	gr.	6,189.00	6,189.00	6,189.00	6,189.00
B. Peso suelo húmedo + molde	gr.	10,511.00	10,706.00	10,674.00	10,570.00
C. Peso de suelo húmedo; B-A	gr.	4,322.00	4,517.00	4,485.00	4,381.00
D. Densidad suelo húmedo; C/V	gr/cm3	2.00	2.10	2.08	2.03

Tara	N°	9	10	11	12	13	14	15	16
E. Peso de Tara	gr.	36.01	35.62	28.22	34.24	30.65	31.18	30.44	29.60
F. Peso de Tara + Suelo Húmedo	gr.	117.20	114.63	123.47	120.61	95.07	100.97	113.50	104.25
G. Peso de Tara + Suelo Seco	gr.	111.75	109.36	115.04	113.37	88.01	93.16	102.43	94.40
H. Peso de Agua; F-G	gr.	5.45	5.27	8.43	7.24	7.06	7.81	11.07	9.85
I. Peso de Suelo Seco; G-E	gr.	75.74	73.74	86.82	79.13	57.36	61.98	71.99	64.80
J. Contenido de Humedad; H/I	%	7.20%	7.15%	9.71%	9.15%	12.31%	12.60%	15.38%	15.20%
K. Promedio de Humedad	%	7.17%		9.43%		12.45%		15.29%	
L. Densidad Suelo Seco; D/(1+K)	gr/cm3	1.871		1.915		1.850		1.763	
M.D.S. (gr/cm3)								1.915	
Humedad Optima (W%)								9.43%	



ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) - ASTM D 1883

Solicitante: PARI MAMANI, JENRRY Calicata: C-1
 Ubicación: C. P. Jayllihuaya Estrato: E-2
 Fecha de ensayo: 03 de Junio del 2019 Profundidad (m): 0.85 - 1.55

Molde N°	H-2		S-3		H-3	
N° de Capas	5		5		5	
Golpes por Capa	12		25		56	
Condiciones de la Muestra	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado
A. Peso del Molde	gr.	7,171.00		7,936.00		7,835.00
B. Peso suelo húmedo + molde	gr.	11,297.00		12,276.00		12,359.00
C. Peso de suelo húmedo; B-A	gr.	4,126.00		4,340.00		4,524.00
D. Volumen de la muestra	cm3	2,113.00		2,117.00		2,114.00
E. Densidad de suelo húmedo; C/D	gr/cm3	1.953		2.050		2.140

Tara	N°	6	9			16	13			15	14		
F. Peso de Tara	gr.	25.92	36.03			29.61	30.65			30.45	31.16		
G. Peso de Tara + Suelo Húmedo	gr.	141.54	179.6			117.45	120.47			118.50	119.10		
H. Peso de Tara + Suelo Seco	gr.	131.35	166.8			109.77	112.58			111.28	111.38		
I. Peso de Agua; G-H	gr.	10.19	12.76			7.68	7.89			7.22	7.72		
J. Peso de Suelo Seco; H-F	gr.	105.43	130.8			80.16	81.93			80.83	80.22		
K. Contenido de Humedad; I/J	%	9.67	9.76			9.58	9.63			8.93	9.62		
L. Promedio de Humedad	%	9.71%				9.61%				9.28%			
M. Densidad Suelo Seco; E/(1+L)	gr/cm3	1.780				1.870				1.958			

EXPANSIÓN

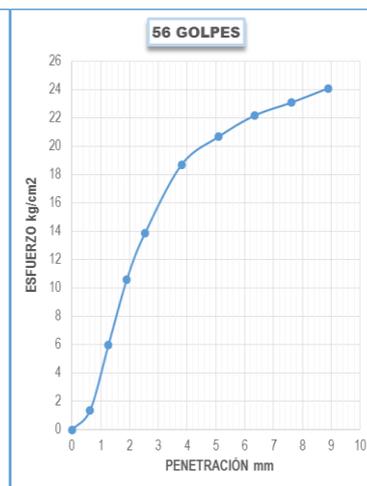
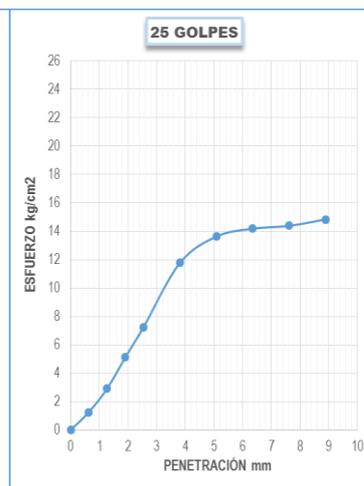
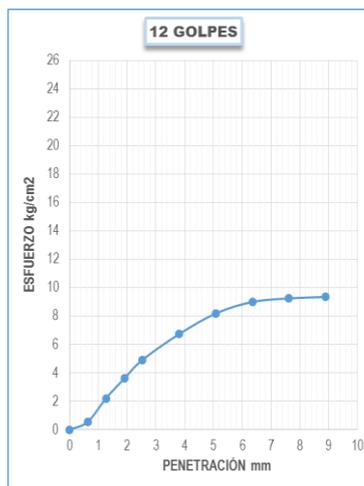
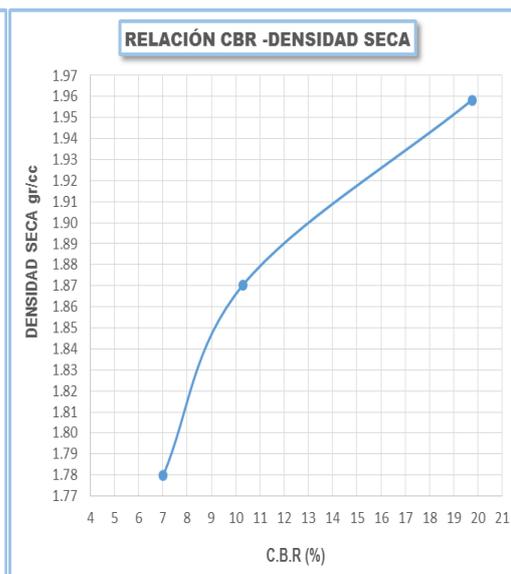
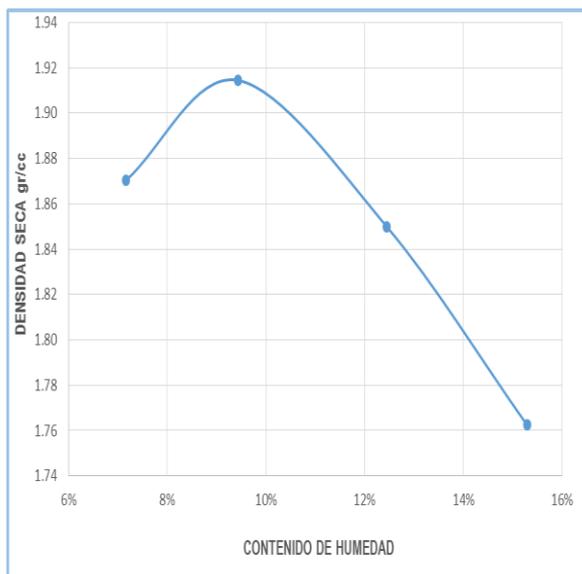
Fecha	Hora	Tiempo (h)	Dial	EXP.		Dial	EXP.		Dial	EXP.	
				mm	%		mm	%		mm	%
03/06/2019	15:15	0	7.180	0	0.000	15.750	0	0.00	10.30	0	0.000
04/06/2019	15:45	24.5	7.285	0.11	0.083	15.829	0.08	0.06	11.33	1.030	0.811
05/06/2019	13:05	46.167	7.285	0.11	0.083	16.670	0.92	0.72	11.35	1.051	0.828
07/06/2019	09:45	90.5	7.320	0.14	0.110	16.680	0.93	0.73	11.36	1.060	0.835

PENETRACIÓN

Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Est.	Molde H-2				Molde S-3				Molde H-3			
			Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Cor.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Cor.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Cor.
0.00	0		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		0.11	11.22	0.55		0.25	25.49	1.26		0.27	27.53	1.36	
1.27	01:00		0.44	44.87	2.21		0.58	59.14	2.92		1.19	121.34	5.99	
1.91	01:30		0.72	73.42	3.62		1.02	104.01	5.13		2.11	215.16	10.61	
2.54	02:00	70.31	0.98	99.93	4.93	7.01	1.44	146.84	7.24	10.3	2.76	281.44	13.88	19.75
3.81	03:00		1.34	136.64	6.74		2.34	238.61	11.8		3.72	379.33	18.71	
5.09	04:00	105.45	1.63	166.21	8.20	7.78	2.71	276.34	13.6	12.9	4.11	419.10	20.68	19.61
6.35	05:00		1.79	182.53	9.00		2.82	287.56	14.2		4.41	449.69	22.18	
7.62	06:00		1.84	187.62	9.26		2.86	291.63	14.4		4.59	468.04	23.09	
8.89	07:00		1.86	189.66	9.36		2.95	300.81	14.8		4.79	488.44	24.10	

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) - ASTM D 1883

Ubicación:	C. P. Jayllihuaya	Método de compactación:	C
Fecha de ensayo:	07 de Junio del 2019	Máxima densidad seca(gr/cc):	1.915
Calicata:	C-1	Humedad óptimo (%)	9.43
Estrato:	E-2	CBR al 100% de M.D.S. (%):	15
Profundidad (m):	0.85 - 1.55	CBR al 95% de M.D.S. (%):	8

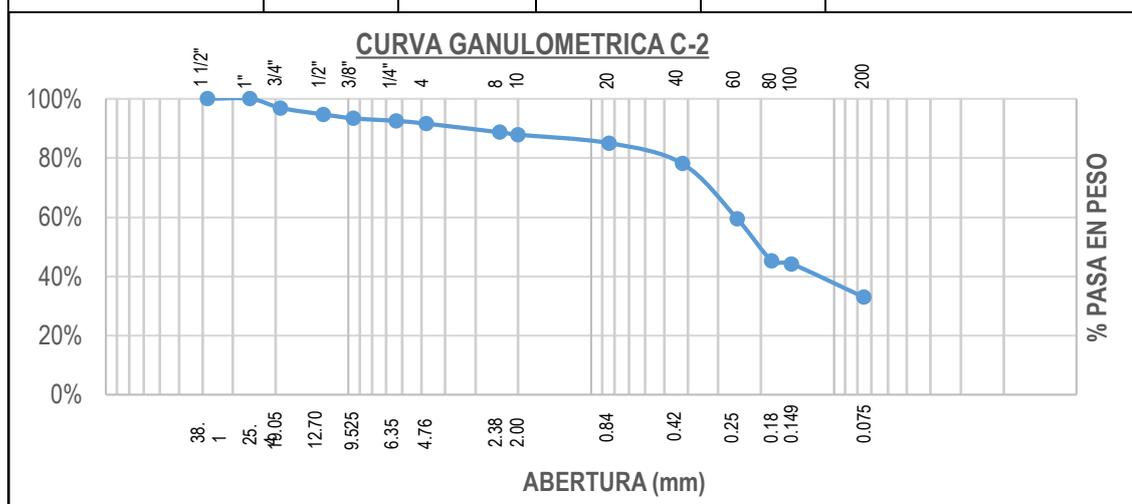


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D421)

Datos de la Muestra:

Localidad: C.P. Jayllihuaya Calicata: C-2
 Fecha de ensayo: 13/05/2019 Estrato: E-2
 Profundidad (m): 0.80- 1.55

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
1 1/2"	38.1	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Peso Inicial (gr): 2,298.03
1"	25.4	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Límites de Consistencia
3/4"	19.05	71.82	3.13%	3.13%	96.87%	L. Líquido: 25.95%
1/2"	12.7	50.11	2.18%	5.31%	94.69%	L. Plástico: 16.71%
3/8"	9.525	30.64	1.33%	6.64%	93.36%	I. Plástico: 9.24%
1/4"	6.35	19.86	0.86%	7.50%	92.50%	
Nro 4	4.76	21.33	0.93%	8.43%	91.57%	Clasificación de Suelos
Nro 8	2.38	67.02	2.92%	11.35%	88.65%	AASHTO: A-2-4(0)
Nro 10	2	18.56	0.81%	12.16%	87.84%	SUCS: SC
Nro 20	0.84	65.56	2.85%	15.01%	84.99%	
Nro 40	0.42	160.43	6.98%	21.99%	78.01%	% de Grava: 8.43%
Nro 60	0.25	428.32	18.64%	40.63%	59.37%	% de Arena: 58.68%
Nro 80	0.18	325.86	14.18%	54.81%	45.19%	% Pasa N° 200: 32.89%
Nro 100	0.149	23.49	1.02%	55.83%	44.17%	
Nro 200	0.075	259.14	11.28%	67.11%	32.89%	Observaciones:
BASE		755.89	32.89%	100.00%	0.00%	



LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D 4318)

Datos de la Muestra:

Localidad: C.P. Jayllihuaya Calicata: C-2
 Fecha de ensayo: 17/05/2019 Estrato: E-2
 Profundidad (m): 0.80 - 1.55

LÍMITE LÍQUIDO

N° de Tara	I-1	S-84	B-3	A-3
Peso de Tara (gr.)	17.21	13.72	13.02	13.43
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	46.16	42.00	41.80	40.87
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	40.55	36.36	35.74	34.76
Peso de Agua (gr.)	5.61	5.64	6.06	6.11
Peso de Muestra Seca (gr.)	23.34	22.64	22.72	21.33
Contenido de Humedad (W%)	24.04%	24.91%	26.67%	28.65%
Número de Golpes	30.00	28.00	23.00	18.00

LÍMITE PLÁSTICO

N° de Tara	M-34	M-77
Peso de Tara (gr.)	17.19	15.14
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	23.19	25.22
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	22.39	23.68
Peso de Agua (gr.)	0.80	1.54
Peso de Muestra Seca (gr.)	5.20	8.54
Contenido de Humedad (W%)	15.38%	18.03%
Promedio Cont. De Humedad (W%)	16.71%	

Límite Líquido: 25.95%

Límite Plástico: 16.71%

Índice Plástico:

9.24%



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (NTP 339.141 - ASTM D 1557)

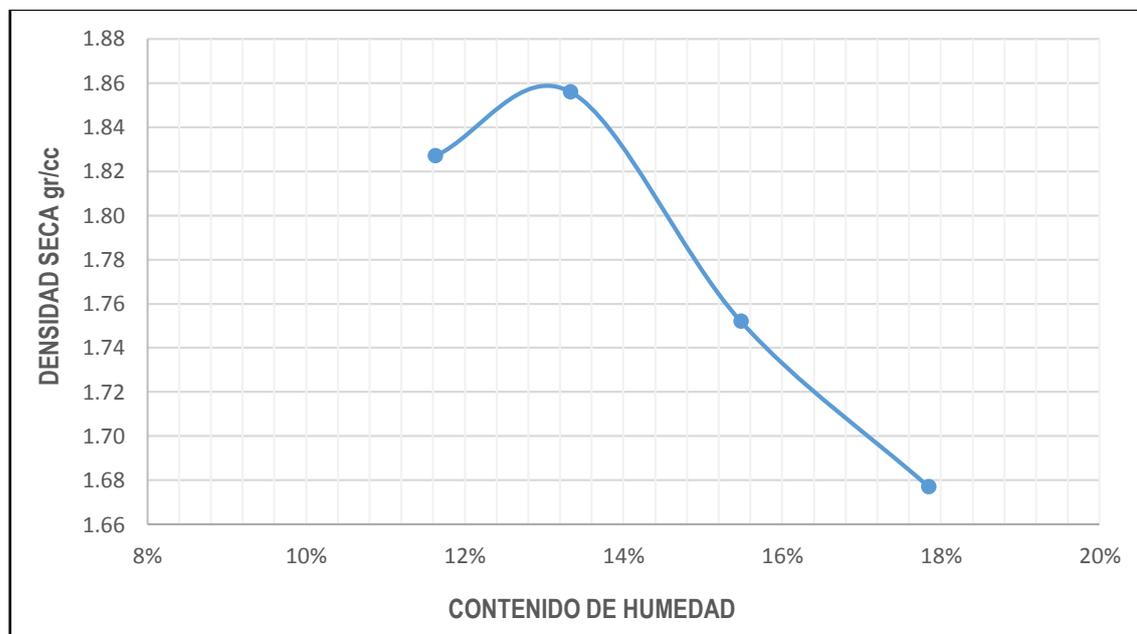
Tesista: Pari Mamani, Jenrry Calicata: C-2
 Ubicación: C.P. Jayllihuaya Estrato: E-2
 Fecha de ensayo: 24/05/2019 Profundidad (m): 0.80 -1.55

Molde N°	1
N° de Capas	5
Método	C

Volumen Molde V(cm3)	2156
Golpes por Capa	56

Puntos	Und.	1	2	3	4
A. Peso del Molde	gr.	6,189.00	6,189.00	6,189.00	6,189.00
B. Peso suelo húmedo + molde	gr.	10,586.00	10,724.00	10,551.00	10,450.00
C. Peso de suelo húmedo; B-A	gr.	4,397.00	4,535.00	4,362.00	4,261.00
D. Densidad suelo húmedo; C/V	gr/cm3	2.04	2.10	2.02	1.98

Tara	N°	17	I-1	S-84	A-3	A-8	S-071	S-2IJ	S-28
E. Peso de Tara	gr.	25.90	17.23	13.72	13.45	13.16	13.70	19.51	17.47
F. Peso de Tara + Suelo Húmedo	gr.	106.9	114.28	84.99	95.67	114.55	113.03	110.82	125.11
G. Peso de Tara + Suelo Seco	gr.	98.49	104.21	76.73	85.85	101.24	99.44	96.90	108.91
H. Peso de Agua; F-G	gr.	8.48	10.07	8.26	9.82	13.31	13.59	13.92	16.20
I. Peso de Suelo Seco; G-E	gr.	72.59	86.98	63.01	72.40	88.08	85.74	77.39	91.44
J. Contenido de Humedad; H/I	%	11.7%	11.58%	13.11%	13.56%	15.11%	15.85%	17.99%	17.72%
K. Promedio de Humedad	%	11.63%		13.34%		15.48%		17.85%	
L. Densidad Suelo Seco; D/(1+K)	gr/cm3	1.827		1.856		1.752		1.677	
Máxima Densidad Seca (gr/cm3)								1.856	
Humedad Optima (W%)								13.34%	



ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) - ASTM D 1883

Tesista: PARI MAMANI, JENRRY Calicata: C-2
 Ubicación: C. P. Jayllihuaya Estrato: E-2
 Fecha de ensayo: 03 de Junio del 2019 Profundidad (m): 0.85 - 1.55

Molde N°	K-3	H-1	Z-3
N° de Capas	5	5	5
Golpes por Capa	12	25	56

Condiciones de la Muestra		Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado
A. Peso del Molde	gr.	7,788.00		6,433.00		6,805.00	
B. Peso suelo húmedo + molde	gr.	12,241.00		10,933.00		11,399.00	
C. Peso de suelo húmedo; B-A	gr.	4,453.00		4,500.00		4,594.00	
D. Volumen de la muestra	cm3	2,257.00		2,271.00		2,227.00	
E. Densidad de suelo húmedo; C/D	gr/cm3	1.973		1.982		2.063	

Tara	N°	17	5		1	2		3	4		
F. Peso de Tara	gr.	25.92	27.99		37.36	28.06		28.83	26.13		
G. Peso de Tara + Suelo Húmedo	gr.	113.87	118.5		188.22	173.45		157.14	172.62		
H. Peso de Tara + Suelo Seco	gr.	103.38	107.9		170.36	156.7		141.97	155.14		
I. Peso de Agua; G-H	gr.	10.49	10.65		17.86	16.78		15.17	17.48		
J. Peso de Suelo Seco; H-F	gr.	77.46	79.90		133.00	128.6		113.14	129.01		
K. Contenido de Humedad; I/J	%	13.54	13.33		13.43	13.05		13.41	13.55		
L. Promedio de Humedad	%	13.44%			13.24%			13.48%			
M. Densidad de Suelo Seco; E/(1+L)	gr/cm3	1.739			1.750			1.818			

EXPANSIÓN

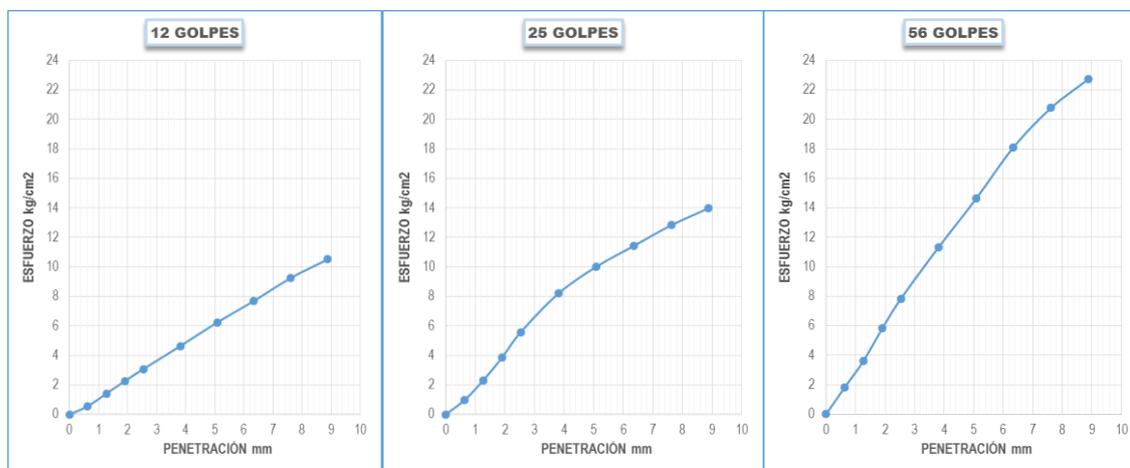
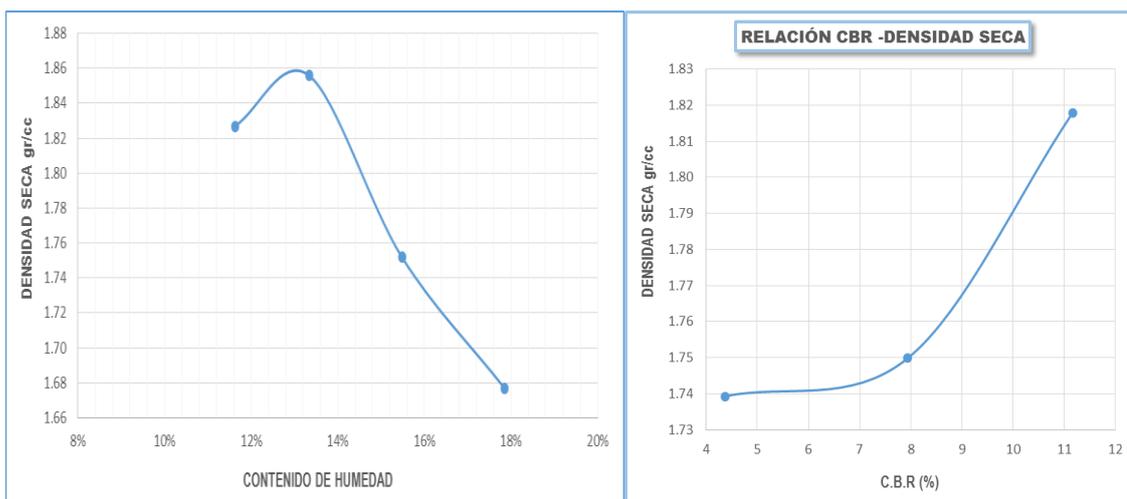
Fecha	Hora	Tiempo(h)	Dial	EXP.		Dial	EXP.		Dial	EXP.	
				mm	%		mm	%		mm	%
03/06/2019	15:28	0	12.830	0	0.000	12.628	0	0.00	19.239	0	0.000
04/06/2019	15:55	24.5	12.860	0.03	0.024	12.862	0.234	0.18	19.414	0.175	0.138
05/06/2019	13:20	46.16	12.980	0.15	0.118	13.000	0.372	0.29	19.532	0.293	0.231
07/06/2019	10:00	90.5	13.000	0.17	0.134	13.100	0.472	0.37	19.540	0.301	0.237

PENETRACIÓN

Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Est.	Molde K-3				Molde H-1				Molde Z-3			
			Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Cor.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	Cor.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm2	cor.
0.00	0		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		0.11	11.22	0.55		0.19	19.37	0.96		0.36	36.71	1.81	
1.27	01:00		0.28	28.55	1.41		0.46	46.91	2.31		0.72	73.42	3.62	
1.91	01:30		0.45	45.89	2.26		0.77	78.52	3.87		1.16	118.29	5.84	
2.54	02:00	70.31	0.61	62.20	3.07	4.36	1.11	113.19	5.58	7.94	1.56	159.07	7.85	11.16
3.81	03:00		0.92	93.81	4.63		1.63	166.21	8.20		2.25	229.43	11.32	
5.09	04:00	105.45	1.24	126.4	6.24	5.92	1.99	202.92	10.01	9.49	2.91	296.73	14.64	13.88
6.35	05:00		1.53	156.0	7.70		2.27	231.47	11.42		3.60	367.09	18.11	
7.62	06:00		1.84	187.6	9.26		2.55	260.02	12.83		4.13	421.14	20.78	
8.89	07:00		2.09	213.1	10.5		2.78	283.48	13.99		4.52	460.90	22.74	

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) - ASTM D 1883

Ubicación:	C. P. Jayllihuaya	Método de compactación:	C
Fecha de ensayo:	07 de Junio del 2019	Máxima densidad seca(gr/cc):	1.856
Calicata:	C-2	Humedad óptimo (%)	13.34
Estrato:	E-2	CBR al 100% de M.D.S. (%):	11.92
Profundidad (m):	0.85 - 1.55	CBR al 95% de M.D.S. (%):	8.50

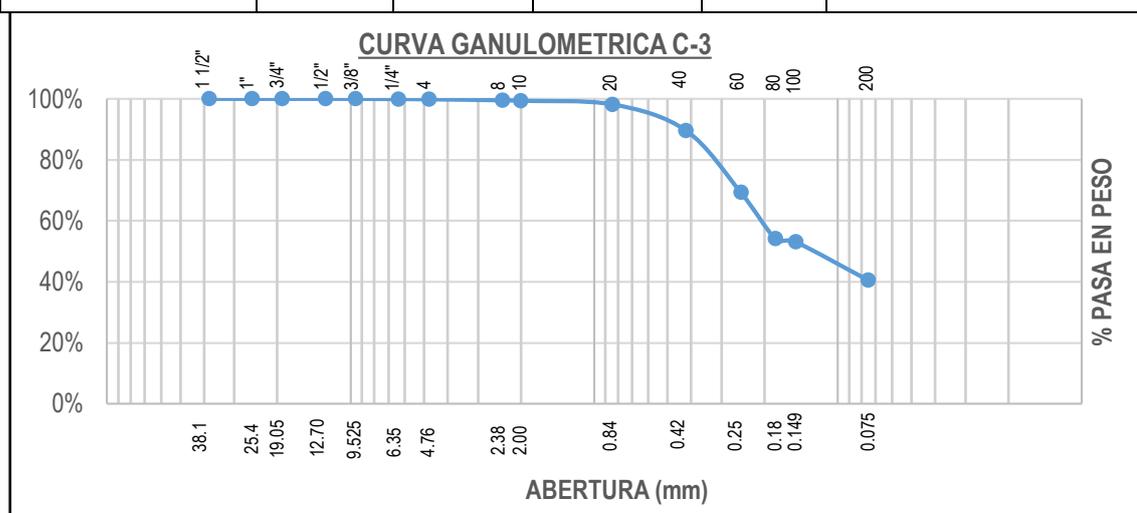


ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D421)

Datos de la Muestra:

Localidad: C.P. Jayllihuaya Calicata: C-3
 Fecha de ensayo: 13/05/2019 Estrato: E-2
 Profundidad (m): 0.85- 1.55

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
1 1/2"	38.1	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Peso Inicial (gr): 1,636.66
1"	25.4	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Límites de Consistencia
3/4"	19.05	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	L. Líquido: 26.22%
1/2"	12.7	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	L. Plástico: 18.88%
3/8"	9.525	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	I. Plástico: 7.34%
1/4"	6.35	1.32	0.08%	0.08%	99.92%	
Nro 4	4.76	1.21	0.07%	0.15%	99.85%	Clasificación de Suelos
Nro 8	2.38	5.17	0.32%	0.47%	99.53%	AASHTO: A-4(1)
Nro 10	2	2.87	0.18%	0.65%	99.35%	SUCS: SC
Nro 20	0.84	19.37	1.18%	1.83%	98.17%	
Nro 40	0.42	140.05	8.56%	10.39%	89.61%	% de Grava: 0.15%
Nro 60	0.25	332.89	20.34%	30.73%	69.27%	% de Arena: 59.28%
Nro 80	0.18	248.44	15.18%	45.91%	54.09%	% Pasa N° 200: 40.56%
Nro 100	0.149	16.02	0.98%	46.88%	53.12%	
Nro 200	0.075	205.43	12.55%	59.44%	40.56%	Observaciones:
BASE		663.89	40.56%	100.00%	0.00%	



LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D 4318)

Datos de la Muestra:

Localidad: C.P. Jayllihuaya Calicata: C-3
 Fecha de ensayo: 20/05/2019 Estrato: E-2
 Profundidad (m): 0.85- 1.55

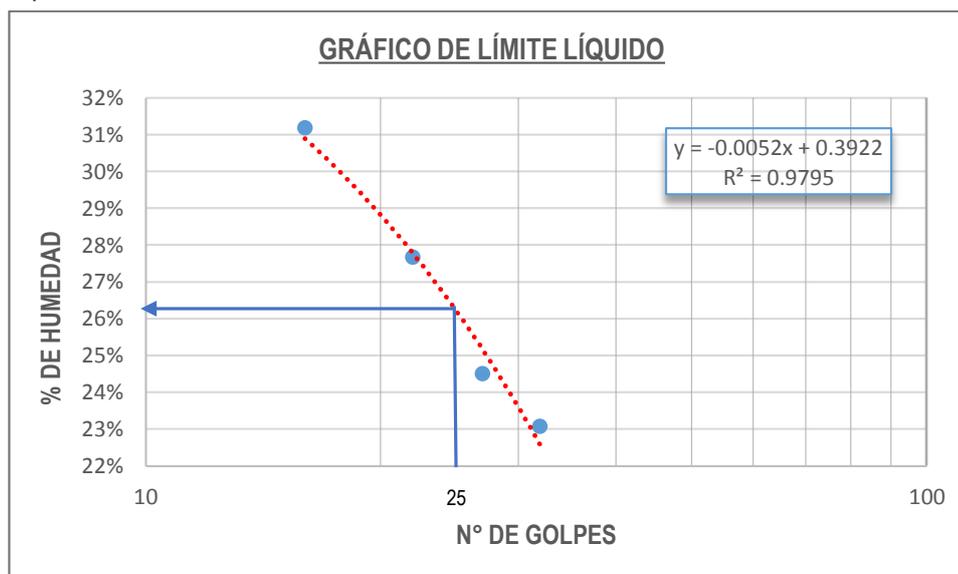
LÍMITE LÍQUIDO

N° de Tara	I-1	S-84	B-3	A-3
Peso de Tara (gr.)	17.21	13.72	13.02	13.43
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	54.34	47.11	43.07	43.01
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	47.38	40.54	36.56	35.98
Peso de Agua (gr.)	6.96	6.57	6.51	7.03
Peso de Muestra Seca (gr.)	30.17	26.82	23.54	22.55
Contenido de Humedad (W%)	23.07%	24.50%	27.66%	31.18%
Número de Golpes	32.00	27.00	22.00	16.00

LÍMITE PLÁSTICO

N° de Tara	M-34	M-77
Peso de Tara (gr.)	17.19	15.14
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	23.58	23.39
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	22.55	22.10
Peso de Agua (gr.)	1.03	1.29
Peso de Muestra Seca (gr.)	5.36	6.96
Contenido de Humedad (W%)	19.22%	18.53%
Promedio de Humedad (W%)	18.88%	

Limite Líquido: 26.22% Limite Plástico: 18.88% Índice Plástico: 7.34%



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (NTP 339.141 - ASTM D 1557)

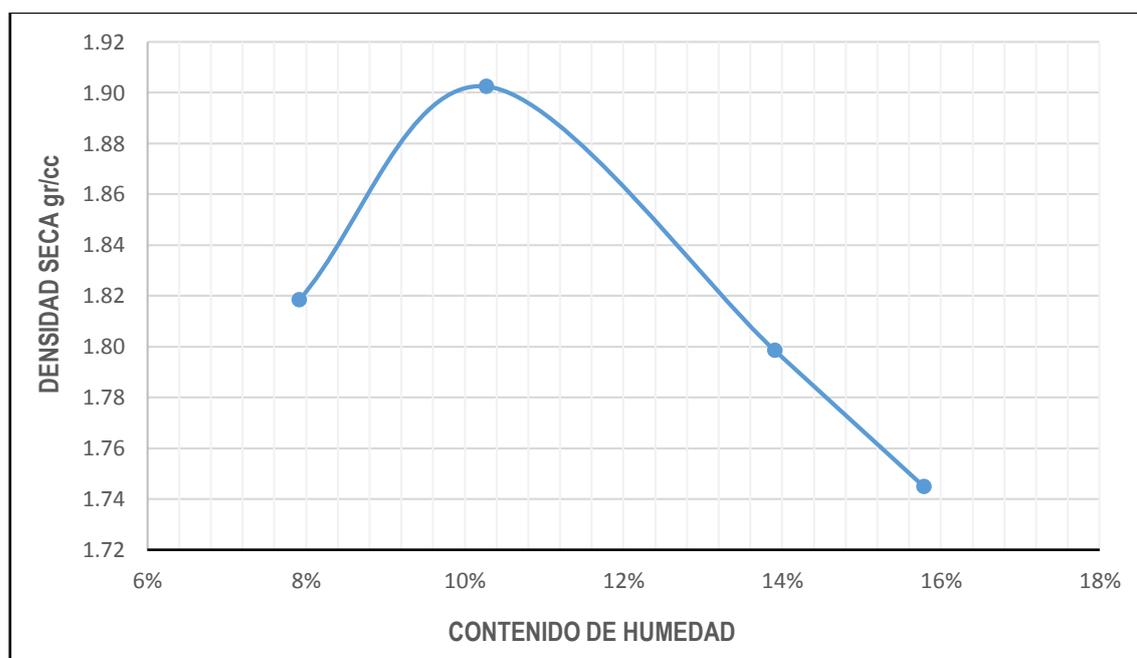
Tesista: Pari Mamani, Jenrry Calicata: C-3
 Ubicación: C.P. Jayllihuaya Estrato: E-2
 Fecha de ensayo: 24/05/2019 Profundidad (m): 0.80 -1.55

Molde N°	1
N° de Capas	5
Método	C

Volumen Molde V(cm ³)	2156
Golpes por Capa	56

Puntos	Und.	1	2	3	4
A. Peso del Molde	gr.	6,189.00	6,189.00	6,189.00	6,189.00
B. Peso suelo húmedo + molde	gr.	10,420.00	10,712.00	10,606.00	10,545.00
C. Peso de suelo húmedo; B-A	gr.	4,231.00	4,523.00	4,417.00	4,356.00
D. Densidad de suelo húmedo; C/V	gr/cm ³	1.96	2.10	2.05	2.02

Tara	N°	1	2	3	4	5	6	7	8
E. Peso de Tara	gr.	37.34	28.06	28.84	26.13	27.99	25.92	36.57	28.25
F. Peso de Tara + Suelo Húmedo	gr.	178.46	137.31	144.44	150.57	154.56	119.63	162.30	150.19
G. Peso de Tara + Suelo Seco	gr.	168.10	129.30	133.55	139.10	139.12	108.18	145.24	133.48
H. Peso de Agua; F-G	gr.	10.36	8.01	10.89	11.47	15.44	11.45	17.06	16.71
I. Peso de Suelo Seco; G-E	gr.	130.76	101.24	104.71	112.97	111.13	82.26	108.67	105.23
J. Contenido de Humedad; H/I	%	7.92%	7.91%	10.40%	10.15%	13.89%	13.92%	15.70%	15.88%
K. Promedio de Humedad	%	7.92%		10.28%		13.91%		15.79%	
L. Densidad Suelo Seco; D/(1+K)	gr/cm ³	1.82		1.90		1.80		1.74	
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)							1.902		
Humedad Optima (W%)							10.28%		



ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) - ASTM D 1883

Tesista: PARI MAMANI, JENRRY Calicata: C-3
 Ubicación: C. P. Jayllihuaya Estrato: E-2
 Fecha de ensayo: 10 de Junio del 2019 Profundidad (m): 0.85 - 1.55

Molde N°	H-2	S-3	H-3
N° de Capas	5	5	5
Golpes por Capa	12	25	56

Condiciones de la Muestra		Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado
A. Peso del Molde	gr.	7,171.00		7,936.00		7,835.00	
B. Peso suelo húmedo + molde	gr.	11,251.00		12,475.00		12,457.00	
C. Peso de suelo húmedo; B-A	gr.	4,080.00		4,539.00		4,622.00	
D. Volumen de la muestra	cm3	2,113.00		2,117.00		2,114.00	
E. Densidad de suelo húmedo; C/D	gr/cm3	1.931		2.144		2.186	

Tara	N°	8	7	1	11	2	4
F. Peso de Tara	gr.	28.25	36.57	37.34	28.22	28.06	26.13
G. Peso de Tara + Suelo Húmedo	gr.	171.32	174.45	184.22	169.86	155.93	181.35
H. Peso de Tara + Suelo Seco	gr.	158.02	161.22	170.21	156.43	143.87	167.01
I. Peso de Agua; G-H	gr.	13.30	13.23	14.01	13.43	12.06	14.34
J. Peso de Suelo Seco; H-F	gr.	129.77	124.65	132.87	128.21	115.81	140.88
K. Contenido de Humedad; I/J	%	10.25	10.61	10.54	10.48	10.41	10.18
L. Promedio de Humedad	%	10.43%		10.51%		10.30%	
M. Densidad de Suelo Seco; E/(1+L)	gr/cm3	1.749		1.940		1.982	

EXPANSIÓN

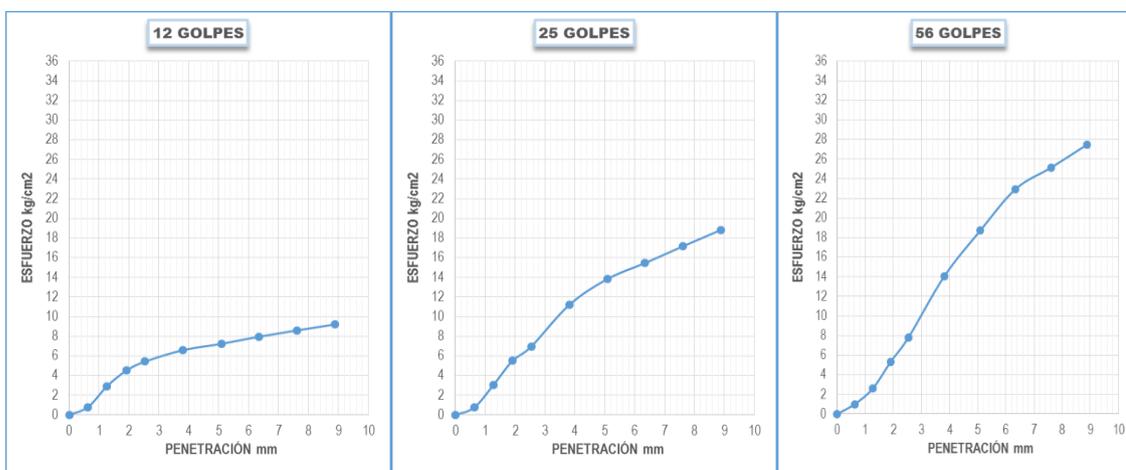
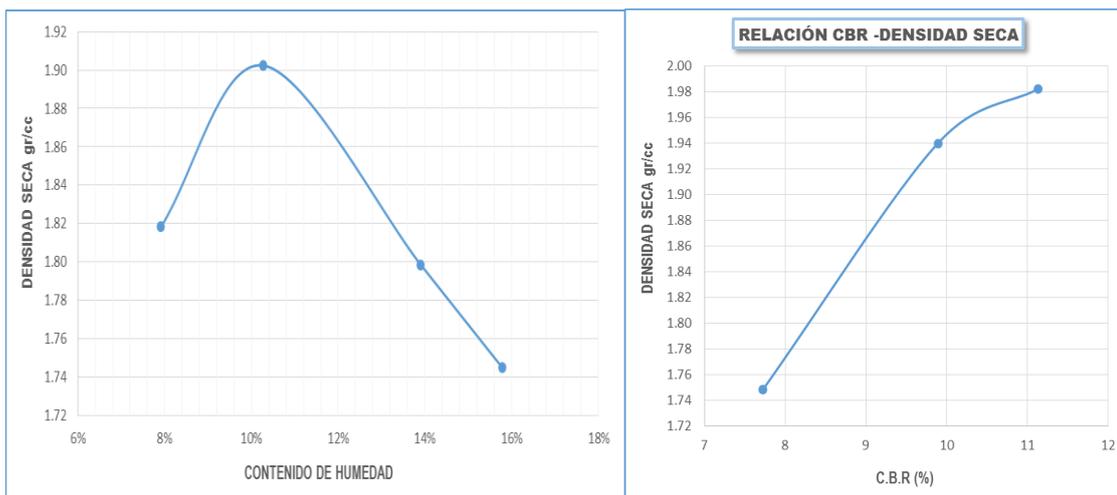
Fecha	Hora	Tiempo(h)	Dial	EXP.		Dial	EXP.		Dial	EXP.	
				mm	%		mm	%		mm	%
10/06/2019	12:40	0	15.432	0	0.00	18.370	0	0.00	12.130	0	0.000
14/06/2019	09:15	24.5	16.740	1.31	1.03	19.590	1.22	0.96	12.680	0.6	0.433

PENETRACIÓN

Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Est.	Molde H-2				Molde S-3				Molde H-3			
			Dial (KN)	Kg	Kg/cm ²	Corr	Dial (KN)	Kg	Kg/cm ²	Cor.	Dial (KN)	Kg	Kg/cm ²	Cor.
0.00	0		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		0.16	16.32	0.80		0.15	15.30	0.75		0.20	20.80	1.03	
1.27	01:00		0.58	59.55	2.94		0.60	61.49	3.03		0.52	53.02	2.62	
1.91	01:30		0.90	91.37	4.51		1.10	111.66	5.51		1.06	108.50	5.35	
2.54	02:00	70.31	1.08	110.13	5.43	7.7	1.38	141.02	6.96	9.9	1.56	158.67	7.83	11.1
3.81	03:00		1.31	133.78	6.60		2.23	226.99	11.20		2.79	284.70	14.05	
5.09	04:00	105.45	1.44	146.84	7.24	6.8	2.75	280.52	13.84	13.1	3.72	379.33	18.71	17.7
6.35	05:00		1.58	161.52	7.97		3.08	313.56	15.47		4.56	465.39	22.96	
7.62	06:00		1.71	174.57	8.61		3.41	348.13	17.17		5.00	509.85	25.15	
8.89	07:00		1.83	186.81	9.22		3.74	381.78	18.83		5.46	557.16	27.49	

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) - ASTM D 1883

Ubicación:	C. P. Jayllihuaya	Método de compactación:	C
Fecha:	14 de Junio del 2019	Máxima densidad seca(gr/cc):	1.902
Calicata:	C-3	Humedad óptimo (%)	10.28
Estrato:	E-2	CBR al 100% de M.D.S. (%):	11.10
Profundidad (m):	0.85 - 1.55	CBR al 95% de M.D.S. (%):	8.30



Anexo E: Ensayos suelos en laboratorio para subbase**CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 2216)**

Datos de la Muestra:

Localidad: Puno- Puno Cantera: Mí Perú
 Fecha de ensayo: 28/05/2019 Material: Granular

N° de Tara	1	2	3
Peso de Tara (gr.)	37.34	28.09	28.86
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	183.30	172.61	174.00
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	166.97	155.72	157.00
Peso de Agua (gr.)	16.33	16.89	17.00
Peso de Muestra Seca (gr.)	129.63	127.63	128.14
Contenido de Humedad (W%)	12.60%	13.23%	13.27%
Promedio Cont. Humedad (W%)	13.03%		

Datos de la Muestra:

Localidad: Laraqueri - Puno Cantera: Rio Cutimbo
 Fecha de muestreo: 28/05/2019 Material: Hormigón

N° de Tara	4	5	6
Peso de Tara (gr.)	26.13	27.99	25.92
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	145.56	157.80	163.12
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	141.13	152.02	158.15
Peso de Agua (gr.)	4.43	5.78	4.97
Peso de Muestra Seca (gr.)	115.00	124.03	132.23
Contenido de Humedad (W%)	3.85%	4.66%	3.76%
Promedio Cont. Humedad (W%)	4.09%		

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D421)

Datos de la Muestra:

Localidad: Puno- Puno

Cantera:

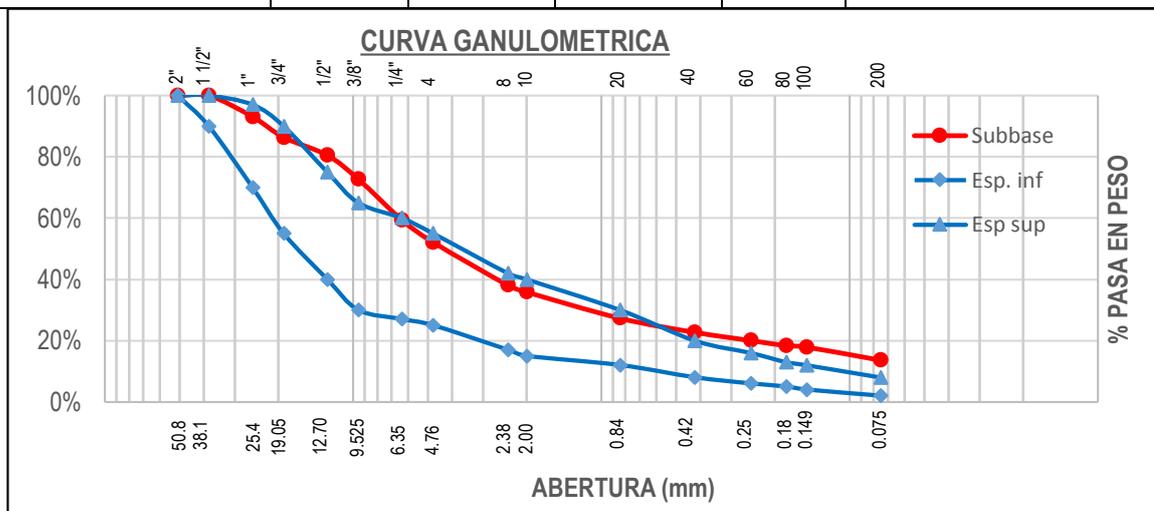
Mí Perú

Fecha de ensayo: 31/05/2019

Material:

Granular

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
2"	50.8	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Peso Inicial (gr):	2,031.11
1 1/2"	38.1	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Límites de Consistencia	
1"	25.4	140.60	6.92%	6.92%	93.08%	L. Líquido:	25.47%
3/4"	19.05	136.38	6.71%	13.64%	86.36%	L. Plástico:	18.58%
1/2"	12.7	118.72	5.84%	19.48%	80.52%	I. Plástico:	6.89%
3/8"	9.525	158.69	7.81%	27.29%	72.71%	Clasificación de Suelos	
1/4"	6.35	270.85	13.34%	40.63%	59.37%	AASHTO: A-2-4 (0)	
Nro 4	4.76	146.52	7.21%	47.84%	52.16%	SUCS: SM	
Nro 8	2.38	284.64	14.01%	61.86%	38.14%		
Nro 10	2	45.08	2.22%	64.08%	35.92%		
Nro 20	0.84	173.97	8.57%	72.64%	27.36%	% de Grava:	47.84%
Nro 40	0.42	93.10	4.58%	77.23%	22.77%	% de Arena:	38.48%
Nro 60	0.25	54.32	2.67%	79.90%	20.10%	% Pasa N° 200:	13.68%
Nro 80	0.18	33.76	1.66%	81.56%	18.44%		
Nro 100	0.149	9.51	0.47%	82.03%	17.97%	Observaciones:	
Nro 200	0.075	87.06	4.29%	86.32%	13.68%	Fecha muestreo	26/05/2019
BASE		277.91	13.68%	100.00%	0.00%		



LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D 4318)

Datos de la Muestra:

Localidad: Puno- Puno
 Fecha de ensayo: 29/05/2019

Cantera:
 Material:

Mí Perú
 Granular

LÍMITE LÍQUIDO

N° de Tara	13	14	15	16
Peso de Tara (gr.)	30.67	31.21	30.48	29.63
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	67.98	68.08	67.42	65.44
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	60.60	60.69	59.91	58.02
Peso de Agua (gr.)	7.38	7.39	7.51	7.42
Peso de Muestra Seca (gr.)	29.93	29.48	29.43	28.39
Contenido de Humedad (W%)	24.66%	25.07%	25.52%	26.14%
Número de Golpes	32.00	28.00	23.00	18.00

LÍMITE PLÁSTICO

N° de Tara	17	1
Peso de Tara (gr.)	25.91	37.40
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	32.05	44.79
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	31.09	43.63
Peso de Agua (gr.)	0.96	1.16
Peso de Muestra Seca (gr.)	5.18	6.23
Contenido de Humedad (W%)	18.53%	18.62%
Promedio Cont. Humedad (W%)	18.58%	

Límite Líquido: 25.47%

Límite Plástico: 18.58%

Índice Plástico:

6.89%



ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D421)

Datos de la Muestra:

Localidad: Laraqueri -Puno

Cantera:

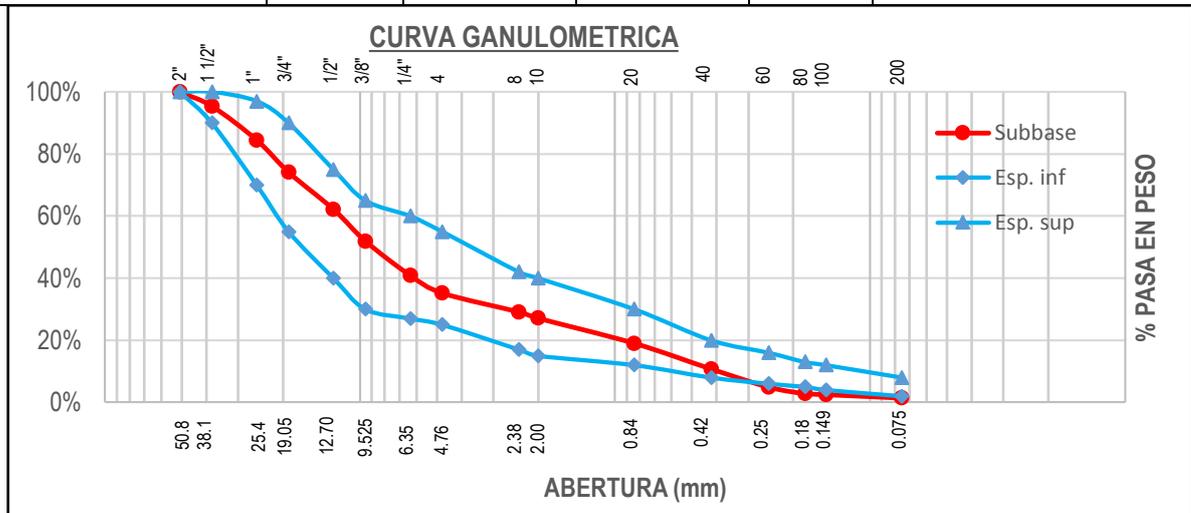
Rio Cutimbo

Fecha de ensayo: 31/05/2019

Material:

Hormigón

TAMIZ ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2"	50.8	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Peso Inicial (gr): 3,003.41
1 1/2"	38.1	137.23	4.57%	4.57%	95.43%	Límites de Consistencia
1"	25.4	329.07	10.96%	15.53%	84.47%	L. Líquido: NP.
3/4"	19.05	311.55	10.37%	25.90%	74.10%	L. Plástico: NP.
1/2"	12.7	358.66	11.94%	37.84%	62.16%	I. Plástico: NP.
3/8"	9.525	307.58	10.24%	48.08%	51.92%	
1/4"	6.35	332.78	11.08%	59.16%	40.84%	Clasificación de Suelos
Nro 4	4.76	169.48	5.64%	64.80%	35.20%	AASHTO: A-1a (0)
Nro 8	2.38	183.59	6.11%	70.92%	29.08%	SUCS: GW
Nro 10	2	60.60	2.02%	72.94%	27.06%	
Nro 20	0.84	242.82	8.08%	81.02%	18.98%	% de Grava: 64.80%
Nro 40	0.42	248.26	8.27%	89.29%	10.71%	% de Arena: 33.85%
Nro 60	0.25	175.33	5.84%	95.12%	4.88%	% Pasa N° 200: 1.35%
Nro 80	0.18	62.77	2.09%	97.21%	2.79%	
Nro 100	0.149	9.98	0.33%	97.55%	2.45%	Observaciones: fecha de muestreo: 20/12/2018
Nro 200	0.075	33.31	1.11%	98.65%	1.35%	
BASE		40.40	1.35%	100.00%	0.00%	



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D421)

Datos de la Muestra:

Localidad: Pichacani - Puno

Cantera:

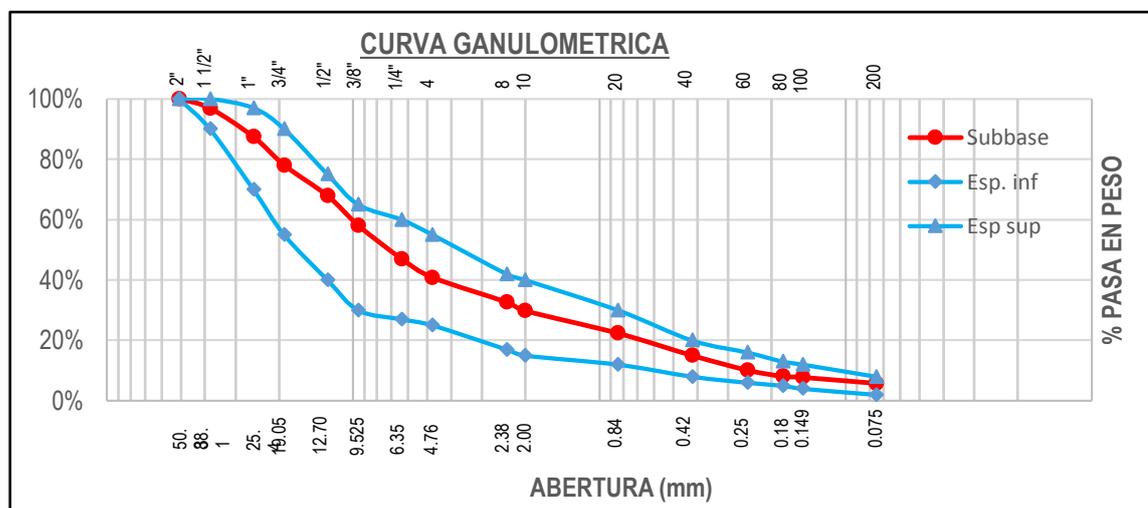
Mezcla de Suelos

Fecha de ensayo: 31/05/2019

Material:

Granular - Hormigón

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2"	50.8	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	Peso Inicial (gr): 3,000.68
1 1/2"	38.1	95.64	3.19%	3.19%	96.81%	Límites de Consistencia
1"	25.4	284.13	9.47%	12.66%	87.34%	L. Líquido: 23.81%
3/4"	19.05	282.02	9.40%	22.05%	77.95%	L. Plástico: 20.32%
1/2"	12.7	304.27	10.14%	32.19%	67.81%	I. Plástico: 3.49%
3/8"	9.525	294.68	9.82%	42.02%	57.98%	
1/4"	6.35	331.94	11.06%	53.08%	46.92%	Clasificación de Suelos
Nro 4	4.76	184.02	6.13%	59.21%	40.79%	AASHTO: A-1a (0)
Nro 8	2.38	245.90	8.19%	67.40%	32.60%	SUCS: GW-GM
Nro 10	2	85.39	2.85%	70.25%	29.75%	
Nro 20	0.84	223.39	7.44%	77.69%	22.31%	% de Grava: 59.21%
Nro 40	0.42	220.99	7.36%	85.06%	14.94%	% de Arena: 35.08%
Nro 60	0.25	146.44	4.88%	89.94%	10.06%	% Pasa N° 200: 5.71%
Nro 80	0.18	60.73	2.02%	91.96%	8.04%	
Nro 100	0.149	10.22	0.34%	92.30%	7.70%	Observaciones: Mezcla de suelos (40% Cantera Mí Perú + 60% Cantera Rio Cutimbo).
Nro 200	0.075	59.53	1.98%	94.29%	5.71%	A=1200 gr B=1800 gr
BASE		171.39	5.71%	100.00%	0.00%	



LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D 4318)

Datos de la Muestra:

Localidad: Laraqueri - Puno Cantera: Mezcla de Suelos
 Fecha de ensayo: 29/05/2019 Material: Granular - Hormigón

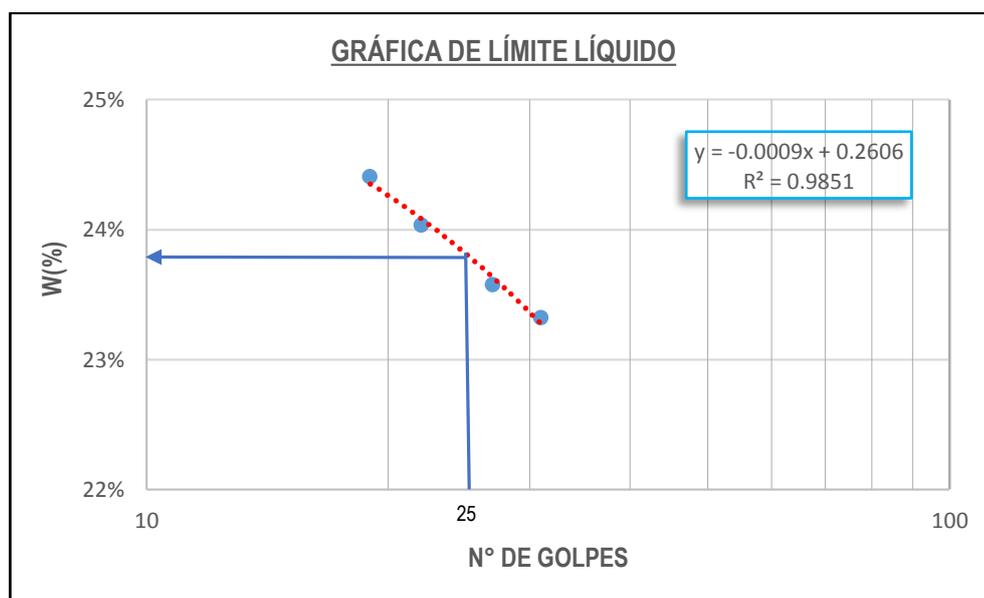
LÍMITE LÍQUIDO

N° de Tara	2	3	4	5
Peso de Tara (gr.)	28.06	28.84	26.13	27.99
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	62.75	61.65	64.37	62.04
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	56.19	55.39	56.96	55.36
Peso de Agua (gr.)	6.56	6.26	7.41	6.68
Peso de Muestra Seca (gr.)	28.13	26.55	30.83	27.37
Contenido de Humedad (W%)	23.32%	23.58%	24.04%	24.41%
Número de Golpes	31.00	27.00	22.00	19.00

LÍMITE PLÁSTICO

N° de Tara	6	7
Peso de Tara (gr.)	25.92	36.57
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	31.45	42.59
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	30.51	41.58
Peso de Agua (gr.)	0.94	1.01
Peso de Muestra Seca (gr.)	4.59	5.01
Contenido de Humedad (W%)	20.48%	20.16%
Promedio Cont. Humedad (W%)	20.32%	

Limite Líquido: 23.81% Limite Plástico: 20.32% Índice Plástico: 3.49%



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (NTP 339.141 - ASTM D 1557)

Tesista: Pari Mamani, Jenrry Muestra: Subbase
 Ubicación: C.P. Jayllihuaya Mezcla: 0.4*A +0.6*B
 Fecha de ensayo: 05/06/2019 Cantera: Mí Perú + Cutimbo

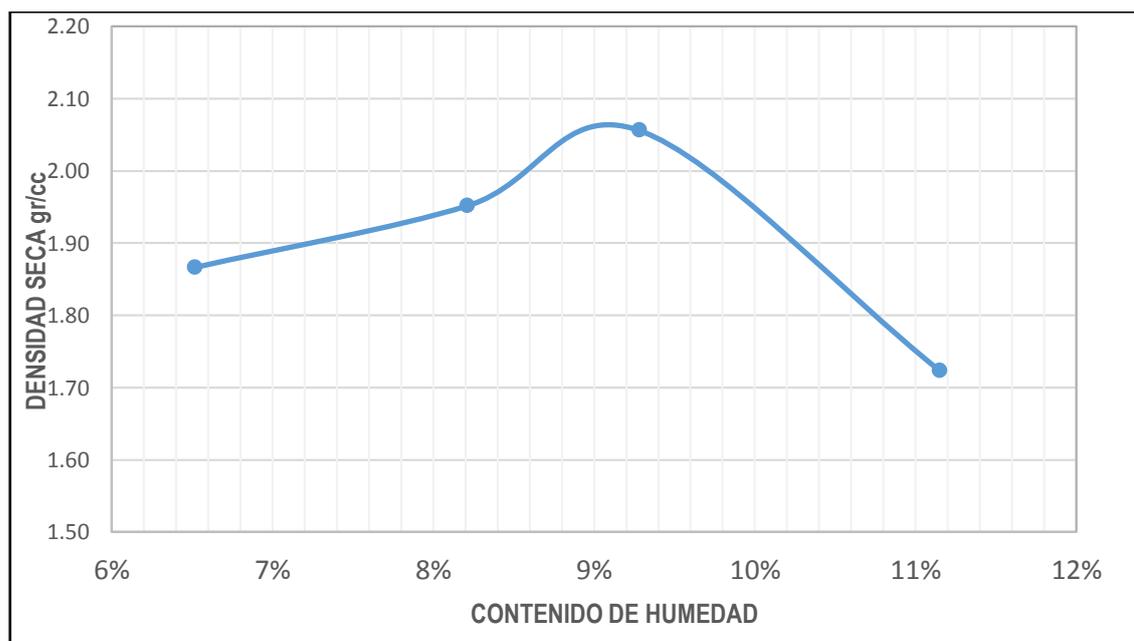
Molde N°	1
N° de Capas	5
Método	C

Volumen Molde V(cm ³)	2,153
Golpes por Capa	56

Puntos	Und.	1	2	3	4
A. Peso del Molde	gr.	6,378.00	6,378.00	6,378.00	7,378.00
B. Peso suelo húmedo + molde	gr.	10,658.00	10,925.00	11,216.00	11,502.00
C. Peso de suelo húmedo; B-A	gr.	4,280.00	4,547.00	4,838.00	4,124.00
D. Densidad suelo húmedo; C/V	gr/cm ³	1.99	2.11	2.25	1.92

Tara	N°	15	17	16	3	14	13	6	9
E. Peso de Tara	gr.	30.44	25.90	29.59	28.86	31.18	30.65	25.92	36.01
F. Peso de Tara + Suelo Húmedo	gr.	167.97	137.31	151.07	213.14	141.94	153.13	190.83	219.48
G. Peso de Tara + Suelo Seco	gr.	159.45	130.58	141.69	199.40	132.38	142.90	174.39	200.96
H. Peso de Agua; F-G	gr.	8.52	6.73	9.38	13.74	9.56	10.23	16.44	18.52
I. Peso de Suelo Seco; G-E	gr.	129.01	104.68	112.10	170.54	101.20	112.25	148.47	164.95
J. Contenido de Humedad; H/I	%	6.60%	6.43%	8.37%	8.06%	9.45%	9.11%	11.07%	11.23%
K. Promedio de Humedad	%	6.52%		8.21%		9.28%		11.15%	
L. Densidad Suelo Seco; D/(1+K)	gr/cm ³	1.910		2.038		2.099		1.598	

Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.056
Humedad Optima (W%)	9.28%



ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) - ASTM D 1883

Tesista: PARI MAMANI, JENRRY Muestra: Subbase
 Ubicación: C. P. Jayllihuaya Mezcla: 0.4*A + 0.6*B
 Fecha de ensayo: 10 de Junio del 2019 Cantera: Mi Perú (A)+Cutimbo (B)

Molde N°	K-3	H-1	Z-3
N° de Capas	5	5	5
Golpes por Capa	12	25	56

Condiciones de la Muestra		Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado	Sin Saturar	Saturado
A. Peso del Molde	gr.	7,788.00		6,433.00		6,805.00	
B. Peso suelo húmedo + molde	gr.	12,335.00		11,110.00		11,671.00	
C. Peso de suelo húmedo; B-A	gr.	4,547.00		4,677.00		4,866.00	
D. Volumen de la muestra	cm3	2,257.00		2,271.00		2,227.00	
E. D. suelo húmedo; C/D	gr/cm3	2.015		2.059		2.185	

Tara	N°	3	5	6	10	9	12
F. Peso de Tara	gr.	28.84	27.99	25.92	35.62	36.01	34.24
G. Peso de Tara + Suelo Húmedo	gr.	304.73	281.45	288.13	172.63	307.99	234.05
H. Peso de Tara + Suelo Seco	gr.	282.44	258.69	265.89	160.80	284.86	217.32
I. Peso de Agua; G-H	gr.	22.29	22.76	22.24	11.83	23.13	16.73
J. Peso de Suelo Seco; H-F	gr.	253.60	230.70	239.97	125.18	248.85	183.08
K. Contenido de Humedad; I/J	%	8.79	9.87	9.27	9.45	9.29	9.14
L. Promedio de Humedad	%	9.33%		9.36%		9.22%	
M. Densidad de Suelo Seco; E/(1+L)	gr/cm3	1.843		1.883		2.001	

EXPANSIÓN

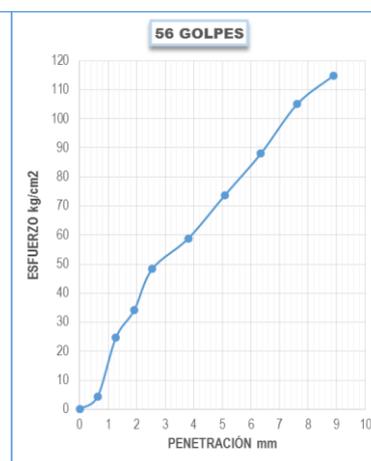
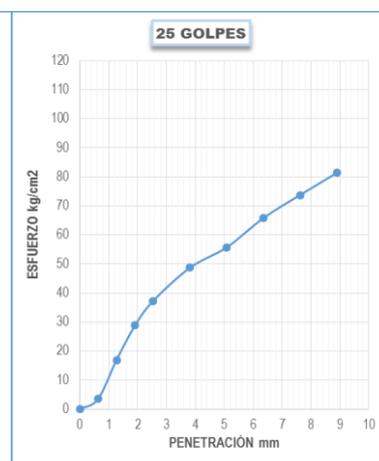
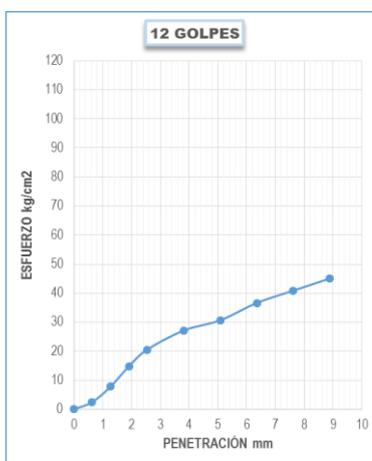
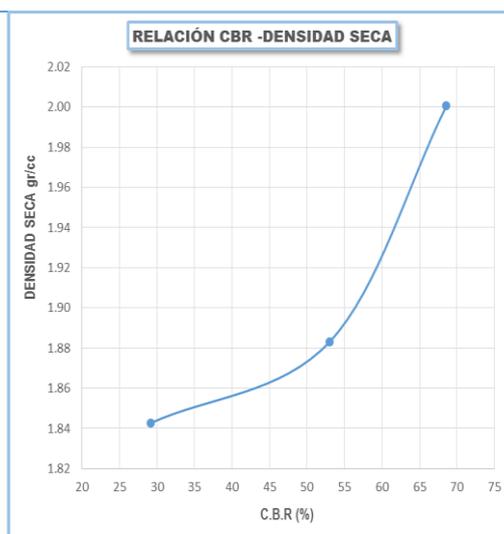
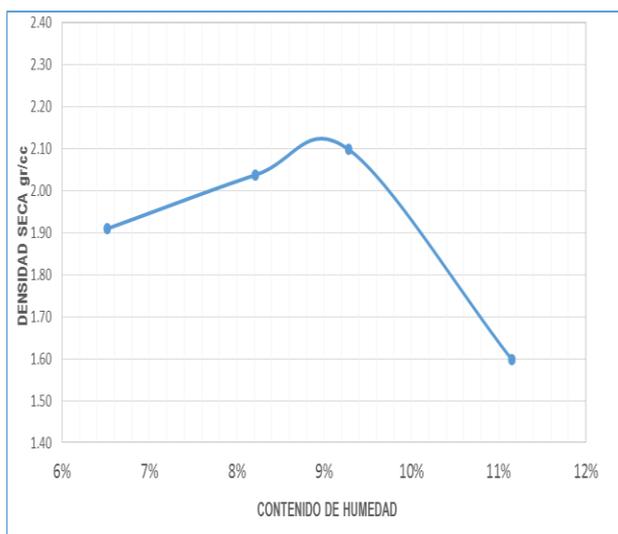
Fecha	Hora	Tiempo(h)	Dial	EXP.		Dial	EXP.		Dial	EXP.	
				mm	%		mm	%		mm	%
10/06/2019	13:00	0	11.152	0	0.00	13.395	0	0.000	7.475	0	0.00
14/06/2019	13:30	96.5	11.176	0.03	0.02	13.530	0.14	0.106	7.490	0.02	0.01

PENETRACIÓN

Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Est.	Molde K-3				Molde H-1				Molde Z-3			
			Dial (KN)	Kg	Kg/c m2	Cor.	Dial (KN)	Kg	Kg/ cm2	Cor.	Dial (KN)	Kg	Kg/c m2	Cor.
0.00	0		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	
0.63	00:30		0.49	49.97	2.46		0.70	71.38	3.52		0.87	88.22	4.35	
1.27	01:00		1.55	158.05	7.80		3.37	343.33	16.9		4.89	498.94	24.6	
1.91	01:30		2.95	300.81	14.8		5.73	584.59	28.8		6.77	690.38	34.1	
2.54	02:00	70.31	4.08	416.04	20.5	29.2	7.41	755.90	37.3	53.04	9.59	977.75	48.2	68.6
3.81	03:00		5.39	549.62	27.1		9.68	987.17	48.7		11.70	1,192.7	58.8	
5.09	04:00	105.45	6.10	622.02	30.7	29.1	11.08	1,130	55.7	52.86	14.65	1,494.3	73.7	69.9
6.35	05:00		7.28	742.34	36.6		13.08	1,333	65.8		17.50	1,784.6	88.0	
7.62	06:00		8.12	828.00	40.8		14.66	1,495	73.7		20.88	2,129.1	105	
8.89	06:00		8.96	913.65	45.1		16.17	1,649	81.3		22.84	2,328.9	115	

ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR) - ASTM D 1883

Ubicación:	C. P. Jayllihuaya	Método de compactación:	C
Fecha ensayo:	14 de Junio del 2019	Máxima densidad seca(gr/cc):	2.056
Muestra:	Subbase	Humedad óptimo (%)	9.28
Mezcla:	0.4*A + 0.6*B	CBR al 100% de M.D.S. (%):	68.61
Cantera:	Mi Perú (A)+Cutimbo (B)	CBR al 95% de M.D.S. (%):	60.00



ENSAYO ABRASIÓN LOS ANGELES MTC E 207

Fecha de ensayo: 19/06/2019
 Muestra: Mezcla de Suelos (40% Mi Perú + 60% Rio Cutimbo)

TAMICES ASTM		Gradación "E"	Gradación "A"
PASANTE	RETENIDO	1000 Revoluciones	500 Revoluciones
1 1/2"	1"		1,250.02
1"	3/4"		1,250.04
3/4"	1/2"		1,250.01
1/2"	3/8"		1,250.00
Peso Inicial (gr.)			5,000.07
Retenido en la Malla N° 12 (gr.)			3,145.80
Pasante Malla N° 12 (gr.)			1,854.27
% de Pérdida			37.08
N° de Esferas			12
Resistencia al Desgaste (%)			62.92
Porcentaje de Pérdida (%)			37.08



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ROCAS Y ASFALTOS
CONSULTORES G&O R.S.L. - RUC 20600871774
 Centr. Com. Brisas del Ingo Mz. B-19 Puno - FRENTE A PLAZA VEA
 TEL. CEL. 990443801 - email: anik_glaty@hotmail.com

EQUIVALENTE DE ARENA

MTC E-114	
PROYECTO	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LOSA CON GEOMETRÍA OPTIMIZADA EN DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO EN EL CENTRO POBLADO DE JAYLLIHUAYA - PUNO.
LUGAR	CENTRO POBLADO DE JAYLLIHUAYA.
SOLICITANTE	PARI MAMANI JENRRY - DNI: 42498010
LOCALIZACION	DIST. PUNO - PROV. PUNO - PUNO
MEZCLA	: CANTERA MI PERU 40.00 % - CANTERA (RIO PICHACANI CUTIMBO) 60.00 %
MATERIAL	: SUB BASE
ENCARGADO	: Ing. G. Q. H.
FECHA	: MAYO DEL 2018

MUESTRA N°	1	2	3	4
A HORA ENTRADA A SATURACION	15:30:00 p.m.	15:38:00 p.m.	15:45:00 p.m.	15:52:00 p.m.
2 SALIDA SATURACION: (A + 10')	15:40:00 p.m.	15:48:00 p.m.	15:55:00 p.m.	16:02:00 p.m.
B HORA ENTRADA A DECANTACION	15:42:00 p.m.	15:50:00 p.m.	15:57:00 p.m.	16:04:00 p.m.
4 SALIDA DECANTACION (B + 20')	16:02:00 p.m.	16:10:00 p.m.	16:17:00 p.m.	16:24:00 p.m.
5 ALTURA MATERIAL FINO (pulg.)	13.2	13.0	11.9	12.7
6 ALTURA ARENA (pulg.)	6.9	6.8	6.9	6.9
7 EQUIV. ARENA (6/5 x 100) (%)	52.0	52.7	58.2	54.2
8 PROMEDIO DE EQUIV. ARENA (%)	54.3			

Glaty Quique Huamani
 INGENIERO GEOLÓGICO
 Reg. CIP: 115524



CONSTANCIA DE USO DE EQUIPOS DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FICA

Hace constar:

Que el tesista, Bach: **JENRRY PARI MAMANI**, hizo uso de los equipos del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales - FICA, para realizar los ensayos requeridos para su proyecto de Tesis: **"APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LOSA CON GEOMETRÍA OPTIMIZADA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO EN EL CENTRO POBLADO DE JAYLLIHUAYA-PUNO"**. Conducente a la obtención del Título profesional de Ingeniero Civil.

Los ensayos que realizaron son los siguientes.

Nº	ENSAYOS	NORMA	CANTIDAD	U.M.
1	Contenido de Humedad	ASTM D-2216	05	Und.
2	Análisis Granulométrico Por Lavado	ASTM D-421	06	Und.
3	Limites de Consistencia	ASTM D-4318	04	Und.
4	Proctor Modificado	ASTM D-1557	04	Und.
5	C.B.R.	ASTM D-1883	04	Und.
6	Ensayo de Abrasión en Agregado Menos de 1½"	ASTM C-131	01	Und.

Los resultados obtenidos, de los ensayos, no son responsabilidad del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita del interesado, para adjuntar en su proyecto de Tesis.



FICA - PUNO
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES
[Handwritten Signature]
Ing. Mariano Roberto García Loayza
JEFE DE LABORATORIO

Puno, C. U. 05 de julio de 2019.

Anexo F: Diseño de Mezclas – Concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

1.-Propiedades de los agregados

1.1.-Estudio y ubicación de la cantera de los agregados: El agregado utilizado para el diseño de mezclas es extraída de la cantera del Rio Cutimbo, se optó por esta cantera debido a la ubicación del área de estudio, accesibilidad y material de buena calidad.

1.2.- Características de la cantera Cutimbo

Ubicación: Desvío Puente Cutimbo Salida a Moquegua.

Acceso: Lado izquierdo del eje a 30m.

Propietario; Municipalidad Distrital de Pichacani

Material: Arena y grava de río (hormigón)

Profundidad: 4 m aproximadamente

Área Aproximada: 15000 m².

Potencia Bruta: (Área Aproximada x Profundidad) 60000 m³.

Over: 1800 m³.

Potencia Efectiva: (Potencia Bruta – Over – Desbroce) 57450 m³

Tabla F.1: Ubicación de la Cantera Cutimbo

Coordenadas UTM: Zona 19 South				
Nro	Cantera	Norte	Este	Altura
1	Cutimbo	8,227,390.00	395,660.00	3,907.00

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

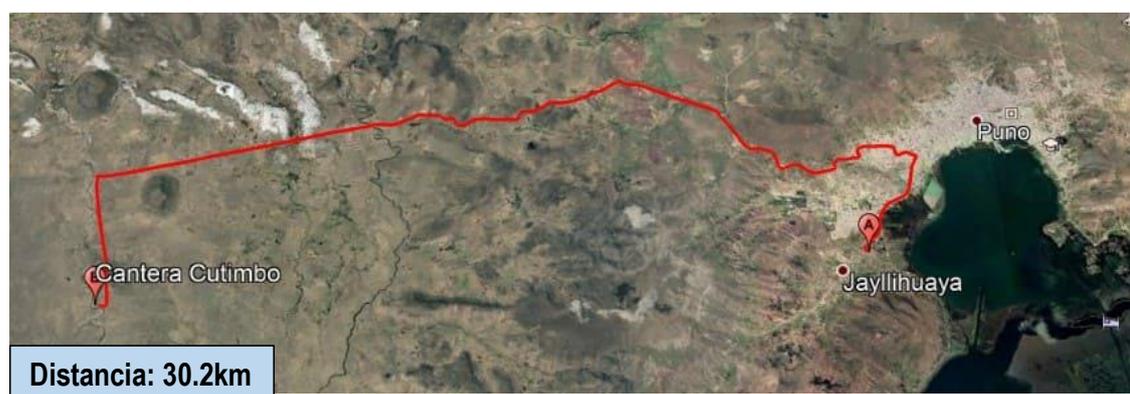


Figura F.1: Acceso a la Cantera Cutimbo (A: Localización del Proyecto; B: Cantera Cutimbo)
Fuente: Google Eart Pro

2.- ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS

2.1.- Contenido de Humedad: Se realizó según la norma técnica MTC E 108 manuales de ensayo de materiales, el cual hace referencia a la norma ASTM D2216.

Equipo y materiales

- Balanza con precisión a 0.1%, Taras y Horno a 105 +/- 5°C

Descripción del procedimiento

- Se realizó la separación del agregado fino y grueso mediante el tamiz N° 4. Y Se cuartea el agregado fino y grueso para tomar una muestra representativa de cada una de ellas.
- Se registra el peso de las taras y la identificación de la misma, luego se pesa la muestra con contenido de humedad natural en tres taras para agregado fino y grueso e inicia el proceso de secado artificial en un horno por 24 horas a una temperatura de 105 +/- 5°C.
- Para el cálculo del contenido de humedad natural se utiliza la siguiente relación.

$$W(\%) = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso seco del suelo}} * 100$$



Figura F.2: muestras para w (%) del agregado fino y grueso

Cálculos

Tabla F.2: Contenido de Humedad Agregado Fino

Nro de Tara	B-4	B-12	A-13
Peso de Tara (gr.)	28.02	31.00	31.31
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	140.76	169.14	187.67
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	138.07	165.83	183.78
Peso de Agua (gr.)	2.69	3.31	3.89
Peso de Muestra Seca (gr.)	110.05	134.83	152.47
Contenido de Humedad (W%)	2.44%	2.45%	2.55%
Promedio Cont. De Humedad (W%)	2.48%		

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Tabla F.3: Contenido de humedad Agregado Grueso

N° de Tara	B-10	B-11	RM-1
Peso de Tara (gr.)	27.15	32.26	91.09
Peso de Tara + Muestra Húmeda (gr.)	497.64	450.19	709.55
Peso de Tara + Muestra Seca (gr.)	489.09	444.85	701.30
Peso de Agua (gr.)	8.55	5.34	8.25
Peso de Muestra Seca (gr.)	461.94	412.59	610.21
Contenido de Humedad (W%)	1.85%	1.29%	1.35%
Promedio Cont. De Humedad (W%)	1.50%		

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

2.2.- PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS

El objetivo es determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino. El ensayo se realizó de acuerdo a las especificaciones de la norma MTC E-205 el cual está basado en la en la norma ASTM C-128.

Equipos y Materiales

- Balanza, con sensibilidad de 0,1 g.
- Estufa, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Frasco volumétrico de 500 cm³ de capacidad, calibrado hasta 0,1 cm³ a 20 °C.
- Molde cónico, metálico de 40 ± 3 mm de diámetro interior en su base menor, 90 ± 3 mm de diámetro interior en una base mayor y 75 ± 3 mm de altura.
- Varilla para apisonado, metálica, recta, con un peso de 340 ± 15 g y terminada en un extremo en una superficie circular plana para el apisonado, de 25 ± 3 mm de diámetro.

Procedimiento

- Se selecciona una muestra de 1000gr, asegurándose que el material es pasante de la malla N° 4, en cual se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.
- Se inicia el proceso de secado superficial del agregado fino de forma uniforme suministrando calor a través de una cocina eléctrica, realizando pruebas desmoronamiento hasta obtener un material saturado superficialmente seco requerido.
- Se rellena el molde cónico con el material en estado saturado superficialmente seco y se apisona con 25 golpes utilizando la varilla, se retira el cono y se verifica el desmoronamiento deseado.

- Se toma 500gr de agregado fino y se introduce al picnómetro, se agrega agua a una temperatura de 23 °C en promedio hasta el 90% de la capacidad volumétrica, y se realiza el retiro del aire atrapado girando, invirtiendo el picnómetro y sometiéndolo a baño maría por un periodo de una hora.
- Además se determinó el peso picnómetro con material y agua al 100% de su capacidad y el peso picnómetro más agua.
- Se retira la muestra del picnómetro en un recipiente para el secado en horno por un periodo de 24 horas.

Cálculos y resultados

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(S - A)}{A}$$

Donde

S: Peso superficialmente seca (gr.)

B: Peso del picnómetro + peso del agua (gr.)

C: Peso superficialmente seca + peso de picnómetro + peso del Agua (gr.)

A: Peso seco (gr.)

Tabla F.4: Peso específico Aparente agregado fino

I. Datos		
S	Peso de la muestra de arena superficialmente seca (gr.)	500.01
B	Peso del picnómetro + Peso del agua (gr.)	706.81
C	Peso de la arena superficialmente seca + Peso del picnómetro + peso del agua (gr.)	1,020.71
A	Peso de la arena secada al horno (gr.)	483.97
II. Resultados		
1	Peso específico aparente (A/(B+S-C))	2.60
2	Porcentaje de absorción: %Abs((S-A)/A)	3.31

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

2.3.- PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS

El objetivo es determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado grueso. El ensayo se realizó de acuerdo a las especificaciones de la norma MTC E-206 el cual está basado en la en la norma ASTM C-127.

Equipos y Materiales

- Balanza, con sensibilidad de 0,1 g.

- Estufa, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Canastilla
- Recipiente de Agua

Procedimiento

- Se selecciona una muestra de 2500gr, asegurándose que el material es retenida de la malla N° 4, en cual se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.
- Se inicia el proceso de secado superficial del agregado grueso de forma uniforme mediante el uso de una franela hasta obtener un material saturado superficialmente seco.
- Se determina el peso de la canastilla sumergida
- Se rellena la muestra en la canastilla a fin de determinar el peso sumergido.
- Se retira la muestra de la canastilla en un recipiente para el secado en horno por un periodo de 24 horas.

Cálculos y resultados

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(S - C)}$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{(S - A)}{A}$$

Donde

S: Peso superficialmente seca (gr.)

C: Peso superficialmente seca sumergida (gr.)

A: Peso seco (gr.)

Tabla F.5: Peso específico aparente agregado grueso

I. Datos		
A	Peso de la muestra secada al horno (gr.)	2,017.02
S	Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	2,087.64
	Peso de la canastilla sumergida (gr.)	170.42
	Peso de la canastilla sumergida + Muestra sumergida (gr.)	1,443.81
C	Peso de la muestra saturada superficialmente seca sumergida en agua (gr.)	1,273.39
II. Resultados		
1	peso específico aparente (A/(S-C))	2.48
2	porcentaje de absorción: % Abs((S-A)/A)	3.50

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo.

2.4.- PESO UNITARIO Y VACIOS DE LOS AGREGADOS

Este ensayo permite conocer el peso unitario del agregado en su condición compactada y suelta, además de calcular los vacíos entre las partículas en una masa de agregado grueso, el tamaño del agregado tiene que estar por debajo de 5 pulgadas (125mm). El ensayo se realizó de acuerdo a MTC E 203 – 2016; el cual está basado en la norma ASTM C29.

Equipo utilizado

- Balanza
- Varilla lisa de acero de 5/8"
- Recipientes de volúmenes adecuados

Descripción del proceso

- Para el ensayo se utilizó un molde de 15 cm de Diámetro y 30 cm de alto, dado el tamaño máximo de 1".
- Para determinar el peso unitario compactado por apisonado del agregado se colocó el material en tres capas de igual volumen, de tal manera que colmen el molde; cada capa recibe un total de 25 golpes con el apisonador sin que este choque a la base o altere capas inferiores de agregado, finalmente se enrasa el molde con el mismo apisonador y se pesa el molde más agregado.
- Para determinar el peso unitario suelto del agregado, el procedimiento es similar, más en este caso no se utiliza el apisonador, solo se deja caer la muestra desde una altura no mayor a 2" desde el borde superior con una herramienta adecuada que puede ser una cuchara, se enrasa y pesa como en el caso anterior.



Figura F.3: Proceso de ensayo peso unitario de agregados

Cálculos y resultados

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M: Peso unitario del agregado (gr/cm3)

G: Peso del recipiente más agregado (gr)

T: Peso del recipiente (gr)

V: Volumen del recipiente (cm3)

Tabla F.6: Peso unitario suelto agregado fino

Molde N°		I	II	III
Peso del Molde (gr.)	A	4,780.00	4,780.00	4,780.00
Peso del Molde + Muestra (gr.)	B	13,720.00	13,690.00	13,810.00
Peso de la Muestra (gr.)	B-A	8,940.00	8,910.00	9,030.00
Volumen del Molde (cm3)	C	5,607.56	5,607.56	5,607.56
Peso Unitario (gr/cm3)	(B-A)/C	1.59	1.59	1.61
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)		1.60		
Peso Unitario Suelto (kg/m3)		1,597.84		

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Tabla F.7: Peso unitario compacto agregado fino

Molde N°		I	II	III
Peso del Molde (gr.)	A	4,780.00	4,780.00	4,780.00
Peso del Molde + Muestra (gr.)	B	14,140.00	14,165.00	14,230.00
Peso de la Muestra (gr.)	B-A	9,360.00	9,385.00	9,450.00
Volumen del Molde (cm3)	C	5,607.56	5,607.56	5,607.56
Peso Unitario (gr/cm3)	(B-A)/C	1.67	1.67	1.69
Peso Unitario Compactado (gr/cm3)		1.68		
Peso Unitario Compactado (kg/m3)		1,676.01		

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Tabla F.8: Peso unitario suelto de agregado grueso

Molde N°		I	II	III
Peso del Molde (gr.)	A	4,780.00	4,780.00	4,780.00
Peso del Molde + Muestra (gr.)	B	13,520.00	13,570.00	13,450.00
Peso de la Muestra (gr.)	B-A	8,740.00	8,790.00	8,670.00
Volumen del Molde (cm3)	C	5,607.56	5,607.56	5,607.56
Peso Unitario (gr/cm3)	(B-A)/C	1.56	1.57	1.55
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)		1.56		
Peso Unitario Suelto (kg/m3)		1,557.42		

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Tabla F.9: Peso unitario compactado de agregado grueso

Molde N°		I	II	III
Peso del Molde (gr.)	A	4,780.00	4,780.00	4,780.00
Peso del Molde + Muestra (gr.)	B	14,005.00	13,935.00	13,958.00
Peso de la Muestra (gr.)	B-A	9,225.00	9,155.00	9,178.00
Volumen del Molde (cm ³)	C	5,681.10	5,681.10	5,681.10
Peso Unitario (gr/cm ³)	(B-A)/C	1.62	1.61	1.62
Peso Unitario Compactado (gr/cm ³)		1.62		
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)		1,616.94		

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

2.5.- ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

El presente ensayo se realizó de acuerdo a la norma técnica MTC E 204 – 2016 denominada análisis granulométrico de agregados gruesos y finos, el cual está basado en la norma ASTM C136.

a.- Equipo utilizado

- Balanza con aproximación a 0.1% del peso del material ensayado.
- Tamices normalizados (1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, base y tapa)
- Horno a 105 +/- 5°C

b.- Procedimiento del ensayo

- Se separa el material por la malla N°4, el retenido será agregado grueso y pasante agregado fino.
- Una vez obtenido el material seco y libre de impurezas se vierte en el juego de tamices y se comienza el proceso con ligeros golpes y girando el conjunto hasta obtener peso constante en cada tamiz.
- Para el agregado grueso, por ser mayor la cantidad, el total de la muestra se pasará por cada tamiz.
- Cada cantidad retenida de agregado se pesa, incluyendo lo que queda en la base; además se deberá pesar el total del material antes de comenzar la operación y compararla con la suma de los retenidos en las mallas, que como se explicó, esta diferencia no deberá exceder el 0.3%.



Figura F.4: Tamizado del agregado grueso

Resultados

Tabla F.10: Análisis granulométrico por tamizado del agregado Fino

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
Nro 4	4.76	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
Nro 8	2.38	526.89	17.78%	17.78%	82.22%
Nro 16	1.19	899.35	30.35%	48.14%	51.86%
Nro 30	0.59	849.29	28.66%	76.80%	23.20%
Nro 50	0.3	493.22	16.65%	93.45%	6.55%
Nro 100	0.149	131.67	4.44%	97.89%	2.11%
Nro 200	0.074	51.99	1.75%	99.65%	0.35%
BASE		10.45	0.35%	100.00%	0.00%
TOTAL		2,962.86	100.00%		

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

Tabla F.11: Análisis granulométrico por tamizado del agregado Grueso

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
1 1/2"	38.1	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.4	1,630.01	11.79%	11.79%	88.21%
3/4"	19.05	2,325.47	16.82%	28.61%	71.39%
1/2"	12.7	3,626.51	26.23%	54.85%	45.15%
3/8"	9.525	1,893.58	13.70%	68.55%	31.45%
1/4"	6.35	2,834.15	20.50%	89.05%	10.95%
Nro 4	4.76	1,513.89	10.95%	100.00%	0.00%
TOTAL		13,823.61	100.00%		

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

c.- Requisitos para la calificación del agregado grueso: El agregado redondeado de la cantera Cutimbo se encuentra en el Huso 57.

Tamaño Numero	Tamaño Nominal (Tamices con Abertura Cuadrada)	Cantidades mas finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso													
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37.5 mm (1 1/2")	25.0 mm (1")	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300µm (N° 50)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 15						
2	63 a 37.5 mm (2 1/2" a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15						
3	50 a 25.0 mm (2" a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 15					
357	50 a 4.75 mm (2" a N° 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 15			
4	37.5 a 19.0 mm (1 1/2" a 3/4")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 15				
467	37.5 a 4.75 mm (1 1/2" a N° 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 15			
5	25.0 a 12.5 mm (1" a 1/2")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 15				
56	25.0 a 9.5 mm (1" a 3/8")							100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	25.0 a 4.75 mm (1" a N° 4)								100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5
6	19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8")								100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	19.0 a 4.75 mm (3/4" a N° 4)								100	95 a 100		20 a 55	5 a 10	0 a 5	
7	12.5 a 4.75 mm (1/2" a N° 4)									100	95 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a N° 8)										90 a 100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	9.5 a 1.18 mm (3/8" a N° 16)											100	90 a 100	20 a 55	5 a 30
9	4.75 a 1.18 mm (N° 4 to N° 16)												100	85 a 100	10 a 40

Figura F.5: Huso granulométrico para agregados
Fuente: Abanto, tecnología del concreto, NTP 400.037

Tabla F.12: Calificación granulométrica para agregado grueso

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO N° 57	
						MIN. %	MAX. %
1 1/2"	38.1	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%
1"	25.4	1,630.01	11.79%	11.79%	88.21%	95.00%	100.00%
3/4"	19.05	2,325.47	16.82%	28.61%	71.39%		
1/2"	12.7	3,626.51	26.23%	54.85%	45.15%	25.00%	60.00%
3/8"	9.525	1,893.58	13.70%	68.55%	31.45%		
1/4"	6.35	2,834.15	20.50%	89.05%	10.95%		
Nro 4	4.76	1,513.89	10.95%	100.00%	0.00%	0.00%	10.00%
TOTAL		13,823.61	100.00%				

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

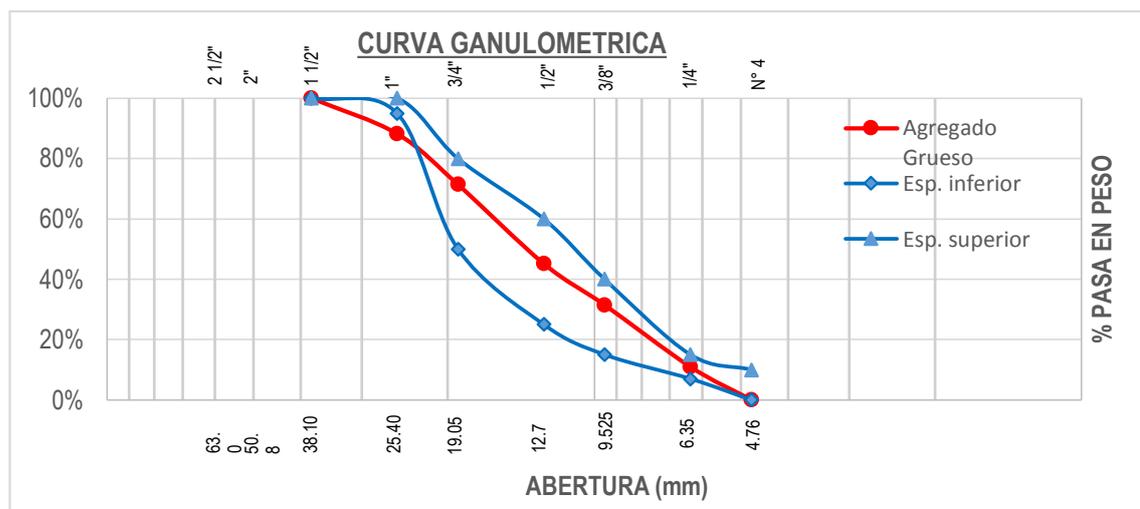


Figura F.6: Curva Granulométrica Agregado Grueso

d.- Módulo de fineza de los agregados gruesos y finos

Es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados, cuando este índice es bajo quiere decir que el agregado es fino y contrario cuando es alto, sirve para controlar la uniformidad de los mismos. (Abanto, 2018) y para el cálculo se utilizó la siguiente expresión

$$Mf = \frac{\sum(\text{porcentaje acumulados retenidos en la serie de mallas estandar})}{100}$$

Donde:

Mf: Modulo de fineza

Serie de mallas: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8" ", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100

Módulo de fineza de agregado fino: Esta expresada como la suma de porcentaje de pesos retenidos acumulados en la malla, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100, dividida entre 100.

$$Mf_{AF} = \frac{(17.78 + 48.14 + 76.80 + 93.45 + 97.89)}{100} = 3.34$$

Módulo de fineza de agregado grueso: Esta expresada como la suma de porcentaje de pesos retenidos acumulados en la malla, 3/4", 3/8" ", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, dividida entre 100.

$$Mf_{AG} = \frac{(28.61 + 68.55 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100)}{100} = 6.90$$

2.6.- DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Las proporciones de la mezcla de concreto, deben ser seleccionadas para proporcionar la trabajabilidad, resistencia y durabilidad necesarias para el trabajo específico que se está realizando. (Abanto, 2018).

2.6.1.- Materiales cementantes: para la dosificación de la mezcla se ha utilizado, Cemento Portland tipo IP (ASTM C150) marca RUMI, por ser éste de uso general para obras sin especificaciones particulares y la facilidad de adquisición en la ciudad de Puno, en bolsas de 42.5 kg.

2.6.2.- Agregados: Se utilizó los agregados fino y grueso provenientes de la cantera Cutimbo, el tamaño estándar del agregado grueso se ciñe a la gradación N° 57 (ASTM C 33). Y éstos presentan las siguientes características:

Tabla F.13: Características de los agregados

Especificación	Agregado Grueso	Agregado Fino
Tamaño Máximo	1 1/2"	N° 4
Tamaño Máximo Nominal	1"	.-
Peso Específico (gr/cm ³)	2.48	2.60
Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)	1.557	1.597
Peso Unitario Compacto (gr/cm ³)	1.616	1.676
Contenido de Humedad (%)	1.50	2.48
Absorción (%)	3.50	3.31
Módulo de Fineza	6.90	3.34

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

2.6.3.- Agua: para la elaboración del concreto se utilizó agua potable de la Urbanización Puno de la ciudad de Puno, suministrada e servicio por la empresa EMSA Puno.

2.6.4.- Diseño de mezcla $f'c=210$ kg/cm²; Por el método de módulo de fineza

a) Cálculo de la resistencia promedio: Se realiza el diseño para una resistencia de $f'c=210$ kg/cm².

Tabla F.14: Resistencia promedio

$f'c$	$f'cr$
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
sobre 350	$f'c + 98$

Fuente: Abanto, "tecnología de concreto", pag. 31

Para una resistencia de diseño de 210 kg/cm², se considera se consideró una desviación estándar de 84 kg/cm², obteniendo una resistencia promedio de 294 kg/cm².

b) Tamaño máximo nominal del agregado: El tamaño máximo nominal del agregado grueso considerado para la presente investigación es de 1", considerando para el diseño agregado pasante la malla 1 1/2".

c) Selección del asentamiento: Para la elección se toma en consideración los criterios de una mezcla plástica que garantice su trabajabilidad y para el tipo de uso del concreto, asumiendo un revenimiento en un rango de 3" a 4".

d) Volumen unitario de agua: Para la determinación del volumen unitario de agua, se ha considerado la siguiente tabla establecida por el ACI 211:

Tabla F.15: Volumen unitario de Agua

Asentamiento	Agua en l/m ³ , para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	Concretos sin aire incorporado							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	.....

Fuente: Enrique Riva López, "diseño de mezclas". pág. 78.

- Para un asentamiento de 3" a 4" y tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1", el volumen de agua requerido para un m³ de concreto fresco es 193 litros.

e) Selección del contenido de aire: no se considera la incorporación de aire en el diseño de mezcla, pero se determina el porcentaje de aire atrapado correspondiente al tamaño máximo nominal del agregado grueso, utilizando la siguiente información.

Tabla F.16: Contenido de aire atrapado

Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: Enrique Riva López, "diseño de mezclas". pág. 85.

- Para un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1", corresponde 1.5% de aire atrapado.

f) relación agua/cemento: en este paso se ha considerado, la elección de la relación agua/cemento según a las condiciones de exposición, garantizando así su durabilidad.

Tabla F.17: Relación Agua cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días f'cr (kg/cm ³)	Relación Agua-Cemento*
450	0.38
400	0.43
350	0.48
300	0.55
250	0.62
200	0.7
150	0.8

Fuente: Abanto, "Tecnología de concreto", pag. 66

- Realizando la interpolación para una resistencia promedio f'c= 294 kg/cm², se determina una relación de agua cemento a/c de 0.558.

- Sin embargo el concreto según el área de estudio estará expuesto a condiciones de congelamiento y deshielo, para lo cual se adopta a una relación a/c de 0.50.

g) Factor cemento: es la cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto es igual al agua de mezclado dividido entre la relación agua-cemento.

$$\text{Contenido de cemento } \left(\frac{kg}{m^3}\right) = \frac{\text{Agua de mezclado } \left(\frac{lt.}{m^3}\right)}{\text{Relación a/c}} = \frac{193 \text{ lt.}}{0.5} = 386 \text{ kg/m}^3$$

h) Cálculo del volumen absoluto de pasta: en esta parte se determina los volúmenes unitarios de los componentes de la pasta (cemento, agua y aire).

$$\text{Volumen unitario cemento} = \frac{\text{Factor cemento}}{\text{peso específico cemento}} = \frac{386}{1990}$$

$$\text{Volumen de aire atrapado} = \% \text{ de aire atrapado} = \frac{1.5}{100} = 0.015$$

$$\text{Volumen unitario de Agua} = \frac{\text{Agua de mezclado}}{\text{peso específico del agua}} = \frac{193}{1000} = 0.193$$

$$\text{Volumen de la pasta} = 0.337$$

i) Cálculo del volumen absoluto de agregado: es la diferencia entre el volumen unitario de concreto y volumen de la pasta.

$$\text{Volumen Abs. del agregado} = \text{vol. unit. total} - \text{vol. unit. pasta} = 1 - 0.337 = 0.663$$

j) Cálculo del módulo de fineza de la combinación de agregados: determinada el volumen absoluto de agregados, se procede a estimar los volúmenes absolutos de los agregados grueso y fino respectivamente. Para ello es necesario determinar el módulo de fineza de la combinación de agregados (*m*), utilizando la siguiente tabla.

Tabla F.18: Módulo de fineza de la combinación de agregados

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados, según contenidos de cemento por m ³			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

Fuente: Enrique Riva López, "Diseño de mezclas". Pág. 121.

Antes de determinar el módulo de fineza de la combinación de agregados se estima el número de bolsas de cemento por metro cubico de concreto fresco, con la siguiente relación.

$$N^{\circ} \text{ de bolsas de cemento/m}^3 = \frac{\text{factor cemento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{\text{peso por bolsa de cemento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{bl}}\right)} = \frac{386}{42.5} = 9.08 \text{ bl/m}^3$$

Realizando la interpolación para 9.08 bolsas/m³ y ϕ de tamaño máximo nominal de agregado grueso, se estima el módulo de fineza de la combinación de agregados, resultando ($m=5.496$).

k) Cálculo del valor Rf: se obtiene a partir de la siguiente expresión.

$$Rf = 100 * \frac{(m_g - m)}{(m_g - m_f)} = \frac{(6.90 - 5.49)}{(6.90 - 3.34)} * 100 = 39.32\%$$

Dónde:

Rf : Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto de agregado.

m : Módulo de fineza de la combinación de agregados.

m_g : Módulo de fineza del agregado grueso.

m_f : Módulo de fineza del agregado fino.

l) Cálculo de los volúmenes absolutos del agregado.

$$\text{Vol. Abs. Agregado fino} = Rf * \text{Vol. Abs. Agregados} = 0.3932 * 0.663 = 0.260$$

$$\begin{aligned} \text{Vol. Abs. Agregado grueso} &= \text{Vol. Abs. Agregados} - \text{Vol. Abs. Agregado fino} \\ &= 0.663 - 0.26 = 0.403 \end{aligned}$$

m) Cálculo de los pesos secos del agregado.

$$\text{Peso seco de Agregado fino} = \text{Vol. Abs. Agregado fino} * \text{Peso esp. A. fino}$$

$$\text{Peso seco de Agregado fino} = 0.260 * 2600 = 676.00 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso seco de Agregado grueso} = \text{Vol. Abs. Agregado grueso} * \text{Peso esp. A. grueso}$$

$$\text{Peso seco de Agregado grueso} = 0.403 * 2480 = 999.41 \text{ kg/m}^3$$

n) Proporciones de la mezcla

Tabla F.19: Proporciones de materiales en la mezcla

Materiales	Pesos secos (kg/m ³)	Corrección por Humedad (litros)	Corrección por absorción (litros)	Pesos corregidos (kg/m ³)	Proporciones en peso por bolsa
Cemento	386.00			386.00	1.00
Agregado fino	676.00	16.76	22.38	692.76	1.79
Agregado Grueso	999.44	14.99	34.98	1,014.43	2.63
Agua	193.00			218.60	0.57

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

2.7.- ELABORACIÓN DEL CONCRETO

Realizado el diseño de mezcla, se procedió a la elaboración de concreto para el vaciado de testigos cilíndricos y prismáticos en los respectivos moldes. Siguiendo el procedimiento de la norma ASTM C31 (Anexo A).

- Se procedió a pesar cada uno de los materiales para la elaboración de concreto, según proporciones del diseño de mezcla.
- Se realizó la limpieza de los moldes prismáticos y cilíndricos, además el equipo para la medición de asentamiento.
- Se consideró para el primer ciclo de mezclado la totalidad de agregados y agua parcial, para después incorporar el cemento; teniéndose un total de ciclo de mezclado entre 1 y 2 minutos, a fin de lograr una distribución uniforme.

2.7.1.- Elaboración de probetas cilíndricas: Las probetas cilíndricas fueron elaboradas de acuerdo a la normatividad, con un diámetro de 6” y una altura de 12”. Además fue considerado el apisonado de 25 golpes por capa con una varilla lisa de 5/8” en tres capas, con la finalidad de eliminar vacíos en las probetas.

2.7.2.- Elaboración de probetas prismáticas: Las probetas prismáticas para la realización del ensayo de resistencia a la flexión del concreto fueron elaboradas de acuerdo a la normatividad, con una sección de 6” x 6” y una longitud de 20”. Además fue considerado el apisonado respectivo con una varilla lisa de 5/8” en dos etapas y 30 golpes distribuidos por cada etapa (dicho apisonado fue calculado de acuerdo a la recomendación de la normatividad respectiva, la cual indica un golpe por cada 2 pulgadas cuadradas), con la finalidad de omitir vacíos en las probetas. (Isidro, 2017).

2.7.3.- Curado de los especímenes: La totalidad de las probetas cilíndricas (para la resistencia a la compresión) y prismáticas (para la resistencia a la flexión), fueron

sumergidas en pozas de curado, con nivel constante de agua cuidando la temperatura apropiada por un periodo de 28 días.



Figura F.7: Curado de especímenes cilíndricas y prismáticas

2.8.- ENSAYOS REALIZADOS EN CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

2.8.1.- Ensayo de revenimiento o asentamiento en el cono de Abrams (MTC E 705).

El ensayo consiste en consolidar una muestra de concreto fresco en un molde troncocónico, midiendo el asiento de la mezcla luego de desmoldado, el comportamiento del concreto en la prueba indica su “consistencia” o sea su capacidad para adaptarse al encofrado o molde con facilidad, manteniéndose homogéneo con un mínimo de vacíos. (Abanto, 2018).

Equipo utilizado

- Cono de Abrams
- Varilla de acero liso de 5/8” diámetro
- Regla graduada

Procedimiento

- El molde troncocónico se coloca sobre una superficie plana y humedecida, manteniéndose inmóvil pisando por las aletas. Se vierte concreto fresco hasta un tercio del volumen. Se apisona con la varilla, aplicando 25 golpes, distribuidos uniformemente.
- Se coloca la segunda y tercera capa con el mismo procedimiento a un tercio del volumen y apisonado mediante 25 golpes por capa, de manera que la barra penetre en la capa inmediata inferior, y se procede a enrazar la parte superior del mismo.
- Se retira el molde troncocónico en forma vertical, y se coloca al costado del concreto moldeado a fin de medir el revenimiento.

- Se mide la distancia entre la parte superior del molde y el concreto moldeado, denominándose a esta diferencia “Slump”.
- Se recomienda que el proceso de moldeado no debe durar más de 2 minutos, y el retiro del molde en forma vertical debe ser menor a 5 segundos.

Resultados

- Se realizó la medición utilizando un flexómetro, determinado un revenimiento de 3.5”.



Figura F.8: ensayo de asentamiento en concreto fresco

2.8.2.- Ensayo de resistencia a compresión

Este ensayo fue realizado en conformidad con la norma ASTM C39, y consiste en la aplicación de carga axial en la parte superior de la probeta, de forma constante hasta alcanzar la rotura del espécimen de prueba.

Se emplean moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, para cada edad se deben ensayar como mínimo dos muestras cilíndricas y trabajar con el valor promedio; la resistencia del concreto a compresión se calcular dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir la fractura entre el área promedio de la sección. (Abanto, 2018).

$$R_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

Rc: Resistencia a la compresión en kg/cm²

P: Carga máxima aplicada en kg

A: Área de la sección en cm²

Equipo utilizado

- Máquina de prueba
- Bloques de acero con caras duras. (Anillos con neopreno)

Resultados

Tabla F.20: Resultados de la resistencia a la compresión

Muestra	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (kg)	F/A (kg/cm ²)	f _c (kg/cm ²) DISEÑO	f _c (%)	Altura (cm)
1	28	15.23	182.06	38,690.00	212.52	210	101.20%	30.20
2	28	15.20	181.34	39,010.00	215.12	210	102.44%	30.20
3	28	15.23	182.06	37,890.00	208.12	210	99.11%	30.40

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

- En ensayo a la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas se realizó en el laboratorio de construcciones de la escuela Profesional de Ingeniería Civil – UNAP.
- La resistencia a la compresión promedio es de 211.92 kg/cm², 20.78 Mpa.

2.8.3.- Ensayo de resistencia a la flexión, con carga puntual en el centro de la luz

Este ensayo cubre la determinación del valor de la resistencia a la flexión (Módulo de rotura) de los especímenes de concreto, y éste se determina con carga en el punto central. Éste método de ensayo ofrece valores de resistencia a la flexión significativamente más altos que el método C 78 (Ensayo de resistencia a la flexión, con dos cargas puntuales en los límites del tercio central de la luz del ensayo). (ASTM C293-02), (Isidro, 2017).

Cálculos

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Donde:

R: Módulo de rotura (MPa).

P: Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo (N).

L: Luz o longitud entre soportes (mm).

b : Ancho promedio del espécimen (mm).

d : Espesor promedio del espécimen (mm).

Descripción del proceso

- El espécimen de ensayo se gira sobre su lado con respecto a su posición como fue moldeado y se centra sobre los bloques de soporte.
- Se centra luego el sistema de carga en relación a la carga aplicada.

- Se lleva el bloque de aplicación de carga a contacto con la superficie del espécimen al centro de la luz y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga última estimada.
- Se asegurará de que todas las fuerzas se apliquen perpendicularmente a la cara de la muestra sin excentricidad, manteniendo la longitud del tramo y posición central del espécimen. Todas las superficies deben ser lisas y libres de cicatrices, o agujeros.

Resultados

Tabla F.21: Resultados de la resistencia a la Flexión

Muestra	Edad (días)	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Carga Máxima (N)	R (Mpa)
1	28	457.20	151.90	151.75	16,171.96	3.17
2	28	457.20	152.15	151.95	15,709.40	3.07
3	28	457.20	150.75	152.30	16,346.40	3.21

Fuente: Elaborado por el Equipo de Trabajo

- En ensayo a la resistencia a la flexión de probetas prismáticas se realizó en el laboratorio de construcciones de la escuela Profesional de Ingeniería Civil – UNAP.
- La resistencia a la flexión promedio es de 3.15 Mpa; 32.12 kg/cm²



Figura F.10: Ensayo de resistencia a flexión en laboratorio de construcción EPIC-UNAP



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

COSTANCIA DE USO DE EQUIPOS Y LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES DE LA FICA

Hace constar:

Que el tesista, conducente a la obtención del Título profesional de Ingeniero Civil Bach: **JENRRY PARI MAMANI**, hizo uso de los equipos del Laboratorio de Construcciones - FICA, para realizar los ensayos requeridos para su proyecto de Tesis: **"APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE LOSA CON GEOMETRIA OPTIMIZADA EN EL DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO EN EL CENTRO POBLADO DE JAYLLIHUAYA - PUNO"**.

Los ensayos que realizo son los siguientes.

Nº	ENSAYOS	NRO. DE ENSAYOS	FECHA DE ENSAYO
1	CONTENIDO DE HUMEDAD	1	15/04/2019
2	GRANULOMETRIA POR TAMIZADO	1	23/04/2019
3	PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO	1	25/04/2019
4	PESO ESPECIFICO Y ABSORCION AGREGADO FINO	1	24/04/2019
5	PESO ESPECIFICO Y ABSORCION AGREGADO GRUESO	1	24/04/2019
6	RESISTENCIA A COMPRESION DE PROBETAS CILINDRICAS	3	30/05/2019
7	RESISTENCIA A FLEXION EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS	3	30/05/2019

Los resultados obtenidos, de los ensayos, no son responsabilidad del Laboratorio de Construcciones.

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita del interesado, para adjuntar en su proyecto de Tesis.

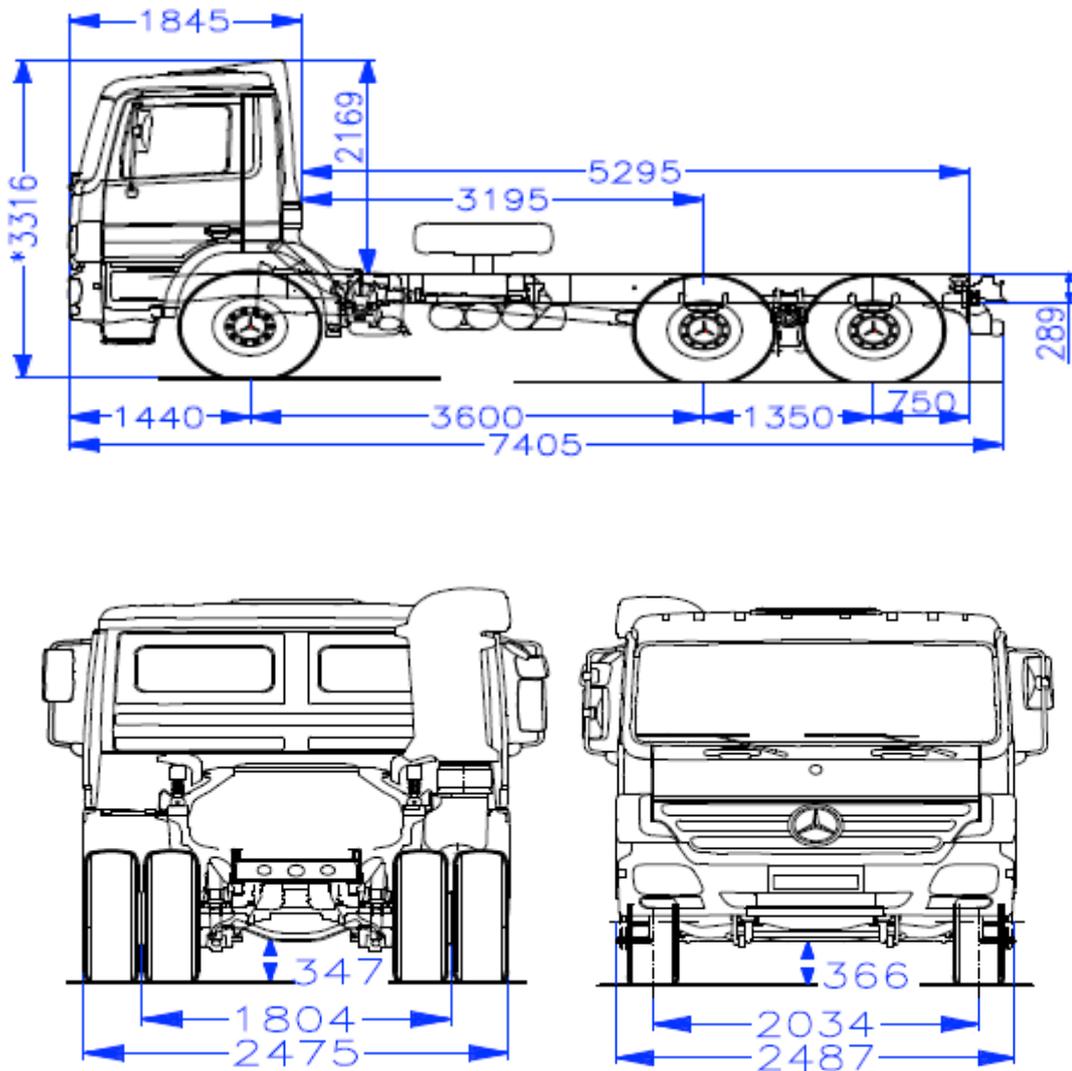


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES-FICA

Puno, C. U. 09 de Agosto de 2019.

MSC. Ing. Gino R. Laque Córdova

Anexo G: Dimensiones de Camión Tipo C3 (mm)



Fuente: La tecnología de los productos Mercedes-Benz/Actros 3344K 6x4 - Euro 3