

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**T E S I S**

**Estrategias para mitigar el deterioro de pavimentos rígidos en  
proyectos de la provincia de Pasco – 2020**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero Civil**

**Autor:**

**Bach. José Alfredo SIFUENTES RECINAS**

**Asesor:**

**Mg. José Germán RAMÍREZ MEDRANO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2023**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**T E S I S**

**Estrategias para mitigar el deterioro de pavimentos rígidos en  
proyectos de la provincia de Pasco – 2020**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL  
PRESIDENTE**

---

**Dr. Zenón Manuel LOPEZ ROBLES  
MIEMBRO**

---

**Mg. Pedro YARASCA CORDOVA  
MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A Dios, el forjador de mi camino, el que me acompaña y siempre me levanta de mi continuo tropiezo, al creador de las personas que más amo. A mi madre Clotilde Recinas Flores, por su bendición, por su apoyo a diario y a lo largo de mi vida, quien ha creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; por eso le doy mi trabajo en ofrenda por su paciencia y amor. A mis hijos por ser mi fuente de motivación e inspiración que me impulsan a seguir adelante para hacer realidad los objetivos trazados.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Dios por la vida, y por permitirme tener tan buena experiencia dentro de mi vida estudiantil. Agradezco a la Universidad Daniel Alcides Carrión por abrirme las puertas, y ser parte de ella, de esa manera convertirme en un ser profesional en lo que tanto me apasiona, Así también a cada maestro, compañeros por ser parte de este proceso. Agradezco a mis familiares, amigos y personas especiales en mi vida, por brindarme su apoyo y poder concluir con éxito un proyecto que en un principio pareció una tarea interminable. Quisiera dedicarles mi tesis a ustedes, personas de bien, seres que ofrecen amor y bienestar.

## RESUMEN

El Perú acorde a las estadísticas evaluadas por el MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES es un país en donde tiene un déficit en la construcción de vías, ¿Qué significa esto? Que es un país donde no se prioriza la construcción de vías en todas sus localidades, además en aquellas que cuenta con vías construidas a base de pavimento flexible o rígido en la gran mayoría tienden a destruirse por muchos motivos, una de ellas es por la mala práctica en la construcción, esta mala práctica está ocasionando que los años que deben de durar los pavimentos sean inferiores a lo proyectado.

La presente Tesis de investigación de acuerdo al enfoque de investigación que se plantea en el capítulo III, tendrá un enfoque netamente cuantitativo, donde explicaremos las Estrategias para mitigar el deterioro de pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco teniendo como muestra solo algunos de los pavimentos en el cual se han ejecutado durante el tiempo de elaboración de la presente tesis. Nuestro Objetivo en base al método del PCI es determinar los deterioros y las posibles relaciones que puede tener el clima que efectivamente Pasco cuenta con un clima agresivo, teniendo en cuenta que las heladas de acuerdo a las estadísticas aparecen dentro de los meses de Junio a Noviembre de cada año, en tal sentido para nuestro proyecto de investigación, en el capítulo I, definiremos claramente nuestro problema de investigación, en el capítulo II, indicaremos el marco teórico para el buen entendimiento de los procedimientos que conlleva nuestro proyecto de investigación, dentro del capítulo III como ya se ha mencionado se determinara la forma y metodología del cómo se está realizando nuestra investigación, en el capítulo IV se presenta los resultados de nuestra investigación y por último se presenta en la sección de discusión las conclusiones y recomendaciones.

**Palabra Clave:** PCI, Pavimento Rígido, Deterioro

## ABSTRACT

According to the statistics evaluated by the MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS, Peru is a country where it has a deficit in road construction. What does this mean? That it is a country where the construction of roads is not prioritized in all its localities, in addition, in those that have roads built on the basis of flexible or rigid pavement, the vast majority tend to be destroyed for many reasons, one of them is due to bad practice in construction, this bad practice is causing the years that the pavements should last to be less than projected.

This research thesis, according to the research approach that is proposed in chapter III, will have a purely quantitative approach, where we will explain the Strategies to mitigate the deterioration of rigid pavements in projects in the province of Pasco, taking as a sample only some of the pavements in which they have been executed during the time of elaboration of this thesis. Our objective, based on the PCI method, is to determine the deterioration and the possible relationships that the climate can have, since Pasco actually has an aggressive climate, taking into account that the frosts, according to the statistics, appear within the months of June to November. of each year, in this sense for our research project, in chapter I, we will clearly define our research problem, in chapter II, we will indicate the theoretical framework for a good understanding of the procedures that our research project entails, within the Chapter III, as already mentioned, will determine the form and methodology of how our research is being carried out, in Chapter IV the results of our research are presented and finally the conclusions and recommendations are presented in the discussion section.

**Keyword:** PCI, Rigid Pavement, Deterioration

## INTRODUCCIÓN

El método del PCI, según (Vásquez, 2002) indica como: “El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los VALORES DEDUCIDOS, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento. El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado” En Pasco, específicamente en Cerro de Pasco Capital minera del Perú, cuenta con sus calles dentro del distrito de Chaupimarca y Yanacancha construidas de pavimento rígido un pavimento construido con material de concreto, sin embargo si recorremos las calles principales como en el distrito de Chauquimarca , encontramos Calle San Cristóbal, que generalmente cuenta con un pavimento destruido en toda su longitud, además si hablamos en el Distrito de Yanacancha, encontramos calles como La Av. Daniel Carrión, La Av. Proceres, La Av. El minero y evidenciamos el estado que cuenta estas avenidas siendo deplorables. Entonces, todo el Perú en su gran mayoría cuenta con pavimentos construidos, pero en mal estado, esto es a consecuencia de diversas variables que no se han tomado durante la ejecución o quizá durante el proceso de mantenimiento, por ello ésta presente investigación se basara en determinar posibles estrategias para mejorar el estado de los pavimentos rígidos durante el proceso de operación llevada por los usuarios de las vías.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

### CAPÍTULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema.....	1
1.2.	Delimitación de la investigación .....	3
1.3.	Formulación del problema.....	4
	1.3.1. Problema general .....	4
	1.3.2. Problemas específicos .....	4
1.4.	Formulación de objetivos .....	5
	1.4.1. Objetivo general.....	5
	1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5.	Justificación de la investigación .....	6
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	7

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	8
	2.1.1. Antecedente y pre proyecto de investigación 1 .....	8
	2.1.2. Antecedente y pre proyecto de investigación 2 .....	9
	2.1.3. Antecedente y pre proyecto de investigación 3 .....	10
2.2.	Bases teóricas – científicas.....	10
	2.2.1. Diseño y construcción de pavimentos rígidos: fundamentos y buenas prácticas.....	10

2.2.2. Evaluación del estado de los pavimentos rígidos: revisión de métodos y técnicas.....	11
2.2.3. Deterioro de los pavimentos rígidos: causas, mecanismos y consecuencias.....	13
2.2.4. Clima y pavimentos rígidos: relación y efectos en la durabilidad y eficiencia.....	14
2.2.5. Índice de condición del pavimento (PCI): conceptos, aplicaciones y limitaciones.....	16
2.2.6. Tecnologías innovadoras para la evaluación y monitoreo del estado de los pavimentos rígidos.....	18
2.2.7. Materiales para pavimentos rígidos: opciones, propiedades y aplicaciones.....	19
2.2.8. Impacto ambiental de los pavimentos rígidos: revisión de estudios y medidas de mitigación.....	21
2.2.9. Gestión y planificación de pavimentación rígida: herramientas y metodologías para la toma de decisiones.....	22
2.2.10. Influencia de las condiciones atmosféricas en la ejecución de pavimentos rígidos.....	24
2.2.11. Colocación de concreto en tiempo cálido.....	25
2.2.12. Colocación del concreto en tiempo de lluvia.....	25
2.2.13. Pavimento.....	26
2.2.14. Consideraciones del clima en los métodos de diseño de pavimento rígido.....	28
2.2.15. Cementos.....	31
2.2.16. Agua para el concreto.....	45
2.2.17. Agregados para el concreto.....	47
2.2.18. Concreto.....	52
2.3. Definición de términos básicos.....	61

2.4.	Formulación de hipótesis .....	64
2.4.1.	Hipótesis general .....	64
2.4.2.	Hipótesis específicas .....	64
2.5.	Identificación de variables .....	64
2.5.1.	Variable independiente .....	64
2.5.2.	Variable dependiente .....	64
2.5.3.	Variable interviniente .....	64
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores .....	65

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGIA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de investigación.....	66
3.2.	Nivel de investigación.....	67
3.3.	Métodos de investigación.....	68
3.4.	Diseño de investigación .....	69
3.5.	Población y muestra .....	70
3.5.1.	Población .....	70
3.5.2.	Muestra .....	70
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	71
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	71
3.8.	Tratamiento estadístico .....	72
3.9.	Orientación ética filosófica y epistémica.....	72

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	74
4.1.1.	Datos preliminares.....	74
4.1.2.	Datos específicos .....	77
4.1.3.	Matriz de evaluación para fallas en pavimentos flexibles.....	81
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	82

4.2.1. Resultados de pavimentos recientemente ejecutados .....	82
4.3. Prueba de hipótesis.....	108
4.3.1. Hipótesis general.....	109
4.3.2. Hipótesis específica 1.....	110
4.3.3. Hipótesis específica 2.....	111
4.4. Discusión de resultados .....	113

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Ilustración 1: Cementos en el Perú, Fuente: UNI .....	40
Ilustración 2: Requisitos de Calidad para agua, Fuente: Ing. Ana Torre, Tecnología de Concreto .....	46
Ilustración 3: Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto (Fuente: Tópicos de Tecnología del Concreto-Enrique Pasquel) .....	54
Tabla 1: Tipo de cemento y su Valor de Finura, Fuente: Ana Torre Tecnología del Concreto (Fuente : UNI) .....	38

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

En la provincia de Pasco, la mayoría de las calles cuentan con pavimentos rígidos que han sido diseñados utilizando metodologías clásicas empíricas que no toman en cuenta adecuadamente los efectos del clima local. Como resultado, estos pavimentos presentan un deterioro prematuro, lo que causa problemas para el tránsito vehicular y peatonal en la zona. A pesar de que algunos pavimentos han resistido bien el paso del tiempo, otros presentan fallas, fisuras y grietas debido a los efectos de las heladas y otros factores ambientales.

Para solucionar este problema, es necesario aplicar una adecuada gestión y mantenimiento de los pavimentos, utilizando técnicas y estrategias que consideren las condiciones climáticas de la zona y los factores que influyen en el deterioro de los pavimentos rígidos. Sin embargo, la mayoría de los profesionales que trabajan en la provincia de Pasco desconocen la importancia de estos aspectos en la conservación de los pavimentos.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es determinar y evaluar estrategias efectivas para mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en

proyectos de la provincia de Pasco, mediante una gestión y mantenimiento adecuado que considere los factores climáticos y ambientales locales. Con los resultados de esta investigación, se busca mejorar la calidad de los pavimentos y garantizar un tránsito seguro y eficiente para los ciudadanos.

Cerro de Pasco cuenta con calles cuyos pavimentos son de tipo rígido, en estos pavimentos se observa y prueba que hay componentes que están afectando el buen manejo a lo largo de su historia eficaz; ello provoca problemas en cuanto al cumplimiento del buen servicio en la época para el que ha sido diseñado, teniéndose presente además que los pavimentos, son uno de las escasas obras de ingeniería que poseen fecha de caducidad, con un reducido lapso de vida eficaz y para poder hacer que estos pavimentos cumplan con su manejo optimo y satisfactorio, trascendiendo inclusive con periodos extras referente a su servicio u operación, se necesita que se aplique una idónea Administración y gestión de pavimentos, administración de mantenimiento vial, con el trabajo de resoluciones tecnológicas, técnicas, administrativas, normativas que anticipe o prevea la ocurrencia y desarrollo de deterioros de los pavimentos firmes provocado entre varios componentes por el elemento clima que es el de Cerro de Pasco un elemento que influye de manera directa en el deterioro de los pavimentos.

Los pavimentos se crearon con las metodologías clásicos empíricas existentes y de uso común como en la situación peruano donde el diseño se hace principalmente por el procedimiento AASHTO 93 en la cual al elemento clima no se le da más grande hincapié; en cuanto al método constructivo se puede indicar que como se realiza en cualquier etapa del año el aspecto clima en ocasiones no es tenido presente generalmente y por consiguiente cae en responsabilidad de los constructores el tener la información apropiada e idónea sobre la variable clima ,y en la actualidad el deterioro de dichos pavimentos se intensifica en la etapa de operación.

Cuando se observa los pavimentos en la ciudad de Pasco, por ejemplo, la Av. Daniel Alcides Carrión del distrito de Yanacancha es un pavimento que al pasar los años se ha evidenciado mínimas fallas, fisuras, grietas y otras fallas que afloran en un pavimento rígido, sin embargo, en otros pavimentos, por ejemplo, la de la Av. Bolívar, Av. Minero, Av. Proceres del Distrito de Yanacancha, se evidencia diversas fallas a consecuencia de las heladas y otros factores, en tal sentido a consecuencia de mitigar el deterioro de los pavimentos realizaremos, determinaremos y evaluaremos estrategias en los pavimentos de la provincia de Pasco, considerando que la mayoría de profesionales desconocen el factor del clima en el deterioro de los pavimentos rígidos.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

La delimitación de la investigación se refiere a establecer los límites o alcances específicos de la investigación para poder enfocarse en un tema específico y evitar la dispersión de los objetivos. La limitación son los siguientes:

- La investigación se enfocará en los pavimentos rígidos de la provincia de Pasco - Perú.
- El período de estudio se limitará al año 2020.
- La investigación se centrará en la identificación y evaluación de estrategias efectivas para mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en la provincia de Pasco, con especial atención a los factores climáticos y ambientales locales.
- Se considerarán pavimentos rígidos que se encuentren en operación y que presenten algún tipo de falla o deterioro.
- La investigación no abordará aspectos relacionados con la construcción de nuevos pavimentos o la reparación de pavimentos flexibles.

- Los métodos y técnicas utilizados en la investigación se basarán en la revisión bibliográfica y documental, así como en la aplicación de herramientas y metodologías de gestión y mantenimiento de pavimentos.
- Área de interés: El área de interés de la presente investigación está basada al área de pavimentos, básicamente para determinar nuevas estrategias de construcción para mejorar la durabilidad de los pavimentos.
- Alcance: El alcance de la presente investigación es determinar todas las estrategias posibles para mitigar el deterioro de los pavimentos en ambientes de climas extremos.
- Límite: El límite de la presente investigación está dada para las obras por administración directa de la provincia de Pasco, específicamente en las obras de pavimentos.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cuáles son las Estrategias Para Mitigar El Deterioro De Pavimentos Rígidos En Proyectos De La Provincia De Pasco – 2020 con el fin de mejorar la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos?"

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son los resultados del método PCI (Índice de Condición del Pavimento) como estrategia para medir y mitigar el Deterioro De Pavimentos Rígidos En Proyectos De La Provincia De Pasco – 2020?
- ¿Cuál es la relación entre las condiciones climáticas locales y el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco – 2020, y cómo se pueden aplicar medidas preventivas y correctivas en función de estos factores?

## **1.4. Formulación de objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Desarrollar un conjunto de estrategias efectivas para mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco, que permitan mejorar la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el uso del método PCI (Índice de Condición del Pavimento) como estrategia para medir el estado de los pavimentos rígidos y determinar su relación con el deterioro en proyectos de la provincia de Pasco.
- Identificar los principales factores climáticos locales que afectan al deterioro de los pavimentos rígidos en la provincia de Pasco y determinar cómo estos factores influyen en el desarrollo de fallas y fisuras.

Para ello se tendrán en consideración lo siguiente:

- Establecer un conjunto de medidas preventivas y correctivas específicas para mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco, basadas en los resultados obtenidos del uso del método PCI y la evaluación de los factores climáticos locales.
- Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de las estrategias propuestas para mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco.
- Desarrollar un plan de acción para la implementación de las estrategias propuestas en proyectos de pavimentación rígida en la provincia de Pasco.
- Generar recomendaciones y buenas prácticas para la gestión y mantenimiento de pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco, con el fin de mejorar su durabilidad y eficiencia en el servicio.

## **1.5. Justificación de la investigación**

La justificación de la investigación es la explicación clara y fundamentada de la necesidad y relevancia de llevar a cabo el proyecto de investigación; la justificación de esta investigación es la siguiente:

La provincia de Pasco cuenta con una importante red vial compuesta en su mayoría por pavimentos rígidos que han sido diseñados y construidos con metodologías clásicas y empíricas que no han considerado suficientemente los efectos del clima local en su durabilidad y eficiencia. Como resultado, muchos de estos pavimentos presentan fallas y fisuras que comprometen su funcionalidad y generan costos adicionales por mantenimiento y reparación.

En este contexto, resulta de gran importancia llevar a cabo una investigación que permita determinar estrategias efectivas para mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco. En particular, la evaluación del uso del método PCI como estrategia para medir y mitigar el deterioro, así como la identificación de los principales factores climáticos locales que afectan a los pavimentos rígidos, son elementos clave para el desarrollo de soluciones efectivas y sostenibles.

Por lo tanto, la presente investigación tiene una gran relevancia para mejorar la calidad de los pavimentos rígidos en la provincia de Pasco, aumentar su vida útil y reducir los costos asociados al mantenimiento y reparación. Además, la investigación puede contribuir a mejorar la gestión y mantenimiento de pavimentos rígidos en otras regiones con características climáticas similares, lo que puede tener un impacto positivo en la eficiencia y sostenibilidad de la red vial a nivel nacional.

El costo del desarrollo de la presente indagación o tesis está en abordar la problemática existente y recurrente cual es la ocurrencia y desarrollo de fallas

y deterioros de los pavimentos en el área de estudio, caracterizado además por tener clima frío, húmedo, radiación solar alta, precipitación pluvial elementos que incide en el comportamiento del pavimento, en sus distintas etapas de gestión tales como organización, diseño, ejecución y mantenimiento.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

- El proyecto se enfoca únicamente en la provincia de Pasco, por lo que los resultados y estrategias identificadas pueden no ser aplicables a otras regiones con condiciones climáticas distintas.
- La evaluación de las estrategias propuestas puede estar limitada por factores como el presupuesto y los recursos disponibles para llevar a cabo pruebas a gran escala.
- La disponibilidad y calidad de los datos necesarios para llevar a cabo la evaluación del método PCI y la identificación de los factores climáticos puede ser limitada, lo que puede afectar la precisión y confiabilidad de los resultados.
- La implementación de las estrategias propuestas puede verse limitada por factores como la capacidad técnica y financiera de los organismos encargados de la gestión y mantenimiento de la red vial en la provincia de Pasco.
- La investigación se enfoca en el uso de pavimentos rígidos, por lo que las estrategias y recomendaciones identificadas pueden no ser aplicables a otros tipos de pavimentos (por ejemplo, pavimentos flexibles).
- El proyecto se desarrolla en el contexto de la pandemia COVID-19, lo que puede limitar la disponibilidad de recursos y afectar el cronograma de la investigación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Antecedente y pre proyecto de investigación 1**

(Becker, 2015) “Se puede asegurar que los pavimentos de concreto se fisuran y que va a ser responsabilidad del proyectista implantar un diseño de pavimento para el control de estas fisuras por medio de un conveniente tamaño de losas. Si se piensan pavimento de concreto siempre reforzado u otras alternativas continuamente se tienen que considerar las condiciones de tránsito, del medio ambiente y propiedades de los materiales locales accesibles. Sin embargo, va a ser responsabilidad del constructor hacer un trabajo conveniente para afirmar que el plan cumpla con los requisitos solicitados por el patrocinador; Para eso, además de tener la suficiente pericia para realizar los trabajos y eludir las llamadas fisuras tempranas, anteriormente tendrá que revisar que con los materiales accesibles va a poder llevar a cabo el plan en las condiciones consideradas en la fase de plan. De no ser de esta forma, hacer una verificación del mismo en las novedosas condiciones, finalmente –aunque de ni una forma no menos importante– el patrocinador, por medio de sus representantes, tendrá que

hacer los controles necesarios en cada una de los periodos integrados el diseño, control de especificaciones, el control de propiedades y características de los materiales y, desde luego, de todos los periodos constructivos del plan. Solo el trabajo responsable y mancomunado de diseñador, constructor e inspección de obra aseguran al patrocinador un resultado conocido. Como conclusión puede decirse que si hay fisuras en los pavimentos es responsabilidad del proyectista en primera instancia del proyectista y después en forma mancomunada entre constructor e inspector de la obra”

### **2.1.2. Antecedente y pre proyecto de investigación 2**

(Hasan, Md Amanul; & Tarefder, 2018) “en su análisis resumió que, Este análisis efectuó un estudio de sensibilidad ver los efectos de los climas diferentes otra vez México sobre el rendimiento de pavimento al utilizar el estudio de diseño de pavimento de (ME) experimental mecanicista, No obstante, había únicamente 13 estaciones de clima accesibles para Nuevo México para la base de datos de clima de diseño de ME. Dichos equipos limitados de estaciones no podrían cubrir las diversidades territoriales enteras de este estado enorme. Con aquel fin, este análisis actualizó las 13 estaciones de clima existentes a 2015 utilizar el centro (NCDC) base de datos climática nacional. Además, 11 novedosas estaciones dentro del estado, y 13 estaciones de clima de estados circundantes fueron incluidas en la base de datos de clima dando como consecuencia que el clima para un lapso 10 años tiene efectos insignificantes en el pavimento, entonces/luego, la efectividad de procedimiento de interpolación para producir estación virtual ha sido investigada. Los resultados presentan que el procedimiento de interpolación no refleja las condiciones de clima verdaderas para bastantes sitios lo suficientemente eficaz. Para resolver este problema, un mapa de región de temperatura fue creado utilizando la base de datos de NCDC.

La finalidad de este mapa es elegir estaciones de clima apropiadas a lo largo de la interpolación”

### **2.1.3. Antecedente y pre proyecto de investigación 3**

(Gauhar & Rafiquel A, 2016) “realizo una investigación en la que indicaba que (...) el rendimiento de pavimento de hormigón liso articulado es perjudicado por las fronteras de diseño incluyendo las características mecánicas y térmicas de concreto. Afuera de éstos, coeficiente de la extensión térmica, modulo flexible y módulo de disolución son ciertos de los más relevantes y para ver los efectos de estas características materiales sobre el rendimiento de pavimento, las simulaciones fueron llevadas en MEPDG. Todos otros límites de diseño como el tráfico, la vida de diseño, el clima y las condiciones terrestres de explanación fueron considerados constante y el rendimiento de pavimento ha sido valorado. Los resultados de simulación apreciaban que, con un crecimiento en el coeficiente de la extensión térmica de concreto, el rendimiento de pavimento ha sido perjudicado adversamente. Además, con un incremento en modulo flexible y módulo de disolución de concreto, la fuerza de concreto se incrementa y resultando que manejo del pavimento mejoraba (...). Se puso evidente que dichas fronteras importantes debían ser considerados cuidadosamente a medida que diseñan un pavimento duro. El aporte de la tesis va en el sentido de que el diseño de pavimentos con el procedimiento MPDG considerando el clima y el coeficiente de extensión térmica va a ser de muchísima trascendencia”

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Diseño y construcción de pavimentos rígidos: fundamentos y buenas prácticas.**

El diseño y la construcción de pavimentos rígidos son fundamentales para garantizar la durabilidad y eficiencia de las carreteras y calles. Los pavimentos rígidos son aquellos construidos a partir de una base de concreto, lo que les

proporciona una mayor resistencia y capacidad de carga en comparación con otros tipos de pavimentos.

En el diseño de pavimentos rígidos se deben considerar diversos factores, como el tráfico vehicular, las condiciones climáticas, el tipo de suelo y las características de la zona. Es importante seleccionar adecuadamente el espesor del pavimento, la calidad del concreto, el tipo de armadura y otros detalles constructivos que permitan garantizar la estabilidad y resistencia del pavimento a largo plazo.

Por otro lado, en la construcción de pavimentos rígidos es esencial seguir buenas prácticas para garantizar la calidad del trabajo y reducir los riesgos de fallas y fisuras en el futuro. Entre las buenas prácticas que se deben considerar se encuentran: la preparación adecuada del terreno, la compactación del suelo, la colocación adecuada de la armadura, el curado adecuado del concreto y la realización de pruebas de calidad.

La implementación de estas buenas prácticas durante el proceso de diseño y construcción de pavimentos rígidos es fundamental para garantizar la durabilidad y eficiencia del servicio del pavimento, reducir los costos de mantenimiento y aumentar la seguridad de los usuarios de la vía. Además, un diseño y construcción adecuados de pavimentos rígidos también puede contribuir a reducir el impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad de la infraestructura vial.

### **2.2.2. Evaluación del estado de los pavimentos rígidos: revisión de métodos y técnicas.**

La evaluación del estado de los pavimentos rígidos es fundamental para garantizar su durabilidad y eficiencia, así como para planificar adecuadamente los trabajos de mantenimiento y rehabilitación. En este sentido, existen diversos métodos y técnicas para llevar a cabo esta evaluación, los cuales se han

desarrollado a lo largo de los años en función de las necesidades y limitaciones de cada contexto.

Uno de los métodos más utilizados para la evaluación del estado de los pavimentos rígidos es el Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés). El PCI es un índice numérico que permite medir el estado de un pavimento en función de su nivel de deterioro, siendo el valor más alto (100) indicativo de un pavimento en óptimas condiciones y el valor más bajo (0) indicativo de un pavimento completamente deteriorado. El PCI se calcula a partir de la evaluación visual de las fallas, fisuras y otros daños en el pavimento, así como de la medición de la irregularidad superficial y la capacidad estructural del pavimento.

Otro método utilizado para la evaluación del estado de los pavimentos rígidos es el ensayo de deflexión mediante placa. Este ensayo consiste en la aplicación de una carga sobre una placa colocada sobre el pavimento, lo que permite medir la deflexión que se produce en el pavimento en función de la carga aplicada. A partir de estos datos, se puede determinar la capacidad estructural del pavimento y su nivel de deterioro.

Además de estos métodos, existen otros que también se utilizan para la evaluación del estado de los pavimentos rígidos, como la evaluación de la textura superficial, la resistencia al deslizamiento y la medición del espesor del pavimento.

Es importante destacar que la elección del método o técnica de evaluación del estado de los pavimentos rígidos dependerá de diversos factores, como el objetivo de la evaluación, las condiciones y limitaciones del contexto, y la disponibilidad de recursos. Por ejemplo, el ensayo de deflexión mediante placa

es un método muy preciso, pero también es costoso y requiere de equipos especializados, por lo que puede no ser viable en todos los casos.

Por otro lado, es importante considerar que la evaluación del estado de los pavimentos rígidos debe ser un proceso continuo y sistemático, ya que las condiciones del pavimento pueden cambiar rápidamente debido a factores como el clima, el tráfico vehicular y otros agentes externos. En este sentido, es recomendable llevar a cabo evaluaciones periódicas del estado de los pavimentos rígidos para poder detectar a tiempo cualquier deterioro y planificar adecuadamente los trabajos de mantenimiento y rehabilitación.

### **2.2.3. Deterioro de los pavimentos rígidos: causas, mecanismos y consecuencias.**

Los pavimentos rígidos son un elemento esencial de la infraestructura vial, pero están sujetos a diferentes tipos de deterioro que afectan su durabilidad y eficiencia. Estos deterioros pueden ser causados por diferentes factores, incluyendo el clima, el tráfico vehicular, la calidad de los materiales, entre otros.

Uno de los principales factores que causa el deterioro de los pavimentos rígidos es el clima. Las condiciones climáticas extremas, como las heladas, la lluvia y la exposición a altas temperaturas, pueden afectar la calidad del concreto y provocar fallas y fisuras en el pavimento. Además, la exposición a agentes químicos, como la sal utilizada para derretir la nieve, también puede contribuir al deterioro de los pavimentos rígidos.

Otro factor que puede causar el deterioro de los pavimentos rígidos es el tráfico vehicular. El peso y la frecuencia de los vehículos que transitan sobre el pavimento pueden provocar deformaciones y fisuras en el concreto, lo que afecta su capacidad estructural y reduce su vida útil. Además, la presencia de vehículos

pesados, como camiones y autobuses, puede aumentar el desgaste y la erosión en la superficie del pavimento.

La calidad de los materiales utilizados en la construcción de los pavimentos rígidos también es un factor determinante en su durabilidad y eficiencia. La selección adecuada del concreto, la armadura y otros materiales utilizados en el pavimento es esencial para garantizar su resistencia y capacidad de carga. La falta de calidad en estos materiales puede provocar fallas y fisuras en el pavimento y reducir su vida útil.

Los mecanismos que provocan el deterioro de los pavimentos rígidos pueden variar en función de la causa subyacente. En general, los principales mecanismos de deterioro de los pavimentos rígidos incluyen la fatiga, el agrietamiento, la erosión, la deformación y el desgaste.

La fatiga se produce cuando el pavimento está sometido a cargas repetidas y acumulativas, lo que provoca fisuras y deformaciones en el concreto. El agrietamiento se produce cuando el pavimento se somete a esfuerzos de tracción o compresión, lo que puede provocar fisuras y roturas en la superficie del pavimento. La erosión se produce cuando la superficie del pavimento se desgasta por la acción del tráfico vehicular y los agentes externos. La deformación se produce cuando el pavimento se somete a cargas que provocan su deformación, lo que puede afectar su capacidad estructural. El desgaste se produce cuando la superficie del pavimento se desgasta debido a la acción del tráfico y la abrasión.

#### **2.2.4. Clima y pavimentos rígidos: relación y efectos en la durabilidad y eficiencia.**

El clima es uno de los principales factores que afectan la durabilidad y eficiencia de los pavimentos rígidos. Las condiciones climáticas extremas, como las heladas, la lluvia y la exposición a altas temperaturas, pueden provocar

diferentes tipos de deterioro en el pavimento, lo que reduce su vida útil y su capacidad de carga.

La relación entre el clima y los pavimentos rígidos es compleja y multifactorial. El clima afecta la calidad del concreto utilizado en la construcción del pavimento, así como su capacidad de resistir cargas y tensiones. Además, el clima influye en el comportamiento del pavimento bajo diferentes condiciones de carga y tráfico vehicular.

Uno de los efectos más evidentes del clima en los pavimentos rígidos es el agrietamiento y la fisuración. Las heladas y los ciclos de congelación y descongelación pueden provocar fisuras y grietas en el pavimento, lo que reduce su capacidad de carga y aumenta el riesgo de accidentes de tráfico. Además, la lluvia y la humedad pueden provocar la erosión y el desgaste en la superficie del pavimento, lo que también reduce su vida útil.

La exposición a altas temperaturas también puede provocar diferentes tipos de deterioro en los pavimentos rígidos. Las altas temperaturas pueden provocar la expansión del concreto, lo que aumenta el riesgo de fisuras y grietas. Además, la exposición prolongada a altas temperaturas puede provocar el desgaste y la degradación del pavimento, lo que reduce su capacidad de carga y su vida útil.

La relación entre el clima y los pavimentos rígidos también está influenciada por otros factores, como el tipo de suelo y la calidad de los materiales utilizados en la construcción del pavimento. En algunos casos, el uso de materiales inadecuados o la falta de preparación adecuada del suelo puede aumentar la sensibilidad del pavimento al clima y reducir su vida útil.

Para mitigar los efectos del clima en los pavimentos rígidos, es esencial aplicar medidas preventivas y correctivas. Las medidas preventivas incluyen la

selección adecuada de los materiales, la planificación adecuada del diseño y la construcción del pavimento, y la consideración del clima y las condiciones ambientales locales. Las medidas correctivas incluyen la rehabilitación y el mantenimiento del pavimento para corregir los problemas existentes, como fisuras y grietas.

Además, es esencial llevar a cabo una evaluación periódica del estado del pavimento, utilizando técnicas y métodos adecuados para determinar el nivel de deterioro y planificar las medidas de mantenimiento y rehabilitación necesarias. La evaluación del estado del pavimento puede incluir la utilización del Índice de Condición del Pavimento (PCI), que proporciona una medida cuantitativa del estado del pavimento y ayuda a planificar las estrategias de mantenimiento y rehabilitación.

#### **2.2.5. Índice de condición del pavimento (PCI): conceptos, aplicaciones y limitaciones.**

El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es una herramienta utilizada para evaluar el estado de los pavimentos, en particular, para identificar el grado de deterioro de la superficie del pavimento. El PCI se ha convertido en un estándar internacional en la evaluación del estado de los pavimentos, ya que proporciona una medida objetiva y cuantitativa de la condición del pavimento, lo que facilita la toma de decisiones en la gestión y el mantenimiento de carreteras.

El PCI se basa en una evaluación visual de la superficie del pavimento, que incluye la identificación y medición de diferentes tipos de deterioro, como grietas, baches, manchas, entre otros. Estos datos se registran en un formulario estandarizado y se utiliza un algoritmo para calcular el índice de condición del pavimento. El resultado final se expresa como un número entre 0 y 100, donde 0 indica un pavimento completamente deteriorado y 100 indica un pavimento en perfecto estado.

El PCI se utiliza en todo el mundo para la evaluación y gestión de pavimentos, y ha demostrado ser una herramienta efectiva para la identificación temprana de problemas de deterioro en los pavimentos. Al proporcionar una medida objetiva y cuantitativa de la condición del pavimento, el PCI permite a los administradores de carreteras tomar decisiones informadas sobre la programación de los trabajos de mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos, y priorizar las inversiones en función del estado de los pavimentos.

Sin embargo, el PCI también presenta algunas limitaciones. Una de las principales limitaciones del PCI es que se basa únicamente en la evaluación visual de la superficie del pavimento, lo que significa que puede no detectar problemas estructurales y de subrasante que no se reflejan en la superficie del pavimento. Además, el PCI no tiene en cuenta otros factores importantes, como el tráfico y las condiciones climáticas, que pueden afectar el estado del pavimento.

Otra limitación del PCI es que puede ser costoso y consumir tiempo en su evaluación, lo que puede limitar su uso en proyectos de gran escala o en áreas donde los recursos son limitados. También es importante destacar que la evaluación del PCI es realizada por personal capacitado, y que la subjetividad y la experiencia del evaluador pueden influir en los resultados.

A pesar de estas limitaciones, el PCI sigue siendo una herramienta valiosa para la gestión y el mantenimiento de pavimentos. Algunas de las principales aplicaciones del PCI incluyen la evaluación del estado de los pavimentos, la identificación temprana de problemas de deterioro, la planificación de trabajos de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, y la medición del rendimiento de los programas de gestión de pavimentos.

### **2.2.6. Tecnologías innovadoras para la evaluación y monitoreo del estado de los pavimentos rígidos.**

En los últimos años, se ha producido un importante avance en las tecnologías para la evaluación y monitoreo del estado de los pavimentos rígidos. Estas tecnologías innovadoras han permitido una evaluación más precisa y detallada del estado de los pavimentos, lo que ha llevado a una mejora en la gestión y mantenimiento de las carreteras. En este apartado se describen algunas de las tecnologías más relevantes en la evaluación y monitoreo del estado de los pavimentos rígidos.

Una de las tecnologías más utilizadas para la evaluación del estado de los pavimentos rígidos es el LiDAR (Light Detection and Ranging). El LiDAR es un sistema de escaneo láser que permite crear modelos tridimensionales de la superficie del pavimento y obtener información detallada sobre la geometría y la textura del pavimento. Esta tecnología se utiliza para la evaluación de la rugosidad, la planitud y la regularidad del pavimento, y también para la identificación de deformaciones y deflexiones.

Otra tecnología innovadora es el uso de cámaras digitales de alta resolución para la evaluación del estado de los pavimentos rígidos. Las imágenes obtenidas por estas cámaras permiten una evaluación más detallada de la superficie del pavimento, lo que facilita la identificación de grietas, baches, manchas y otros tipos de deterioro. Además, estas cámaras se utilizan en combinación con sistemas de procesamiento de imágenes que permiten la detección automática de diferentes tipos de deterioro.

La tecnología de la resonancia magnética nuclear (RMN) también se ha utilizado para la evaluación del estado de los pavimentos rígidos. La RMN permite obtener información detallada sobre la estructura interna del pavimento, lo que permite la identificación de problemas en la subrasante y la base del pavimento

que no se detectan mediante la evaluación visual de la superficie del pavimento. Sin embargo, el uso de la RMN es costoso y requiere equipos especializados, lo que limita su uso en proyectos de gran escala.

Otra tecnología innovadora es el uso de sensores inalámbricos para el monitoreo en tiempo real del estado de los pavimentos rígidos. Estos sensores se colocan en diferentes partes del pavimento y permiten la medición continua de diferentes parámetros, como la deformación, la temperatura y la humedad. La información obtenida por estos sensores se transmite a través de una red inalámbrica y se puede utilizar para la toma de decisiones en la gestión y el mantenimiento de los pavimentos.

El uso de sistemas de información geográfica (SIG) también se ha convertido en una herramienta importante en la evaluación y monitoreo del estado de los pavimentos rígidos. Los SIG permiten la integración de diferentes tipos de información, como datos geospaciales, datos de tráfico y datos del estado del pavimento, en un sistema centralizado que permite una toma de decisiones más eficiente y efectiva en la gestión y el mantenimiento de los pavimentos.

### **2.2.7. Materiales para pavimentos rígidos: opciones, propiedades y aplicaciones.**

Los pavimentos rígidos están diseñados para soportar cargas pesadas, resistir el desgaste y durar muchos años, lo que los hace una opción popular para proyectos de construcción de carreteras y aeropuertos. Los materiales utilizados en la construcción de pavimentos rígidos son críticos para garantizar su resistencia y durabilidad, y en este apartado se describen las opciones más comunes, sus propiedades y aplicaciones.

Uno de los materiales más comunes para la construcción de pavimentos rígidos es el concreto, que consiste en una mezcla de cemento, arena, piedra y

agua. El concreto es resistente, duradero y puede soportar cargas pesadas, por lo que es una opción popular para carreteras y aeropuertos. Además, el concreto puede ser diseñado para cumplir con requisitos específicos de resistencia, durabilidad y desempeño.

Otro material común para la construcción de pavimentos rígidos es el asfalto. El asfalto es una mezcla de betún y agregados minerales y es conocido por su capacidad de resistir la abrasión y el desgaste causados por el tráfico pesado. El asfalto es comúnmente utilizado en aeropuertos debido a su capacidad para soportar cargas de aterrizaje y despegue de aviones.

El pavimento de hormigón reforzado con fibra de vidrio es una opción cada vez más popular para la construcción de pavimentos rígidos debido a su alta resistencia y durabilidad. Las fibras de vidrio se agregan al concreto para mejorar su capacidad de resistencia a la tracción, lo que lo hace menos susceptible a la formación de grietas y otros tipos de deterioro. Este tipo de pavimento es comúnmente utilizado en aeropuertos y en proyectos de construcción de carreteras de alto volumen de tráfico.

El pavimento de losa de concreto pretensado es una opción innovadora para la construcción de pavimentos rígidos. Este tipo de pavimento consiste en losas de concreto que se han pre-tensado para resistir la deformación causada por cargas pesadas. Este tipo de pavimento se utiliza comúnmente en proyectos de carreteras de alto volumen de tráfico y en puentes, ya que tiene una larga vida útil y es altamente resistente a las cargas dinámicas.

Los materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio (GFRP) son una opción cada vez más popular para la construcción de pavimentos rígidos. Este tipo de material tiene una alta resistencia a la corrosión, es liviano y tiene una alta resistencia a la tracción, lo que lo hace ideal para

proyectos en regiones costeras o áreas con climas húmedos. Los pavimentos de GFRP se utilizan comúnmente en proyectos de puentes y viaductos.

#### **2.2.8. Impacto ambiental de los pavimentos rígidos: revisión de estudios y medidas de mitigación.**

La construcción de pavimentos rígidos tiene un impacto significativo en el medio ambiente. Los materiales utilizados en la construcción, el transporte y la eliminación de los residuos de construcción, así como el uso de energía y combustibles fósiles, son solo algunos de los factores que contribuyen al impacto ambiental de los pavimentos rígidos.

El impacto ambiental de los pavimentos rígidos se extiende a lo largo del ciclo de vida del pavimento, desde la extracción de materias primas hasta la eliminación de los residuos. A lo largo de este ciclo de vida, se pueden identificar varios impactos ambientales significativos, como la emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación del aire y del agua, la degradación del suelo y la pérdida de hábitats naturales.

La extracción de materias primas utilizadas en la construcción de pavimentos rígidos, como la arena y la piedra, puede tener un impacto significativo en el medio ambiente. La minería a cielo abierto, que es comúnmente utilizada en la extracción de estos materiales, puede causar la degradación del suelo y la erosión, lo que puede tener un impacto negativo en la biodiversidad y los ecosistemas locales.

La producción de los materiales utilizados en la construcción de pavimentos rígidos, como el cemento y el asfalto, también puede tener un impacto ambiental significativo. La producción de cemento, por ejemplo, es una fuente importante de emisiones de gases de efecto invernadero debido al uso intensivo

de energía y combustibles fósiles. La producción de asfalto también puede ser energéticamente intensiva y generar emisiones de gases de efecto invernadero.

El transporte de los materiales utilizados en la construcción de pavimentos rígidos, así como la maquinaria utilizada en la construcción, también puede tener un impacto ambiental significativo debido al consumo de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, el uso de maquinaria pesada en la construcción de pavimentos rígidos puede causar la emisión de partículas y otros contaminantes en el aire.

Una vez construido el pavimento rígido, su operación y mantenimiento también pueden tener un impacto ambiental significativo. La circulación de vehículos sobre el pavimento puede causar la liberación de partículas en el aire y la contaminación acústica. El mantenimiento del pavimento, como el reemplazo de las losas de concreto dañadas, también puede requerir la extracción y eliminación de materiales, lo que puede tener un impacto negativo en el medio ambiente.

Para mitigar el impacto ambiental de los pavimentos rígidos, se han desarrollado medidas de mitigación. Una de las medidas más comunes es el uso de materiales alternativos en la construcción, como los materiales reciclados. El uso de materiales reciclados puede reducir la cantidad de residuos generados por la construcción de pavimentos rígidos y reducir la necesidad de extracción de materias primas.

#### **2.2.9. Gestión y planificación de pavimentación rígida: herramientas y metodologías para la toma de decisiones.**

La gestión y planificación de pavimentación rígida es un proceso crucial para asegurar la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos a lo largo del tiempo. La gestión y planificación de pavimentación rígida incluye la

identificación de necesidades, la definición de objetivos, la evaluación de opciones y la implementación de soluciones.

Una de las principales herramientas utilizadas en la gestión y planificación de pavimentación rígida es la evaluación de necesidades. La evaluación de necesidades ayuda a identificar las áreas que requieren mejoras y a definir los objetivos y metas específicos para la gestión y planificación de pavimentación rígida. La evaluación de necesidades también ayuda a priorizar los recursos y a definir un plan de acción.

Otra herramienta importante en la gestión y planificación de pavimentación rígida es la evaluación de opciones. La evaluación de opciones implica la evaluación de diferentes opciones de pavimentación rígida y la selección de la mejor opción en función de los criterios establecidos. La evaluación de opciones también puede incluir la evaluación de diferentes materiales, técnicas de construcción y tecnologías para el monitoreo y mantenimiento de los pavimentos.

La implementación de soluciones es otra parte importante de la gestión y planificación de pavimentación rígida. La implementación de soluciones implica la selección y aplicación de las mejores opciones para mejorar la calidad y la durabilidad de los pavimentos rígidos. La implementación de soluciones puede incluir la aplicación de técnicas de rehabilitación, la implementación de medidas preventivas, el uso de materiales de alta calidad y el monitoreo continuo de los pavimentos.

La planificación y gestión de pavimentación rígida también incluye la definición de un plan de mantenimiento y rehabilitación. Un plan de mantenimiento y rehabilitación establece las acciones necesarias para mantener los pavimentos en buenas condiciones a lo largo del tiempo y para rehabilitar los pavimentos en caso de daño o deterioro. Un plan de mantenimiento y rehabilitación puede incluir

medidas como la reparación de grietas y baches, la aplicación de selladores y la restauración de la superficie.

Una de las metodologías más utilizadas en la gestión y planificación de pavimentación rígida es la gestión de activos. La gestión de activos implica la aplicación de un enfoque sistemático para maximizar el valor de los activos de pavimentación rígida. La gestión de activos incluye la evaluación del desempeño de los pavimentos, la identificación de necesidades de mantenimiento y rehabilitación y la toma de decisiones basada en datos y análisis.

Otra metodología utilizada en la gestión y planificación de pavimentación rígida es la planificación estratégica. La planificación estratégica implica la definición de objetivos a largo plazo y la implementación de planes de acción para lograr estos objetivos. La planificación estratégica también implica la identificación de riesgos y oportunidades y la implementación de medidas para mitigar los riesgos y aprovechar las oportunidades.

#### **2.2.10. Influencia de las condiciones atmosféricas en la ejecución de pavimentos rígidos**

(Ceferino, 2019) “Las disposiciones particulares del extendido se tomarán cuando las condiciones atmosféricas pongan en riesgo de daño el concreto, para prever estas condiciones es conveniente no solamente mantener una comunicación estrecha entre los servicios locales de meteorología nacional, tener cerca de la obra un registro de temperatura, sino también un higrómetro situado a un metro del suelo. Sea calor o de un clima gélido, las condiciones meteorológicas y su evolución previsible tienen la posibilidad de ser de tal naturaleza que lleven a paralizar la obra”

### **2.2.11. Colocación de concreto en tiempo cálido**

(Ceferino, 2019) “En tiempo cálido, se les debería ofrecer una atención especial a los peligros del secado superficial y más que nada a la figuración. A medida que más alta sea la temperatura inicial de concreto, se puede crear más de forma sencilla la figuración por retracción térmica. Los peligros de figuración temprana resultan muy relevantes y provienen de diferentes componentes (naturaleza de los granulares, tipo de cemento, condiciones de extendido, etcétera.). Para el concreto colocado en la mañana, su calor de fraguado coincide con las más fuertes temperaturas de tarde y el fin del desprendimiento de calor hacia la medianoche, lo cual crea un peligro enorme de figuración la mañana siguiente. Es preferible iniciar el extendido desde el mediodía, con el objetivo de que el mayor desprendimiento de calor del fraguado se compense con el enfriamiento de temperatura finalmente de la noche. La temperatura del concreto fresco debería ser comúnmente inferior a 30°C. Una vez que la temperatura ambiente es mayor a 20°C y la tasa hidrométrica de aire inferior al 50%, se reforzará la dosificación del producto de curado; de vez en cuando se procede a 2 rociados continuos de la dosificación prevista en inicio, destinados a estar seguro de la buena impermeabilización. En determinados casos, se puede llegar a enfriar los elementos del concreto. El cemento debería almacenarse a la temperatura más baja viable. Los granulares tienen la posibilidad de rociarse, de forma que la evaporación del agua se compense con el enfriamiento. Además, se enfría el agua con bloques de hielo.”

### **2.2.12. Colocación del concreto en tiempo de lluvia**

(Ceferino, 2019) “Si hay lluvia bastante leve, esto beneficia el concreto, empero si por otro lado la lluvia es exuberante o intenso, lleva a los problemas siguientes.

- Se quita el estriado del concreto

- Se descarta el producto de curado
- Se rompen los flancos o bordes de las placas”

(Ceferino, 2019) “En la situación de lluvia exuberante, solo lo que se puede hacer es cubrir el concreto fresco con polietileno; no obstante, su peso y su contacto con el concreto borran las estrías. No se aconseja el re estriado del concreto. La rugosidad se obtendrá más adelante por granallado producido por procedimiento superficial. De cualquier manera, luego de la lluvia se tendrá que restituir el producto de curado, en cierta forma o en su integridad. El deterioro de los bordes de las placas se puede evadir poniendo formaletas, una vez que se sitúa el plástico sobre un área tratada con productos de descascara miento químico, no hay ningún problema”

### **2.2.13. Pavimento**

#### **2.2.13.1. Pavimento rígido**

(Ceferino, 2019) “Son construcciones apoyadas sobre el suelo, está construido por una capa preeminente de concreto hidráulico, apoyada sobre una capa de base o subbase, dependiendo de la carga que va a tolerar esta composición puede estar construido además por acero, y tener más grande resistencia o fiabilidad. Está formado de losas de concreto hidráulico que en algunos casos muestran un armado de acero, tiene un precio inicial más alto que el flexible, y su lapso de vida cambia entre 20 y 40 años, el mantenimiento que necesita es mínimo y únicamente se efectúa usualmente en las juntas de las losas”

##### **2.2.13.1.1. Elementos que integran un pavimento rígido**

###### **2.2.13.1.1.1. Sub-rasante.**

(Ceferino, 2019) “Es la capa que aguanta la composición del pavimento y que se

extiende hasta una hondura que no perjudique a la carga de diseño correspondiente al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debería tener las secciones transversales y pendientes especificadas en el diseño final. El espesor del pavimento dependerá en parte importante de la calidad de la sub rasante, por lo cual hasta debería consumir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la extensión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es fundamentalmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la función de la sub rasante”

#### **2.2.13.1.1.2. Sub- base.**

(Ceferino, 2019) “Es la capa de la composición del pavimento dedicada prácticamente a tolerar, transmitir y repartir con uniformidad las cargas aplicadas a el área de rodadura del pavimento, debido a lo cual; la capa de la sub rasante puede tolerar absorbiendo variaciones inherentes al comentado suelo que logren influir a la sub base. Por consiguiente, Esta capa controlara los cambios de volumen y elasticidad que sedan nocivos para el pavimento. Además, labora como capa de drenaje y controla la ascensión capilar de agua, salvaguardando de esta forma a la composición de pavimento, por lo cual principalmente se utilizan

materiales granulares. Al haber capilaridad en etapa de heladas, se crea un hinchamiento del agua, provocado por el congelamiento, lo cual crea fallas en el pavimento, si este no dispone de una sub rasante o sub base correcta”

#### **2.2.13.1.1.3. Superficie de rodadura**

(Ceferino, 2019) “Es la capa preeminente de la composición de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo cual, gracias a su rigidez y elevado módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la función de la sub rasante, ya que no utilizan capa de base. Debido a lo cual, el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la composición de pavimento. Esta capa es la más expuesta al intemperismo y a los efectos abrasivos de los Vehículos, por lo cual requiere de mantenimientos periódicos para asegurar su manejo”

#### **2.2.14. Consideraciones del clima en los métodos de diseño de pavimento**

##### **rígido**

(Ceferino, 2019) “El elemento clima se tiene presente en los diferentes procedimientos en unos con más incidencia y en otros en forma indirecta como por ejemplo en los procedimientos empíricos (AASHTO 93), PCA y mecanicista (MEPDG)”

##### **2.2.14.1. Factor clima en diseño de pavimentos método PCA**

(Ceferino, 2019) “No estima los esfuerzos de alabeo en el estudio de fatiga, empero otros como Darter y Barenger sugieren la integración de

esfuerzos de alabeo con esfuerzos de carga para la investigación de fatiga”

#### **2.2.14.2. Factor clima en el diseño de pavimentos método ME-PDG**

(Ceferino, 2019) “La guía de Diseño de Pavimentos Mecanicista Experimental (mechanistic –Empirical Pavement Design Guide- ME.PDG) fue el resultado de diversos años de indagación en los USA (AASHTO, 2008). Los Modelos de predicción del deterioro usados por el ME-PDG necesitan de calibración y proceso de utilización a las prácticas locales, en la situación peruano hay limitaciones por la carencia de data. En especial, el reto que muestra la utilización de la Guía MEPDG necesita de un esfuerzo de todos los equipos técnicos de cada territorio, para crear las bases de todos y modelos de calibración acordes con el clima, suelos, tráfico y materiales locales (Chang. Vidal Loria Bustos& Delgadillo, 2013)”

La guía (ME-PDG, 2008) “refleja el estado del arte de las metodologías empleadas en el diseño de pavimentos nuevos y en la rehabilitación de pavimentos existentes. Estima el diseño de pavimentos flexibles y rígidos, usando principios mecanicistas para el cálculo de esfuerzos, deformaciones, y deflexiones en la composición de pavimento. Esta contestación estructural se relaciona empíricamente con la evolución del deterioro estructural y servible del pavimento, durante su historia eficaz”

(Ceferino, 2019) “Las variaciones climáticas y las cargas de tráfico son consideradas en la exploración para evaluar si la composición de pavimento iniciativa tiene la función de tolerar las cargas actuantes y consumir con los niveles de servicio exigidos. El mal acumulado por acción de las cargas por medio del tiempo, en la composición iniciativa, es anticipado con modelos de predicción del funcionamiento. Si el diseño de pavimento postulado no supera los parámetros máximos tolerables de

servicio establecidos, entonces se estima que es una elección técnicamente variable”

(Vivanco, 2016) “Para evaluar el funcionamiento del diseño de un pavimento, el ME-PDG usa modelos de predicción de tráfico, medio ambiente (EICM, Enhanced Integrated Climatic Model). Caracterización de materiales, contestación estructural (FEM, Finite Element Method), evolución del deterioro o fallas y predicción del manejo”

#### **2.2.14.3. Temperatura y su efecto en los pavimentos rígidos**

(Huang ,2004) “Esfuerzos y deflexiones en pavimentos sólidos, Westergaad su teoría sugiere que el pavimento estima como una placa con cimentación dinámica sobre suelo, esta teoría lo obtuvo de Huang 2004

(Menéndez. H. Meléndez. & E. Monge. 2015) “En el diseño de los pavimentos, generalmente, se frecuenta tener en cuenta sólo los esfuerzos realizados por las cargas. Esta importancia práctica se aplica debido a que los esfuerzos por carga se muestran millones de repeticiones, mientras tanto que los de gradiente térmico una porción mucho menor. Adicionalmente, en esas carreteras donde el tráfico pesado circula primordialmente por la noche, los esfuerzos por gradiente térmico contribuyen en indemnizar los esfuerzos por carga. Ya que en ciertas regiones del territorio el gradiente térmico es fundamental, el diseño debería tener en cuenta la acción de los dos esfuerzos. La aplicación de esfuerzos combinados en el diseño de los pavimentos firmes con juntas es un asunto sobre el cual no hay un enfoque exclusivo en las diversas fuentes bibliográficas. La PCA no estima los esfuerzos de alabeo en la investigación de fatiga, sin embargo, otros como Darter y Barenger

sugieren la integración de esfuerzos de alabeo con esfuerzos de carga para la exploración de fatiga”

(Huang, 2004) “Gracias a la carencia de información en la zona sobre el gradiente térmico en losas de Pavimento rígido, los valores asumidos para la modelación se obtendrán con base a las recomendaciones bibliográficas. Según Huang (2004b), es razonable dar por sentado un gradiente de temperatura más alto de 2.5 a 3.5 °F por pulgada de losa (0.055 a 0.077°C/mm) a lo largo del día y alrededor de la mitad de dichos valores por la noche.”

## **2.2.15. Cementos**

### **2.2.15.1. Definiciones**

(TORRE, 2004) “Cemento Pórtland De consenso con la Regla Técnica Peruana NTP 334.009, el cemento Pórtland es un cemento hidráulico producido por medio de la pulverización del Clinker compuesto en esencia por silicatos de calcio hidráulicos y que tiene principalmente una o bastante más de las maneras sulfato de calcio como suma a lo extenso de la molienda, o sea: Cemento Portland = Clinker Pórtland + Yeso”

### **2.2.15.2. Materias primas del cemento pórtland**

(TORRE, 2004) “Las primordiales materias primas para la construcción de un cemento Pórtland son: Materiales calcáreos: Tienen que tener un correcto contenido de carbonato de calcio ( $\text{Co}_3\text{Ca}$ ) que va a ser entre 60% a 80%, y no tendrá que tener más de 1.5% de magnesia. Aquí poseemos a las margas, cretas y calizas generalmente dichos materiales suministran el óxido de calcio o cal”

- (TORRE, 2004) “Materiales arcillosos: Tienen que contener sílice en porción entre 60% y 70%. Dichos materiales dan el dióxido de silicio o sílice y además el óxido de aluminio o alúmina, aquí poseemos a las pizarras, esquistos y arcillas generalmente”
- (TORRE, 2004) “Minerales de fierro: Suministran el óxido férrico en pequeñas porciones. En algunas ocasiones éstos vienen con la arcilla”
- (TORRE, 2004) “Yeso: Aporta el sulfato de calcio”  
(TORRE, 2004) “Nota: El yeso se incorpora al Clinker para el control de (retardar y regular) la fragua. Sin el yeso, el cemento fraguado bastante velozmente gracias a la hidratación violenta del aluminato tricálcico y el ferro aluminato tetracálcico”

#### **2.2.15.3. Proceso de construcción**

- (TORRE, 2004) “Sustracción de la materia prima: Esta se hace con la explotación de los yacimientos a tajo abierto. El material resultante de la voladura es transportado en camiones para su trituración, los mismos que son cargados por medio de palas o cargadores frontales de gran capacidad. Esta fase comprende los procesos de investigación, perforación, carguío y acarreo”
- (TORRE, 2004) “Trituración de la materia prima: Se hace en 2 fases, al inicio se procesa en una chancadora primaria, del tipo cono que puede reducirla de un tamaño mayor de 1.5 m hasta los 25 centímetros. (Chancado primario). El material se deposita en una cancha de almacenamiento y después de revisar su estructura química, pasa al chancado secundario reduciéndose a tamaños de hasta  $\frac{3}{4}$ ”

- (TORRE, 2004) “Molienda de Crudos: Este proceso se hace mediante molinos de bolas o prensas de rodillos que generan un material bastante fino además de dosificarse correctamente los materiales para poder hacer un crudo óptimo que va a ser el que ingrese al horno”
- (TORRE, 2004) “Homogenización: El crudo finamente molido debería ser homogenizado para asegurar que el Clinker sea de calidad constante o sea en este periodo se debería afirmar la estructura química constante del crudo. Una vez homogenizado este material es transportado por medio de fajas transportadoras al intercambiador de calor”
- (TORRE, 2004) “Intercambiador de Calor (Precalentado): Se apoya en inmuebles que cuentan con una torre de ciclones localizados uno encima del otro al cual se le nombra precalentador. El crudo que ya ha sido homogenizado ingresa por el extremo preminente de este precalentador pasando por medio de los ciclones quienes captan el calor residual evacuados con los gases de combustión salientes del horno en contracorriente con el flujo del material que ingresa, entonces este crudo que se calienta por acción de los gases causados en el quemador del horno e iniciándose tal el proceso de descarbonatación y transformación termo-químico del crudo. En este periodo tienen la posibilidad de conseguir temperaturas hasta de 850°C (en la ingreso al horno rotatorio), y en la parte alta (región de salida de los gases del precalentador) se alcanzan temperaturas cerca de 280°C En la base de este inmueble está un sistema de pre calcinación anterior a su ingreso al horno rotatorio. El trueque de calor se genera por medio de transferencias térmicas por contacto íntimo entre la materia y los gases calientes provenientes del horno, en un sistema de 4 a 6 ciclones en cascada, que se hallan al interior de una

torre de concreto armado de diversos pisos, con alturas mejores a los cien metros”

- (TORRE, 2004) “Clinkerización: Es el sector más relevante del horno rotatorio siendo este el factor esencial para la construcción del cemento, hablamos de un tubo cilíndrico de acero con diámetros de 4 a 5 mts. y longitudes de 70 a 80 mts. los mismos que interiormente se hallan revestidos con materiales refractarios para la obtención del Clinker se debería conseguir temperaturas cerca de los 1500°C, el proceso en si es complejo puede decirse que se inicia con el ingreso del crudo descarbonatado al horno rotatorio y que por impacto del calor que produce la combustión del carbón o petróleo en un quemador localizado en el extremo de la salida sufre transformaciones físicas y químicas , llevándose a obtener el producto intermedio denominado Clinker esto ocurre a temperaturas del orden de los 1400 a 1450°C. El horno rotatorio de Cementos Lima alcanza una longitud de 83 mts y un diámetro de 5.25 mts y una inclinación del 3% que posibilita el progreso del material por deslizamiento, dichos hornos giran a velocidades de 4.5 r.p.m. y la temperatura van a partir de 850°C hasta 1450°C. No obstante, la etapa líquida que nos sugiere el principio del proceso de sinterización tiene sitio a temperaturas de 1260°C y que al incrementar la temperatura se incrementa además la etapa líquida o fundida”
- (TORRE, 2004) “Enfriamiento: No todos los minerales deseados del Clinker, hidráulicamente activos, quedan estables a partir del proceso de Clinkerización por lo cual se necesita que el Clinker caliente deba ser enfriado velozmente o sea cuando el Clinker es descargado por el horno pasa a la tercera parte del circuito de Clinkerización que se otorgan en los enfriadores. Dichos enfriadores se hallan a la salida del

horno y recibirán toda la carga del material que sale del horno a temperaturas entre 1000 a 1100°C , constan de algunas áreas escalonadas compuestas por placas estáticas y placas móviles alternadas con unos pequeños agujeros por donde pasa el aire que es insuflado por la parte inferior por la acción de ventiladores con el propósito de enfriar el Clinker hasta alrededor de 120°C para ser guardado luego a esta temperatura el material en las canchas de almacenamiento. Si el Clinker compuesto por el proceso de sinterización se enfría poco a poco puede invertirse el sentido de las actitudes de equilibrio y podrían disolverse en la etapa líquida una sección del silicato Tricálcico (compuesto fundamental para el desarrollo de resistencias en el cemento) , por consiguiente un proceso de enfriamiento lento podría descargar la resistencia del cemento sin embargo un proceso de enfriamiento veloz el cual es deseable por los efectos que podrían provocar en el cemento como por ejemplo: mejor molturabilidad por la realidad de fisuras tensionales en el Clinker, menor cantidad de alita disuelta”

- (TORRE, 2004) “Molienda del Clinker: Por medio de un proceso de sustracción controlado el Clinker entra a los molinos de bolas o prensa de rodillos donde se obtendrá un área específica alta de los granos del cemento”
- (TORRE, 2004) “Envasado y despacho: Principalmente el cemento se comercializa en bolsas de 42.5 Kilogramo, según los requerimientos del cliente además puede despacharse a granel. Las bolsas, son de papel krap extensible tipo Klupac con contenido de hojas, entre 2 y 4 según los requerimientos de transporte o manipuleo. Solo en casos bastante especiales y necesarios, estas bolsas van provistas de un refuerzo interior de polipropileno”

(TORRE, 2004) “Estas bolsas de cemento son periódicamente controladas por medio de la verificación de su porosidad al aire, absorción, impermeabilidad y resistencias mecánicas. Las fábricas cementeras además comercializan el cemento en bolsones con capacidad de 1.5 toneladas. Estos bolsones se conocen como big bag. Cada una de las fábricas de cementos del Perú despachan cemento a granel. Así se despacha la porción mínima de 25 a 30 toneladas. A lo largo de un largo tiempo, el cemento fue suministrado en sacos de papel. No obstante, la tendencia mundial es la de distribuirlo a granel, transportándolo en camiones cisterna y almacenándose en silos”

#### **2.2.15.4. Características de los compuestos primordiales**

(TORRE, 2004) Silicato Tricálcico (C3S).

- “Se hidrata y endurece velozmente
- Es el de más grande relevancia de los compuestos del cemento
- Establece la velocidad o rapidez de fraguado
- Establece la resistencia inicial del cemento
- Cooperar a una buena seguridad de volumen
- Cooperar a la resistencia al intemperismo”

(TORRE, 2004) Silicato Dicálcico (C2S)

- “Cooperar con las resistencias a edades más grandes a una semana
- Por su porcentaje en el Clinker es el segundo en trascendencia
- Se hidrata y se fragua con lentitud
- Logra alta resistencia a la compresión (después de prolongado endurecimiento)
- hidratación equivalente a 63 cal/gr

- Coopera a la resistencia a la exposición de agentes.
- Su contribución a la igualdad de volumen es regular”

(TORRE, 2004) Aluminato Tricálcico (C3A)

- “Fue el primero en hidratarse, mejor dicho fragua con mucha velocidad
- Libera gran proporción de calor a lo largo de los primeros días de la hidratación
- Incide levemente en la resistencia mecánica
- Tiene baja resistencia al intemperismo (acción del hielo y deshielo)
- Tiene mala seguridad de volumen
- Poca resistencia a la acción del ataque de los sulfatos y ataques químicos
- Calor de hidratación equivalente a 207 cal /gr”

(TORRE, 2004) Ferro Aluminato Tetracálcico (C4AF)

- “Disminuye la temperatura de formación del Clinker
- Inmediata rapidez de hidratación
- El calor de hidratación es equivalente a 100 cal/gr (moderado)
- En la resistencia mecánica no está determinada su predominación
- La igualdad de volumen es mala
- Influye en el color final del cemento”

**2.2.15.5. Características del cemento**

(TORRE, 2004) Finura o Fineza

“Dedicada al nivel de molienda del polvo, se expresa por el área específica, en m<sup>2</sup>/kg. En el laboratorio hay 2 ensayos para determinarlo”:

- Permeabilímetro de Blaine

- Turbidímetro de Wagner

(TORRE, 2004) “Trascendencia: A más grande finura, crece la resistencia, empero se incrementa el calor de hidratación y cambios de volumen. A más grande finura del cemento más grande velocidad de hidratación del cemento y mayor desarrollo de resistencia”

Ejemplo:

<b>Tipo de cemento</b>	<b>Finura Blaine m<sup>2</sup> / kg</b>
I	370
II	370
III	540
IV	380
V	380

*Tabla 1: Tipo de cemento y su Valor de Finura, Fuente: Ana Torre Tecnología del Concreto (Fuente: UNI)*

### **Peso específico**

(TORRE, 2004) “Referido al peso del cemento por unidad de volumen, se expresa en gr/cm<sup>3</sup>. En el laboratorio se establece mediante el Ensayo del Tarro de Le Chatelier (NTP 334.005). Trascendencia: Se utiliza para los cálculos en el diseño de mezclas Los pesos específicos de los cementos Pórtland son de alrededor de 3.15”

### **Tiempo de fraguado**

(TORRE, 2004) “Es la época entre el mezclado (agua con cemento) y la solidificación de la pasta. Se expresa en min. Se muestra como: La era de Fraguado Inicial y La época de Fraguado Final. En el laboratorio hay 2 procedimientos para calcularlo”

- Agujas de Vicat : NTP 334.006 (97)
- Agujas de Gillmore : NTP 334.056 (97)

(TORRE, 2004) "Trascendencia: Fija la puesta adecuada en obra y endurecimiento de los concretos y morteros"

### **Estabilidad de volumen**

(TORRE, 2004) "Representa la verificación de los cambios volumétricos por presencia de agentes expansivos, se expresa en %. En el laboratorio se establece por medio de: Ensayo en Autoclave: NTP 334.004 (99)"

### **Resistencia a la compresión**

(TORRE, 2004) "Mide la capacidad mecánica del cemento a tolerar una fuerza externa de compresión. Es una de las más relevantes características, se expresa en Kg/cm<sup>2</sup>. En el laboratorio se establece por medio de: Ensayo de compresión en probetas cúbicas de 5 centímetros de lado (con mortero cemento-arena normalizada): NTP 334. 051 (98)"

### **Calor de hidratación**

(TORRE, 2004) "Es el calor que se crea por la actitud (agua + cemento) exotérmica de la hidratación del cemento, se expresa en cal/gr. y es dependiente primordialmente del C3A y el C3S. En el laboratorio se establece por medio de: Ensayo del Calorímetro de Langavant o el de la Botella Aislante. Se emplea morteros estándar: NTP 334.064"

#### **2.2.15.6. Tipos de cementos**

(TORRE, 2004) "Constituidos por Clinker Pórtland y la integración únicamente de un definido porcentaje de sulfato de calcio (yeso). Aquí poseemos según las Reglas Técnicas:

- Tipo I: Para usos que no requieran características especiales de cualquier otro tipo

- Tipo II: Para uso general y especialmente una vez que se quiere moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación
- Tipo III: Para utilizarse una vez que es necesario altas resistencias iniciales
- Tipo IV: Para emplearse una vez que se quiere bajo calor de hidratación
- Tipo V: Para emplearse una vez que se quiere alta resistencia a los sulfatos”

### 2.2.15.7. Los cementos en el Perú

En el Perú, en la actualidad poseemos las próximas organizaciones cementeras

NOMBRE	UBICACIÓN
Cementos Lima S A	Atocongo – Lima
Cementos Pacasmayo S  A A	Pacasmayo - La Libertad
Cemento Andino S A	Condorcocha - Tarma ( Junin )
Yura SA	Yura - Arequipa
Cemento Sur S A	Caracote - Juliaca ( Puno )
Cemento Rioja	Pucallpa - Ucayali

*Ilustración 1: Cementos en el Perú, Fuente: UNI*

### 2.2.15.8. Usos y aplicaciones de los cementos pórtland

(TORRE, 2004) “Los cementos tiene las siguientes aplicaciones:

- Tipo I Para estructuras de concreto y mortero de uso general y una vez que no se ocupe características específicas, se usa en concretos que no se encuentren sujetos al ataque de componentes agresivos como puede ser la existencia de sulfatos en el suelo o en el agua.
- Tipo II: En obras donde se necesite resistencia moderada a la acción de los sulfatos (ejm. Construcciones de drenaje) y/o moderado Calor

de hidratación (consecuencia de la hidratación del cemento). Se propone en construcciones, construcciones industriales, puentes, obras portuarias, perforaciones y generalmente en cada una de esas construcciones de volumen notable, y en climas cálidos

- Tipo III: Para obras que ocupe alta resistencia altas a edades tempranas, comúnmente a menos de una semana (ejm: avance de la puesta en servicio) y además en obras de regiones frías su uso posibilita minimizar el curado controlado.
- Tipo IV: Para construcciones es necesario bajo Calor de Hidratación, caso de represas, centrales hidroeléctricas y obras de monumentales masas de concreto, además debería tenerse presente que este cemento realiza resistencias a una rapidez inferior a la de los demás cementos.
- Tipo V: Además de las cualidades del Tipo II, es recomendado para obras donde se necesite alta resistencia a los sulfatos. Es la situación de obras portuarias expuesta al agua de océano Además en canales, alcantarillas, túneles, suelos con elevado contenido de sulfatos. dichos cementos desarrollan resistencias más poco a poco que los cementos tipo I, aumentan su resistencia a los sulfatos”

#### **2.2.15.9. Almacenamiento del cemento**

(TORRE, 2004) “La buena disposición que se adopte para el almacenamiento de los insumos del concreto contribuirá en la buena marcha de la obra, además de una producción eficiente del concreto de calidad. El diseño general de las instalaciones de almacenamiento se efectúa en la fase previa de la obra, teniendo presente entre otros los próximos límites:

- Localización y propiedades del área donde se encuentra la obra.

- Espacios accesibles.
- Consumo promedio de concreto de consenso al cronograma de la obra
- Consumo más alto y duración del lapso en el que se hace la más grande producción de concreto.
- Forma y medios de aprovisionamiento de los materiales.
- Stock mínimo que es correcto conservar.
- Localización de las mezcladoras o central de mezcla.
- Alternativas y precios para las diversas instalaciones de almacenamiento”

(TORRE, 2004) “El cemento que se conserva seco preserva cada una de sus propiedades. Guardado en latas estancas o en ambientes de temperatura y humedad controlada, su duración va a ser indefinida. En las obras se necesitan posiciones para que el cemento se mantenga en buenas condiciones por un lugar de tiempo definido. Lo importante es mantener el cemento seco, para lo que debería cuidarse no únicamente la acción de la humedad directa sino además considerar la acción del aire húmedo. En obras monumentales o en esos casos en que el cemento deba seguir estando por un periodo destacable se tendrá que proporcionar una bodega, de tamaño correcto sin aberturas ni grietas, ventilados con el objetivo de eludir la humedad tal que se logre conservar el ambiente lo más seco que sea viable si se puede se debería planear el trabajo de extractores de aire. En los casos en que sea previsible la existencia de lluvias, el techo va a tener la pendiente correcta. El piso tendrá que ser preferido de tablas, que se eleven 10 centímetros. sobre el suelo natural para eludir el paso de la humedad. Ocasionalmente tienen la posibilidad de utilizar tarimas de madera. Las bolsas se deberán apilar juntas, de

forma de reducir la circulación del aire, dejando un lugar cerca de los muros de por lo menos 50 centímetros. Las puertas y las ventanas deberán estar permanentemente cerradas. El apilamiento del cemento, por períodos no más grandes de 60 días, va a poder llegar hasta una elevación de doce bolsas. Para más grandes periodos de almacenamiento el límite recomendado es el de 8 bolsas, para evadir la compactación del cemento. Las bolsas de cemento se dispondrán de forma que se facilite su implementación de consenso al orden cronológico de recepción, con el objetivo de eludir el envejecimiento de determinadas partidas. No tendrá que admitirse, según lo predeterminado en la regla, bolsas deterioradas o que manifiesten señales de endurecimiento del cemento. En obras pequeñas o una vez que el cemento estará guardado en periodos cortos, no bastante más de 7 días, puede almacenarse con una mínima defensa, que puede consistir en una base afirmada de concreto pobre y una cobertura con lonas o láminas de plástico. Las cubiertas deberán rebasar los bordes para eludir la penetración ocasional de la lluvia a la plataforma. El recubrimiento tendrá que afirmarse en la parte inferior y si es viable en la preeminente para evadir que sea levantada por el viento. En todos los casos el piso tendrá que estar separado del lote natural y afirmar que se mantenga seco. En caso de largos periodos de almacenamiento se propone además, de lo anterior, rotar periódicamente la postura de los sacos, aprovechando el cambio para ofrecer golpes de canto a los sacos y soltando así las partículas de cemento que se aprieta a lo largo del apilado. Además de cubrir los sacos con una lámina de polietileno que llegue hasta el piso. Y no lanzar las bolsas a partir de lo elevado ni arrastrarlas por el piso. Las bolsas inferiores podrían exponer grumos blandos por impacto de la compactación recuerde constantemente que al abrir la bolsa de cemento el aspecto debería ser harinosa, sin grumos De

observarse grumos que con la presión de las yemas de los dedos no se deshacen podrían haberse producido proceso de hidratación y debe desarrollarse ciertos ensayos con el fin de confirmar su utilidad”

(TORRE, 2004) “Para los casos específicos de almacenamiento en silos: Los silos de cemento, son recursos verticales, de manera principalmente cilíndrica y parte circular, de gran elevación con la interacción a su diámetro. Los silos se caracterizan principalmente, por el tonelaje guardado, que cambia entre los 15 y 50 m<sup>3</sup>. El silo está formado de un cuerpo humano, construido por un fuste cilíndrico metálico cerrado, de 2.40 a 2.80 de diámetro. Principalmente, en la parte preeminente, se dispone de una chimenea o respiradero para la descompresión, el acceso de la tubería de carga y una escotilla para ingreso de individuos con cierre estanco. La parte inferior tiene forma de cono y en el área más estrecha, una apertura con dispositivo de cierre. El diseño del cono prevea determinar la formación de bóvedas. Al final, los apoyos permanecen constituidos por tubos y perfiles de acero, que son anclados debidamente, para contrarrestar la acción del viento una vez que el silo está vacío, que produce esfuerzos de basculamiento que generan tracciones en los pies. De vez en cuando los silos cuentan con indicadores del grado del cemento, filtros para borrar el polvo dispositivos antibóveda y distribuidores de cemento. El cuerpo humano de los silos pequeños en la más grande parte de los casos es completamente guerrero, lo cual posibilita ponerlo en obra velozmente. Silos de más grandes magnitudes, que realizan difícil su transporte, se fabrican en secciones desmontables empernadas, Los de esta clase son más caros y de vez en cuando sujetos a la humedad. Examinar periódicamente la estanqueidad de las compuertas con el objeto de reducir el deterioro y formación de grumos obsérvese primordialmente

las compuertas de carga, el techo, las uniones soldadas. Conservar las compuertas cerradas una vez que no se las usa. Utilizar sistemas de aire comprimido con trampas de agua. Examinar regularmente los silos por probables grumos o pegas, evadir la contaminación del cemento con sustancias que podrían dañar el fraguado como por ejemplo sacarosa, almidones compuestos de plomo zinc, cobre etcétera”

#### **2.2.16. Agua para el concreto**

(TORRE, 2004) “Las aguas potables y esas que no tengan sabores u olores tienen la posibilidad de ser usadas para elaborar concreto, no obstante, varias aguas no potables además tienen la posibilidad de ser utilizadas si cumplen con ciertos requisitos, en nuestra región es recurrente laborar con aguas no potables más que nada una vez que se intentan obras en las afueras de las localidades”

(TORRE, 2004) “Como requisito de carácter general y sin que ello implique la ejecución de ensayos que permitan comprobar su calidad, se va a poder usar como aguas de mezclado esas que se tomen en cuenta potables, o las que por vivencia se conozcan que tienen la posibilidad de ser usadas en la preparación del concreto. debería recordarse, que sólo varias de las aguas inadecuadas para tomar son problemas para elaborar concreto. Generalmente, en las restricciones, el agua de mezclado tendrá que estar independiente de sustancias colorantes, aceites y azúcares. El agua empleada no tendrá que contener sustancias que logren crear efectos sobre el fraguado, la resistencia o durabilidad, aspecto del concreto, o sobre los recursos metálicos embebidos en éste. Anteriormente a su trabajo, va a ser primordial averiguar y aseverarse que la fuente de provisión no está sometida a influencias que logren cambiar su estructura y propiedades con en interacción a las conocidas que han permitido su trabajo con resultados satisfactorios”

### 2.2.16.1. Requisitos de calidad del agua

(TORRE, 2004) “El agua que ha de ser empleada en la preparación del concreto tendrá que llevar a cabo con los requisitos de la Regla NTP 339.088 y ser, preferido potable. No hay criterios uniformes referente a las fronteras permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse. La Regla Peruana NTP 339.088 estima aptas para la preparación y curado del concreto, esas aguas cuyas características y contenidos de sustancias disueltas permanecen entendidos en los próximos parámetros”:

DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE		
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5,000	ppm	Máximo
Materia Orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )	1,000	ppm	Máximo
Sulfatos ( ión SO <sub>4</sub> )	600	ppm	Máximo
Cloruros ( ión Cl <sup>-</sup> )	1,000	ppm	Máximo
pH	5 a 8		Máximo

*Ilustración 2: Requisitos de Calidad para agua, Fuente: Ing. Ana Torre, Tecnología de Concreto*

(TORRE, 2004) “Recomendaciones Extras:

- Si la alteración de color es un requisito que se quiere mantener el control de, el contenido mayor de hierro, expresado en ión férrico, va a ser de 1 ppm.
- El agua tendrá que estar independiente de azúcares o sus derivados. Por igual lo va a estar de sales de potasio o de sodio.
- Si se usa aguas no potables, la calidad del agua, definida por estudio de Laboratorio, tendrá que ser aprobada por la Supervisión.

- La selección de las proporciones de la mezcla de concreto se basará en resultados en los cuales se ha usado en la preparación del concreto el agua de la fuente escogida”

### **2.2.17. Agregados para el concreto**

(TORRE, 2004) “Antiguamente se mencionaba que los agregados eran recursos inertes dentro del concreto debido a que no intervenían de forma directa en las actitudes químicas, la tecnología actualizada instituye que siendo este material el que más grande % de colaboración va a tener en la unidad cúbica de concreto sus características y propiedades distintas influyen en cada una de las características del concreto. La predominación de este material en las características del concreto tiene impacto fundamental no únicamente en el destruido y calidad final del concreto sino además sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, características flexibles y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto endurecido. La regla de concreto E-060, ofrece que ha pesar que en ciertas situaciones agregados que no cumplen con los requisitos estipulados han demostrado un óptimo comportamiento en vivencias de obras ejecutadas, no obstante, debería tenerse presente que un comportamiento satisfactorio en el pasado no asegura buenos resultados bajo otras condiciones y en diferentes localizaciones, en el tamaño de lo viable deberán usarse agregados que cumplan con las especificaciones del plan. Los agregados en el concreto ocupan cerca de las 3 cuartas piezas del volumen, de allí la justificación para su idónea selección, además que agregados débiles podrían delimitar la resistencia del concreto por otro parte son dichos recursos los que dan una seguridad volumétrica al concreto y durabilidad”

### **2.2.17.1. Agregado**

(TORRE, 2004) “Se define como añadido al grupo de partículas inorgánicas de procedencia natural o artificial cuyas magnitudes permanecen comprendidas entre los parámetros fijados en la NTP 400.011. Los agregados son la etapa discontinua del concreto y son materiales que permanecen embebidos en la pasta y que ocupan alrededor del 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto”

### **2.2.17.2. Tamaño Mayor**

(TORRE, 2004) “Corresponde al menor tamiz por el cual pasa toda la muestra de añadido”

### **2.2.17.3. Tamaño Nominal Mayor**

(TORRE, 2004) “Corresponde al menor tamiz en el que se crea el primer retenido”.

### **2.2.17.4. Módulo de Fineza**

(TORRE, 2004) “Criterio Predeterminado en 1925 por Duff Abrams desde las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material usando la siguiente expresión”:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulados retenidos } (1\frac{1}{2}'' , \frac{3}{4}'' , 3/8'' , N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100)}{100}$$

### **2.2.17.5. Funcionalidades del agregado**

(TORRE, 2004) “El añadido dentro del concreto cumple primordialmente las próximas funcionalidades:

- Como esqueleto o relleno conveniente para la pasta (cemento y agua), disminuyendo el contenido de pasta en el metro cúbico.

- Da una masa de partículas capaz de resistir las ocupaciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que logren actuar sobre el concreto.
- Minimizar los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta”

(TORRE, 2004) “Los agregados finos son usualmente ubicados por un número nombrado Módulo de finura, que generalmente es más diminuto mientras el añadido es más fino. La capacidad de los agregados en el concreto es la de producir un esqueleto duro y estable lo cual se consigue uniéndolos con cemento y agua (pasta). Una vez que el concreto está fresco, la pasta además lubrica las partículas de añadido otorgándole cohesión y trabajabilidad a la mezcla. Para llevar a cabo satisfactoriamente con estas funcionalidades la pasta debería cubrir plenamente el área de los agregados”

(TORRE, 2004) “Si se fractura una roca, se disminuirá su tamaño y aparecerán novedosas zonas sin haberse modificado el peso total de roca. Por la misma razón, los agregados de menor tamaño poseen una más grande área para lubricar y demandarán más grande proporción de pasta. De modo que, para llevar a cabo concreto es aconsejable usar el más grande tamaño de añadido compatible con las propiedades de la composición”

#### **2.2.17.6. Proceso de producción**

(TORRE, 2004) “La producción de los agregados principalmente se hace a cielo abierto, y se acostumbra continuar las próximas ocupaciones:

- Supresión de las capas no exportables (rocas estériles, degradadas, alteradas, cubierta vegetal etc).
- Sustracción de los materiales: -Extracción de los materiales sin consolidar -Explotación mixta.
- Sustracción de materiales consolidados: frecuente utilizarse materiales explosivos para poder hacer la fragmentación de la piedra los cuales son transportados luego en dumpers o fajas transportadoras.
- Transporte a la planta de procedimiento: principalmente se trata que las canteras estén lo más cerca viable a la obra de ser primordial el transporte este podría ser: por medio de fajas transportadoras o con camiones y/o dumpers.
- Procedimiento de los agregados: Con el fin de obtener los agregados con las propiedades deseadas tienen la posibilidad de continuar las próximas fases:
  - El chancado o trituración, para reducir la medida de las partículas usando para eso conjuntos como chancadoras de mandíbula, percusión, giratorios, molinos de bolas u otros.
  - Intercalados entre las ocupaciones de chancado se aparecen los grupos de categorización que nos van a permitir elegir las partículas del material según sus tamaños separándolas en medio de las que pasan y las que no pasan.
  - Frecuentemente va ser primordial lavar el material para remover el exceso de finos que puede alterar la cohesión del material, así como la resistencia primordialmente.
  - Almacenamiento y envío”

#### **2.2.17.7. Canteras**

(TORRE, 2004) “En varias ocasiones corresponderá al contratista la localización y selección de las canteras de agregados accesibles en el área, esta tendrá que integrar estudios geológicos, petrográficos, estructura mineral del material características físicas, resistentes, precio de operación, rendimiento, potencialidad, accesibilidad etcétera. Estas canteras seleccionadas deberán ser aprobadas por la inspección previa presentación de certificados de ensayos en laboratorio. En la averiguación y selección de la cantera el ingeniero debería considerar sobre la localización, proporción de añadido solicitado la medida más alto a ser empleado y las propiedades en general de creación, asimismo debería estar comunicado sobre los efectos que sobre las características del concreto poseen la granulometría, las propiedades físicas y la estructura del añadido. El laboratorio seleccionado para la evaluación de las características de los agregados tendrá que disponer de conjuntos calibrados, y conocer de los métodos normalizados. La selección y aceptación final de la cantera va a ser elaborada por el inspector previa presentación por el contratista de los certificados de un Laboratorio Oficial. Por medio del análisis cuidadoso y selección idónea de las canteras a ser usadas, el proyectista va a poder conocer que agregados hay o tienen la posibilidad de ser accesibles en el sector de trabajo y la conveniencia o no de su implementación”

#### **2.2.17.8. Especificaciones técnicas de los agregados**

(TORRE, 2004) “Los agregados a usar en la obra deberán llevar a cabo las especificaciones técnicas que aseguren la calidad final de la obra. Esos agregados que no cumplan ciertos requisitos van a poder ser empleados continuamente que se demuestre con pruebas de laboratorio

o vivencia en obra que tienen la posibilidad de crear concretos de la calidad especificada. Los requisitos que tienen que llevar a cabo los agregados para uso en específico se hallan estipulados en ASTM C33 así como en NTP 400.037. Los agregados que van estar sometidos a humedecimiento, exposición prolongada a atmósferas húmedas, o en contacto con suelos húmedos no deberán tener ningún material que sea potencialmente reactivo con los álcalis del cemento con el propósito de eludir expansiones. El ensayo de seguridad de volumen se sugiere para agregados que serán empleados en concretos sometidos a procesos de congelación y deshielo. Esos agregados que no pasen esta prueba van a poder ser utilizados solamente mostrando que un concreto de propiedades semejantes en el área tiene un registro de servicio satisfactorio en aquellas condiciones de intemperismo. Asimismo, se necesita usar agregados con contenido de sales solubles totales en porcentajes menores del 0.015% en peso del cemento”

#### **2.2.18. Concreto**

(TORRE, 2004) “El concreto es un material heterogéneo el cual está compuesto primordialmente de la mezcla de cemento, agua y añadido fino y grueso. El concreto tiene un diminuto volumen de aire atrapado, y puede contener además aire intencionalmente incorporado por medio del trabajo de un aditivo”

(Rivva López, 2007, p.15) “Por igual, en la mezcla de concreto además se aplican a menudo otros aditivos para fines como por ejemplo apresurar o retardar el fraguado y el endurecimiento inicial, mejorar la trabajabilidad, minimizar los requisitos de agua de mezcla, aumentar la resistencia o cambiar otras características del concreto”

(Rivva López, 2007, p.15) “Adicionalmente, a la mezcla de concreto se le puede integrar determinados aditivos minerales, como por ejemplo las puzolanas,

las cenizas y las escorias de elevado horno al final molidos. Esta unión puede contestar a consideraciones de economía o se puede realizar para mejorar determinadas características del concreto: minimizar el calor de hidratación, incrementar la resistencia final, o mejorar la conducta de concreto frente al ataque por sulfatos o a la actitud de álcali agregados.”

#### **2.2.18.1. Elementos del concreto**

“La tecnología del concreto actualizada define para este material 4 elementos: Cemento, agua, agregados y aditivos como recursos activos y el aire como componente pasivo”. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.13)

“Si bien la definición clásico consideraba a los aditivos como un componente opcional, en la práctica actualizada mundial dichos conforman un componente regular, por cuanto está científicamente demostrada la conveniencia de su trabajo en mejorar condiciones de trabajabilidad, resistencia y durabilidad, siendo a la extensa una solución más económica si se toma presente el ahorro en mano de obra y equipo de colocación y compactación, mantenimiento, reparaciones e inclusive en reducción de uso de cemento”. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.13).

“Ya hemos predeterminado conceptualmente la necesidad de conocer a hondura las características de los elementos del concreto, sin embargo, debemos puntualizar que, de todos ellos, el que amerita un entendimiento particular es el cemento. Si analizamos la figura siguiente, en que se esquematizan las proporciones típicas en volumen absoluto de los elementos del concreto. Concluiremos en que el cemento es el componente activo que participa en menor porción, sin embargo, no obstante, es el que define las tendencias del comportamiento” (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.14)

Aire =	1 % a 3 %
Cemento =	7 % a 15 %
Agua =	15 % a 22 %
Agregados =	60 % a 75 %

*Ilustración 3: Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto (Fuente: Tópicos de Tecnología del Concreto- Enrique Pasquel)*

“En la imagen mostrada, A pesar de que en nuestra formación en Ingeniería Civil todos asimilamos los conceptos básicos de química, no es común que entre los compañeros de trabajo exista mucha afición hacia este campo (como es además la situación nuestra). No obstante, se necesita tener el razonamiento general de las secuelas de las actitudes que se generan, por lo cual a lo largo del desarrollo de dichos temas insistiremos en los puntos prácticos antes que en el detalle de fórmulas y combinaciones químicas si no aportan información de aplicación directa para el Ingeniero Civil”. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.16)

#### **2.2.18.2. Características del concreto**

“Las propiedades del concreto han de ser funcionalidad del fin para el cual está designado. Por esto la selección de las proporciones de la unidad cubica de concreto debería permitir obtener un concreto con la facilidad de colocación, densidad, resistencia, durabilidad u otras características que se piensan correctas para la situación especial para el cual la mezcla está siendo diseñada” (Rivva López, 2007, p.37)

“Al elegir las características de la mezcla debería tenerse en importancia las condiciones de colocación, la calidad y vivencia del personal profesional y técnico, la interrelación entre las múltiples características del concreto, así como la importancia de que el concreto debería ser económico no solo en su primer precio sino además en sus futuros servicios”. (Rivva López, 2007, p.37)

“En las secciones y acápite siguientes se analizan ciertos de los primordiales puntos que poseen predominación sobre las primordiales características del concreto”. (Rivva López, 2007, p.37).

### **2.2.18.3. Concreto fresco**

#### **2.2.18.3.1. Trabajabilidad**

“Se entiende por trabajabilidad a aquella propiedad del concreto al estado no endurecido la cual establece su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado y consolidado correctamente, con un mínimo de trabajo y un mayor de homogeneidad, así como para ser destruido sin que se presenten segregación”. (Rivva López, 2007, p.37)

“La trabajabilidad es una propiedad que no es mensurable ya que está dedicada a las propiedades y perfil del encofrado, a la porción y repartición del acero de refuerzo y recursos embebidos, y al método empleado para compactar el concreto”. (Rivva López, 2007, p.37)

“No obstante, para facilidad de trabajo y de selección de las proporciones de la mezcla, se reconoce que la trabajabilidad se refiere a el contenido de cemento en la mezcla, con las propiedades, granulometría, interacción de los agregados

fino - grueso, y proporción del añadido en la mezcla, con la proporción de agua y aire en la mezcla con la existencia de aditivos, y con las condiciones del medio ambiente". (Rivva López, 2007, p.38)

#### **2.2.18.3.2. Segregación**

"Las diferencias de densidades entre los elementos del concreto ocasionan una tendencia natural a que las partículas más pesadas desciendan, empero generalmente, la densidad de la pasta con los agregados finos es solo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo que sumado a su viscosidad crea que el añadido grueso quede suspendido e inmerso en la matriz" (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.137)

"Una vez que la viscosidad del mortero se disminuye por insuficiente concentración de la pasta, mala repartición de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se dividen del mortero y se genera lo cual se sabe cómo segregación. En los concretos con contenidos de roca > del 55% en peso con respecto al peso total de los agregados, es recurrente confundir la segregación con el aspecto regular de dichos concretos, lo que es bastante fácil de revisar obteniendo 2 muestras de concreto fresco de sitios diferentes y equiparar el contenido de gruesos por lavado, que no tienen que deducir en más del 6%" (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.139)

#### **2.2.18.3.3. Exudación**

"Propiedad por la cual una sección del agua de mezcla se separa de la masa y se asciende hacia el área del concreto. "Es un caso típico de sedimentación en que los rígidos

se asientan en la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, anteriormente que el impacto de la viscosidad y la diferencia de densidades”. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.139)

“Está influenciada por la proporción de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo cual cuanto más fina es la molienda de este y más grande es el porcentaje de material menor que la malla N°100, la exudación va a ser menor puesto que se retiene el agua de la mezcla “(Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.139)

“La exudación se crea inevitablemente en el concreto, puesto que es una propiedad inherente a su composición, después lo fundamental es evaluarla y controlarla referente a los efectos negativos que pudiera tener” (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.139)

#### **2.2.18.3.4. Contracción**

“Es una de las características más relevantes en funcionalidad de los inconvenientes de fisuración que acarrea a menudo” (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.140)

“Ya hemos observado que la pasta de cemento precisamente se contrae gracias a la reducción del volumen original de agua por mezcla química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible” (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.140)

(TORRE, 2004) “Sin embargo, además existe otro tipo de contracción inherente además a la pasta de cemento y es

la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los inconvenientes de fisuración, ya que pasa tanto en el estado plástico como en el endurecido si se posibilita la pérdida de agua en la mezcla”

“Este proceso no es irreversible, debido a que, si se repone el agua perdida por secado, se recupera parte importante de la contracción acaecida” (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.140)

“Esta propiedad se tratará con mucha amplitud al tocar el asunto de los cambios volumétricos en el concreto, siendo lo importante en este capítulo, el tener claro que el concreto de cualquier manera se contrae y si no tomamos las medidas correctas indefectiblemente se fisura, y en varios casos esta figuración es ineludible por lo cual solo resta preverla y orientarla” (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.140)

#### **2.2.18.4. Concreto endurecido**

##### **2.2.18.4.1. Elasticidad**

(TORRE, 2004) “Generalmente, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación persistente. El concreto no es un material flexible estrictamente hablando, debido a que no posee un comportamiento lineal en ningún tramo de su diagrama carga vs deformación en compresión, no obstante, convencionalmente se acostumbra conceptualizar un “Modulo de elasticidad estático” del concreto por medio de una recta tangente a la parte inicial del diagrama, o una recta secante que junta los principios del diagrama con un punto predeterminado que comúnmente es un % de la tensión ultima.

Los módulos de elasticidad habituales oscilan entre 250,000 a 350,000 Kg/cm<sup>2</sup> y permanecen relacionadas directa con la resistencia en compresión del concreto y relacionadas inversas con la interacción agua/cemento.”

“Conceptualmente, las mezclas más ricas poseen módulos de Elasticidad más grandes y más grande capacidad de deformación que las mezclas pobres. La regla que instituye como establecer el Módulo de elasticidad estático del concreto es la ASTM C-469”. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.140)

#### **2.2.18.4.2. Resistencia**

“Es la funcionalidad de tolerar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión comparativamente con la tracción, gracias a las características adherentes de la pasta de cemento” (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.141)

“Es dependiente primordialmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra manifestar en términos de la interacción Agua/Cemento en peso”. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.141)

“La están afectando además los mismos componentes que influyen en las propiedades resistentes de la pasta, como son la temperatura y la era, aunados a otros recursos extras constituidos por el tipo y propiedades resistentes del cemento en especial que se utilice y de la calidad de los agregados, que complementan la composición del concreto”. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.141)

“Un componente indirecto, sin embargo, no por esa razón menos fundamental en la resistencia, lo constituye el curado debido a que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se lleguen a desarrollar enteramente las propiedades resistentes del concreto. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.141)

Los concretos habituales habitualmente poseen resistencias en compresión del orden de 100 a 400 Kg/cm<sup>2</sup>, habiéndose logrado optimizaciones de diseños sin aditivos que permitieron obtener resistencias sobre los 700 Kg/cm<sup>2</sup>” (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.141)

“Tecnologías con trabajo de los denominados polímeros, constituidos por aglomerantes sintéticos que se agregan a la mezcla, permiten obtener resistencias en compresión que bordean los 1500 kg/cm<sup>2</sup>, y todo parece indicar que el desarrollo de estas técnicas dejará en el futuro superar inclusive dichos niveles de resistencia” (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.141)

#### **2.2.18.4.3. Extensibilidad**

“Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en funcionalidad de la deformación unitaria máxima que puede aceptar el concreto sin que ocurran fisuraciones”.

“Es dependiente de la elasticidad y del nombrado flujo plástico, construido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en la era”. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.143)

“El flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperable, estando referente además con la contracción, a pesar de ser 2 fenómenos nominalmente independientes”.

“La micro fisuración surge comúnmente en torno al 60% del esfuerzo último, y a una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones tradicionales la fisuración visible surge para 0.003 de deformación unitaria”. (Pasquel Carbajal, 1998-1999, p.143)

### **2.3. Definición de términos básicos**

- Pavimento rígido: tipo de pavimento compuesto por losas de concreto, que se caracterizan por ser duraderos, resistentes y capaces de soportar cargas pesadas.
- Deterioro: proceso por el cual los pavimentos rígidos experimentan daños, pérdida de resistencia y disminución del rendimiento.
- Fisuras: grietas que se presentan en la superficie de los pavimentos rígidos, las cuales pueden ser causadas por asentamiento del terreno, cambios de temperatura, entre otros.
- Grietas: aberturas que se forman en la superficie del pavimento rígido, las cuales pueden ser causadas por cargas pesadas, deformación del pavimento, entre otros.
- Reparación: acción de corregir o subsanar los daños o fallos que presentan los pavimentos rígidos.
- Mantenimiento: conjunto de acciones preventivas y correctivas que se realizan para garantizar el buen estado y la durabilidad de los pavimentos rígidos.

- Rehabilitación: proceso por el cual se realizan mejoras y reparaciones en los pavimentos rígidos con el objetivo de prolongar su vida útil y mejorar su desempeño.
- Asentamiento: proceso por el cual el terreno debajo del pavimento rígido se comprime y se hunde, lo que puede generar fisuras y grietas en la superficie del pavimento.
- Resistencia: capacidad del pavimento rígido para soportar cargas pesadas sin sufrir daños o deformaciones permanentes.
- PCI: Índice de Condición del Pavimento, una medida que se utiliza para evaluar la condición y el estado de los pavimentos rígidos.
- Técnica de rehabilitación: procedimiento utilizado para restaurar o mejorar la funcionalidad y el desempeño de los pavimentos rígidos.
- Materiales de pavimentación: materiales utilizados para la construcción de los pavimentos rígidos, que incluyen concreto, asfalto, cemento, entre otros.
- Capacidad portante: capacidad del pavimento rígido para soportar cargas pesadas sin sufrir daños o deformaciones permanentes.
- Carga de diseño: carga máxima para la cual se diseñó el pavimento rígido, teniendo en cuenta las características del terreno y las condiciones de uso.
- Análisis de fallas: técnica que se utiliza para identificar las causas de los problemas y fallos en los pavimentos rígidos, con el objetivo de prevenir su recurrencia en el futuro.
- Carretera: Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de al menos 2 ejes, con propiedades geométricas definidas según las reglas técnicas vigentes
- Afirmado: Capa compactada de material granular natural o procesado con gradación específica que aguanta de manera directa las cargas y esfuerzos del tránsito. Debería tener la porción adecuada de material fino cohesivo que

posibilite conservar aglutinadas las partículas. Funciona como área de rodadura en carreteras y trochas carrozables.

- Carretera pavimentada: Carretera cuya área de rodadura está constituida por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto Pórtland (rígida).
- Pavimento: Composición construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y repartir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de estabilidad y tranquilidad para el tránsito. Generalmente está constituida por las próximas capas: subbase, base y rodadura.
- Rasante: Grado culminado del área de rodadura. La línea de rasante se encuentra en el eje de la vía.
- Subrasante: área terminada de la carretera a grado de desplazamiento de tierras (corte o relleno), sobre la cual se sitúa la composición del pavimento o aseverado.
- Base: Capa de material selecto y procesado que se sitúa entre la parte preeminente de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa podría ser además de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la composición de un pavimento.
- Subbase: Capa que pertenece a la composición de un pavimento que está velozmente por abajo de la capa de Base.
- Adoquinado: Tipo de pavimento cuya área de rodadura está formada por adoquines.
- Adoquín: Roca labrada, concreto u otro material a modo de un prisma para uso en pavimentos con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser la situación aditivos.
- Pavimento duro: Construido por cemento Pórtland como aglomerante, agregados y de ser la situación aditivo

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La aplicación de estrategias efectivas para mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco - 2020, mejorará significativamente la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- La utilización del método PCI (Índice de Condición del Pavimento) como estrategia de evaluación y seguimiento del estado de los pavimentos rígidos, permitirá una reducción en el deterioro del pavimento y, por lo tanto, mejorará su durabilidad en proyectos de la provincia de Pasco - 2020.
- La identificación de la relación entre las condiciones climáticas locales y el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco - 2020, permitirá la implementación de medidas preventivas y correctivas para mitigar el efecto del clima en el deterioro del pavimento, mejorando así su durabilidad y eficiencia.

## **2.5. Identificación de variables**

### **2.5.1. Variable independiente**

Las variables independientes son:

- Método PCI
- Clima – deterioro

### **2.5.2. Variable dependiente**

La variable dependiente es: deterioro del pavimento.

- Recursos alcanzados
- Recursos utilizados

### **2.5.3. Variable interviniente**

- Residente de obras

- Asistentes
- Jefes de Área
- Ingenieros de Producción
- Ingeniero de Mecánica de Suelos.

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Variable	Definición	Indicador
Método PCI	Se evaluará de acuerdo al manual PCI que indica la norma ASTM (2018). D 6433-7,	El cual se determinará el índice PCI, este tipo de índice nos ayudará a determinar las degradaciones superficiales los cuales se evidencia en los pavimentos rígidos o de concreto que normalmente es conocido en nuestro mundo de la ingeniería.
Clima – Deterioro	Es una evaluación entre estos dos factores que se realizara en el pavimento, para nuestro caso se realizara la evaluación del clima frio.	De terminar el PCI funcional o superficial, y se evaluará la rotura por pandeo, además se evaluará por Grieta de durabilidad, y otros.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es un aspecto importante a considerar en cualquier proyecto de investigación, ya que nos permite definir cómo se va a abordar el problema y qué métodos y técnicas se utilizarán para alcanzar los objetivos. En este caso, el proyecto de investigación se enfoca en el desarrollo de estrategias para mitigar el deterioro de pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco - 2020.

La investigación puede ser de distintos tipos, dependiendo del objetivo y la metodología que se utilice para recopilar y analizar los datos. En este caso, se trata de una investigación aplicada, que se enfoca en resolver un problema concreto en un contexto específico.

La investigación aplicada implica el uso de conocimientos teóricos y prácticos para resolver problemas o situaciones específicas en la práctica. A diferencia de la investigación básica, que se centra en la generación de nuevos conocimientos teóricos sin una aplicación práctica inmediata, la investigación aplicada se enfoca en la solución de problemas reales.

En este proyecto, se utilizarán diversas técnicas y herramientas para evaluar el estado de los pavimentos rígidos, identificar las causas y mecanismos de deterioro, y desarrollar estrategias específicas para mitigar el deterioro y mejorar la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos. Estas estrategias se basarán en la revisión de casos de éxito, el análisis de la relación entre el clima y el deterioro, y la evaluación de tecnologías innovadoras para el monitoreo del estado de los pavimentos rígidos.

En resumen, la investigación aplicada se enfoca en la solución de problemas prácticos, utilizando conocimientos teóricos y técnicas específicas para mejorar la eficiencia y eficacia de un proceso o sistema en un contexto determinado. En este proyecto, se busca desarrollar estrategias para mejorar la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos rígidos en la provincia de Pasco - 2020, mediante la aplicación de conocimientos teóricos y herramientas prácticas de evaluación y monitoreo del estado de los pavimentos.

### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación de este proyecto es de nivel aplicado. La investigación aplicada se enfoca en la resolución de problemas concretos en un contexto específico, utilizando conocimientos teóricos y prácticos para su solución. En este caso, el problema específico que se aborda es el deterioro de pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco, y se busca desarrollar estrategias específicas para mitigar este problema y mejorar la eficiencia y durabilidad del servicio de los pavimentos.

La investigación aplicada se basa en la aplicación de conocimientos teóricos y prácticos a problemas reales, utilizando técnicas y herramientas específicas para su resolución. En este proyecto, se utilizarán diversas técnicas y herramientas para evaluar el estado de los pavimentos rígidos, identificar las causas y mecanismos de deterioro, y desarrollar estrategias específicas para

mitigar el deterioro y mejorar la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos.

En resumen, el nivel de investigación de este proyecto es de nivel aplicado, ya que se enfoca en resolver un problema específico en un contexto específico, utilizando conocimientos teóricos y prácticos para su resolución. La investigación aplicada es importante para la solución de problemas prácticos y la mejora de la eficiencia y eficacia de un proceso o sistema en un contexto determinado.

### **3.3. Métodos de investigación**

El método de investigación es el proceso sistemático y riguroso que se utiliza para planificar, recopilar, analizar e interpretar los datos necesarios para alcanzar los objetivos de la investigación. En este caso, el proyecto de investigación se enfoca en el desarrollo de estrategias para mitigar el deterioro de pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco - 2020.

Existen distintos métodos de investigación que se pueden utilizar, dependiendo del problema y los objetivos de la investigación. En este proyecto, se utilizará un método de investigación mixto, que combina elementos de investigación cuantitativa y cualitativa.

La investigación cuantitativa se enfoca en el análisis de datos numéricos y estadísticos, con el fin de establecer relaciones entre variables y realizar generalizaciones a partir de una muestra representativa de la población. En este proyecto, se utilizarán técnicas cuantitativas para evaluar el estado de los pavimentos rígidos y determinar la relación entre el clima y el deterioro, utilizando herramientas como el Índice de Condición del Pavimento (PCI).

Por otro lado, la investigación cualitativa se enfoca en el análisis de datos no numéricos, como las percepciones, opiniones y experiencias de los individuos

o grupos. En este proyecto, se utilizarán técnicas cualitativas para revisar la literatura existente, analizar casos de éxito y experiencias de otras ciudades o provincias en la mitigación del deterioro de los pavimentos rígidos.

Además, se utilizará un enfoque mixto para combinar los datos cuantitativos y cualitativos, con el fin de obtener una comprensión más completa del problema y desarrollar estrategias más efectivas para mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos.

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño de investigación se refiere a la estrategia general que se utilizará para llevar a cabo la investigación y alcanzar los objetivos planteados. En el caso del proyecto de investigación "Estrategias para mitigar el deterioro de pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco - 2020", se utilizará un diseño de investigación no experimental y transversal.

El diseño no experimental implica que no se manipularán deliberadamente las variables de interés, sino que se observarán y analizarán los datos tal como se presentan naturalmente. En este caso, se utilizarán datos de observación de pavimentos rígidos existentes en proyectos de la provincia de Pasco para evaluar su estado y determinar las estrategias para mitigar su deterioro.

El diseño transversal implica que se recogerán datos en un momento específico en el tiempo. En este proyecto, se recogerán datos en un momento específico del estado de los pavimentos rígidos existentes en proyectos de la provincia de Pasco, y se analizarán para determinar las estrategias para mitigar su deterioro.

El diseño de investigación no experimental y transversal es apropiado para este proyecto, ya que se enfoca en evaluar el estado actual de los pavimentos rígidos y desarrollar estrategias para mitigar su deterioro, en lugar de manipular

deliberadamente las variables de interés. Además, este diseño permite recolectar datos de manera eficiente y con menor costo, en comparación con diseños experimentales y longitudinales que requieren un seguimiento a largo plazo de los sujetos o condiciones.

El diseño por tener dos conjuntos laborales, se representa de la siguiente forma:

$$\text{Discuncion de Resultados} = I_1 \rightarrow Ti \rightarrow I_2$$

Donde:

- I1 = Problema
- Ti = Trabajo de investigación
- I2 = Conclusiones

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población en este proyecto de investigación son los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco que presentan deterioro y requieren de estrategias para mitigar su degradación. Es decir, se trata de todos los pavimentos rígidos existentes en la provincia de Pasco que cumplen con los criterios de selección establecidos.

#### **3.5.2. Muestra**

##### **3.5.2.1. Muestreo por conveniencia**

La muestra se seleccionó utilizando la técnica de muestreo por conveniencia, seleccionando tres proyectos específicos: la creación de pistas y veredas del barrio Yanacocha Baja en el distrito de Huariaca, el mejoramiento del ornato público en el Jr. 28 de Julio del A.A.H.H. Uliachin del sector 02 al sector 06 en el distrito de Chaupimarca, y la ampliación de la capacidad de los servicios educativos de los laboratorios y talleres de práctica de las carreras de enfermería técnica, técnica en farmacia y guía

oficial de turismo del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público Pasco.

En cada uno de estos proyectos, se aplicó la norma ASTM D6433 para la determinación del tamaño de la muestra. Se seleccionó una muestra de  $225 \pm 90 \text{ m}^2$  por proyecto, lo que permite obtener una muestra representativa del estado de los pavimentos rígidos en cada uno de ellos. La muestra se seleccionó de manera aleatoria dentro de cada proyecto, asegurando que sea lo suficientemente amplia y representativa de la población en estudio.

*2.1.7 pavement sample unit*—a subdivision of a pavement section that has a standard size range: 20 contiguous slabs ( $\pm 8$  slabs if the total number of slabs in the section is not evenly divided by 20 or to accommodate specific field condition) for PCC pavement, and 2500 contiguous square feet,  $\pm 1000 \text{ ft}^2$  ( $225 \pm 90 \text{ m}^2$ ), if the pavement is not evenly divided by 2500 or to accommodate specific field condition, for AC pavement.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

- Observación: Esta técnica se utilizará para observar el estado actual de los pavimentos rígidos y registrar las condiciones climáticas locales. Se utilizará una lista de verificación para registrar los datos de la observación.
- Análisis de documentación: Se analizarán los informes técnicos, normas y reglamentos que rigen la construcción y mantenimiento de pavimentos rígidos en la provincia de Pasco.
- Utilización del software: Se utilizarán software especializados en la evaluación y diseño de pavimentos rígidos, tales como Pavement ME Design, para realizar simulaciones y análisis de las condiciones de los pavimentos.

### **3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

- Análisis estadístico: Se pueden utilizar técnicas estadísticas como el análisis de regresión para determinar la relación entre variables como las condiciones climáticas y el deterioro de los pavimentos.

- Modelos de simulación: Se pueden utilizar modelos de simulación de pavimentos para predecir la vida útil del pavimento y evaluar el efecto de diferentes estrategias de mantenimiento y rehabilitación en la durabilidad del pavimento.

### **3.8. Tratamiento estadístico**

- Media: Es el valor promedio de una variable. En este caso, se podría calcular la media de los valores de PCI y otras variables relevantes para los pavimentos evaluados.
- Mediana: Es el valor medio de una serie de datos. Se utiliza para eliminar los efectos de los valores atípicos.
- Moda: Es el valor que aparece con mayor frecuencia en un conjunto de datos.
- Desviación estándar: Es una medida de dispersión que indica la variabilidad de los datos con respecto a la media.

### **3.9. Orientación ética filosófica y epistémica**

Es importante tener en cuenta que la investigación debe ser realizada con una orientación ética adecuada, respetando los derechos de las personas y garantizando la confidencialidad de los datos recopilados.

Es fundamental contar con la aprobación del comité de ética correspondiente y obtener el consentimiento informado de los participantes, explicándoles de manera clara y detallada los objetivos y procedimientos de la investigación, así como los posibles riesgos y beneficios.

Asimismo, se debe garantizar la privacidad y confidencialidad de los datos de los participantes y asegurar que solo sean utilizados para los fines de la investigación.

En caso de que se identifiquen posibles riesgos o problemas durante la investigación, es importante tomar medidas inmediatas para proteger a los participantes y garantizar su bienestar.

El trabajo de investigación, no dejará consecuencias negativas en los usuarios estudiados, ni a la entidad pública el cual fue evaluado o estudiado que en nuestro caso es el Gobierno Regional de Pasco.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Descripción del trabajo de campo

##### 4.1.1. Datos preliminares

Los datos preliminares para la evaluación del pavimento se han tomado en consideración lo siguiente:

##### 4.1.1.1. UNIDADES DE MUESTRA:

El área de muestreo se realizará en base a la norma ya en mención, para nuestro caso se tomará una unidad de muestra de 225 +- 90m<sup>2</sup> de acuerdo a la norma en mención.

*2.1.7 pavement sample unit*—a subdivision of a pavement section that has a standard size range: 20 contiguous slabs ( $\pm 8$  slabs if the total number of slabs in the section is not evenly divided by 20 or to accommodate specific field condition) for PCC pavement, and 2500 contiguous square feet,  $\pm 1000$  ft<sup>2</sup> ( $225 \pm 90$  m<sup>2</sup>), if the pavement is not evenly divided by 2500 or to accommodate specific field condition, for AC pavement.

##### 4.1.1.2. NÚMERO TOTAL DE MUESTRAS

El número total de muestras en base a la norma será de:

$$n = Ns^2 / ((e^2/4)(N - 1) + s^2)$$

Donde:

- $N$  = total number of sample units in the section
- $e$  = acceptable error in estimating the section PCI; commonly,  $e = \pm 5$  PCI points
- $s$  = standard deviation of the PCI from one sample unit to another within the section. When performing the initial inspection the standard deviation is assumed to be ten for AC pavements and 15 for PCC pavements. This assumption should be checked as described below after PCI values are determined. For subsequent inspections, the standard deviation from the preceding inspection should be used to determine  $n$ ; and,

Para nuestro caso el Valor de  $S$ , será de 15 y el valor de  $e$  será de 5%, que significa que del total de valores  $N$ , solo  $n$  serán evaluadas.

**4.1.1.2.1. Creación de pistas y veredas del barrio Yanacocha baja (a.a.h.h. celso curi), distrito de huariaca - pasco – pasco**

se tiene los siguientes datos preliminares:

a. Muestreo y unidades de Muestra

Máximo	315.00	m <sup>2</sup>
Mínimo	135.00	m <sup>2</sup>
Tramo a estudiar	0+000	al 0+500
Longitud de vía	500.00	m
Ancho de Calzada	7.00	m
Longitud de Muestra	20.00	m
Área de Muestra	140.00	m <sup>2</sup>

N, Número Total de Muestras	25.00
s, Desviación Estándar	15.00
e, Error Aceptable	5.00 %
n, unidades a ser evaluadas	15.00

b. Selección de Unidades de Muestreo

i, unidades de muestreo	1.67
i, unidades de muestreo (R)	1.00

**4.1.1.2.2. Mejoramiento del ornato publico en el jr. 28 de julio del aa.hh. Uliachin del sector 02 al sector 06, distrito de Chaupimarca - prov. y departamento de Pasco**

se tiene los siguientes datos preliminares:

a. Muestreo y unidades de Muestra

Máximo	315.00 m2
Mínimo	135.00 m2
Tramo a estudiar	0+000 al 0+500
Longitud de vía	500.00 m
Ancho de Calzada	7.00 m
Longitud de Muestra	20.00 m
Área de Muestra	140.00 m2

N, Número Total de Muestras	25.00
s, Desviación Estándar	15.00
e, Error Aceptable	5.00 %
n, unidades a ser evaluadas	15.00

b. Selección de Unidades de Muestreo

i, unidades de muestreo	1.67
-------------------------	------

i, unidades de muestreo (R) 1.00

**4.1.1.2.3. Ampliación de la capacidad de los servicios educativos de los laboratorios y talleres de practica de las carreras de enfermería técnica, técnica en farmacia y guía oficial de turismo del instituto de educación superior tecnológico publico pasco**

se tiene los siguientes datos preliminares:

a. Muestreo y unidades de Muestra

Máximo	315.00 m2
Mínimo	135.00 m2
Tramo a estudiar	0+000 al 0+500
Longitud de vía	500.00 m
Ancho de Calzada	7.00 m
Longitud de Muestra	20.00 m
Área de Muestra	140.00 m2
N, Número Total de Muestras	25.00
s, Desviación Estándar	15.00
e, Error Aceptable	5.00 %
n, unidades a ser evaluadas	15.00

b. Selección de Unidades de Muestreo

i, unidades de muestreo	1.67
i, unidades de muestreo (R)	1.00

**4.1.2. Datos específicos**

Para los proyectos en evaluación, se han tomado lo siguientes datos específicos, que se evaluarán los pavimentos

#### 4.1.2.1. Tipos de falla:

De acuerdo a la Norma ASTM\_D6433, se tiene las siguientes fallas:

- |                       |                            |                                  |                         |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 1. Alligator Cracking | 6. Depression              | 11. Patching & Util Cut Patching | 16. Shoving             |
| 2. Bleeding           | 7. Edge Cracking           | 12. Polished Aggregate           | 17. Slippage Cracking   |
| 3. Block Cracking     | 8. Jt. Reflection Cracking | 13. Potholes                     | 18. Swell               |
| 4. Bumps and Sags     | 9. Lane/Shoulder Drop Off  | 14. Railroad Crossing            | 19. Weathering/Raveling |
| 5. Corrugation        | 10. Long & Trans Cracking  | 15. Rutting                      |                         |

Que son evaluadas en base al siguiente cuadro:

TIPOS DE FALLA			
N°	Tipo de Falla	Causas	Und
1	Piel de Cocodrillo	Otros	m2
2	Exudacion	Otros	m2
3	Agrietamiento en Bloque	Otros	m2
4	Abultamiento y Hundimiento	Otros	m2
5	Corrugacion	Otros	m2
6	Depresion	Otros	m2
7	Grieta de Borde	Otros	m
8	Grieta de reflexion de Junta	Otros	m
9	Desnivel Carril/Berma	Otros	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	Otros	m
11	Parqueo	Otros	m2
12	Pulimientos de Agregados	Otros	m2
13	Huecos	Otros	Und
14	Cruce de Via Ferrea	Otros	m2
15	Ahuellamiento	Otros	m2
16	Desplazamiento	Otros	m2
17	Grieta Parabolica	Otros	m2
18	Hinchamiento	Otros	m2
19	Desprendimiento de Agregados	Otros	m2
21	Rotura por Pandeo	Clima	m2
22	Rotura de la Esquina	Carga	m2
23	Losa Dividida	Carga	und
24	Grieta de Durabilidad ("D")	Clima	m

25	Escalonamiento	Otros	Und
26	Daño del Sello de Junta	Clima	Und
27	Desnivel Carril / Berma	Otros	Und
28	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	Carga	m
29	Parqueo Grande (>0.5 m2) y Acometidas de Servicios Públicos	Otros	m2
30	Parqueo Pequeño (≤0.5 m2)	Otros	m2
31	Pulimento de Agregados	Otros	m2
32	Desprendimientos	Otros	m2
33	Bombeo	Otros	m2
34	Punzonamiento	Carga	m2
35	Cruce de Vía Férrea	Otros	und
36	Descascaramiento por Agrietamiento	Otros	m2
37	Grietas de Retracción	clima	m
38	Astillamiento de Esquina	clima	und
39	Astillamiento de Junta	clima	und

#### 4.1.2.2. Clasificación de severidad

De acuerdo a la Norma ASTM\_D6433, se tiene la siguiente clasificación de severidad:

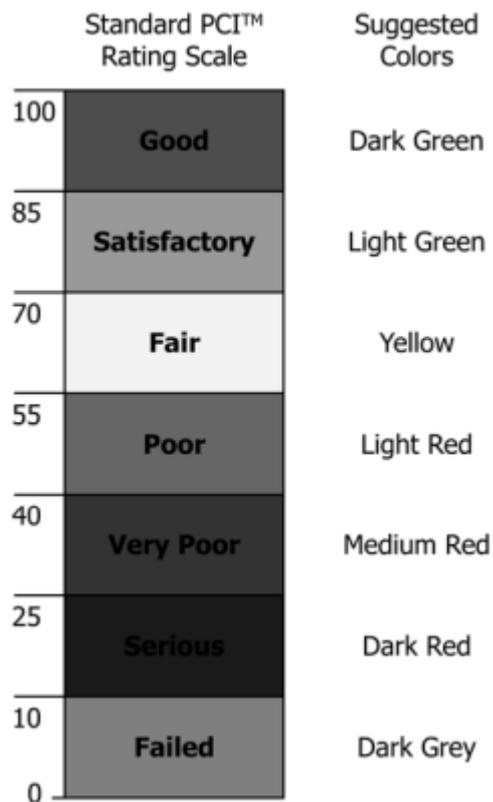
- l or L = percent density of low severity distress percent
- m or M = percent density of medium severity distress percent
- h or H = percent density of high severity distress percent

CLASIFICACIÓN DE SEVERIDAD		
Baja	Low	L
Media	Medium	M
Alta	High	H

#### 4.1.2.3. Condición del estado del pavimento

De acuerdo a la Norma ASTM\_D6433, se tiene las siguientes condiciones del estado del pavimento:

CONDICIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO		
PCI		CLASIFICACIÓN
85	100	Excelente
70	85	Muy Bueno
55	70	Bueno
40	55	Regular
25	40	Malo
10	25	Muy Malo
0	10	Fallado



### 4.1.3. Matriz de evaluación para fallas en pavimentos flexibles

De acuerdo a Paola Beatriz Leguía Loarte y Hans Fernando Pacheco Risco en su proyecto de investigación: Evaluación Superficial Del Pavimento Flexible Por El Método PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI) En Las Vías Arteriales: Cincuentenario, Colón Y Miguel Grau (Huacho-Huaura-Lima), indican:

N°	CLASE DE FALLA	SÍMBOLO	UNIDAD	CARACTERÍSTICAS	SEVERIDAD		
					L	M	H
					Low (Baja)	Medium (Medio)	High (Alta)
1	Piel de Cocodrilo	PC	m <sup>2</sup>	Severidad de grietas	s < 10mm	10mm < s < 30mm	s > 30mm
				Interconexión	Baja	Definida	Bien definida
				Descascaramientos	NP (no presenta)	Ligero	Bien definido
				Desprendimientos	NP (no presenta)	NP (no presenta)	Bien definido
2	Exudación	EX	m <sup>2</sup>	Grado de exudación	Ligero	Medio	Intenso
				El asfalto se pega a las ruedas de vehículos y zapatos	Pocos días al año	Pocas semanas al año	Varias semanas al año
3	Agrietamiento en Bloque	BLO	m <sup>2</sup>	Severidad de grietas que definen los bloques	s < 10mm	10mm < s < 76mm	s > 76mm
4	Abultamientos y Hundimientos	ABH	m <sup>2</sup>	Severidad del tránsito	baja	media	alta
5	Corrugación	COR	m <sup>2</sup>	Severidad del tránsito	baja	media	alta
6	Depresión	DEP	m <sup>2</sup>	Severidad del tránsito	13mm < h < 25mm	25mm < h < 51mm	h > 51mm
7	Grieta de Borde	GB	m	Fragmentación o desprendimientos	NP (no presenta)	Poco Definido	Bien definido
				Severidad	s < 10mm	10mm < s < 76mm	s > 76mm
				Agrietamiento	bajo	medio	severo
8	Grieta de Reflexión de Junta	GR	m	Grieta sin relleno	s < 10mm	10mm < s < 76mm	s > 76mm
				Grieta con relleno			
9	Desnivel Carril Berma	DN	m	Elevación entre el borde del pavimento y la berma	25mm < h < 51mm	51mm < h < 102mm	h > 102mm

10	Grietas Longitudinales y Transversales	GLT	m	Severidad de las grietas	s < 10mm	10mm < s < 76mm rodeado o no por grietas aleatorias	s > 76mm rodeado por grietas aleatorias de severidad M o H
11	Parcheo	PA	m <sup>2</sup>	Condición del parche	Buen estado	Moderadamente deteriorado	Muy deteriorado
				Severidad del tránsito	baja	media	alta
12	Pulimento de Agregados	PU	m <sup>2</sup>	Grado de pulimento deberá ser significativo para ser considerado como defecto.	ND (no definido)	ND (no definido)	ND (no definido)
13	Huecos	HUE	unid	Huecos con diametro menor a 762mm (d < 762mm)	102mm < d < 203mm h < 25.4mm	102mm < d < 203mm h > 50.8mm	203mm < d < 457mm h > 50.8mm
					102mm < d < 203mm 25.4mm < h < 50.8mm	203mm < d < 457mm 25.4mm < h < 50.8mm	457mm < d < 762mm 25.4mm < h < 50.8mm
					203mm < d < 457mm h < 25.4mm	457mm < d < 762mm h < 25.4mm	457mm < d < 762mm h > 50.8mm
				Huecos con diametro mayor a 762mm (d > 762mm) N = A.0.47	No definido	h ≤ 25mm	h ≥ 25mm
14	Cruce de vía férrea	CVF	m <sup>2</sup>	Severidad del tránsito	baja	media	alta
15	Ahuellamientos	AHU	m <sup>2</sup>	Profundidad media del ahuellamiento (mm)	6mm < h < 13mm	13mm < h < 25mm	h > 25mm
16	Desplazamientos	DES	m <sup>2</sup>	Severidad del tránsito	baja	media	alta
17	Grieta Parabólica	GP	m <sup>2</sup>	Severidad de la grieta	s < 10mm	10mm < s < 38mm	s > 38mm
				Área alrededor de la grieta	Normal	Fracturada levemente	Fracturada severamente

18	Hinchamiento	HN	m <sup>2</sup>	Severidad del tránsito	baja	media	alta
19	Desprendimiento de Agregados	DAG	m <sup>2</sup>	Desprendimientos	bajo	regular	considerable
				Textura superficial	Normal	Moderadamente rugosa y ahuecada	Muy rugosa y severamente ahuecada
					No puede penetrarse	Puede penetrarse con	Ammosolc enltos

En la sección de resultados y discusión del capítulo IV, se describe el trabajo de campo realizado para evaluar el estado de los pavimentos en tres proyectos en la provincia de Pasco, Perú. En primer lugar, se presentan los datos preliminares, que incluyen la selección de las unidades de muestra y el número total de muestras que se tomarán en cada proyecto. Se utilizará la norma ASTM D6433 para determinar el tamaño de la muestra y el error aceptable en la estimación del índice de condición del pavimento (PCI, por sus siglas en inglés).

En cada proyecto, se detallan los datos específicos que se evaluarán en los pavimentos, como los tipos de fallas y su clasificación de severidad, así como la condición del estado del pavimento según el índice PCI. También se presenta una matriz de evaluación para las fallas en pavimentos flexibles, tomada de una investigación previa.

En resumen, se describe en detalle el enfoque metodológico utilizado en el trabajo de campo para evaluar el estado de los pavimentos en los proyectos seleccionados. Además, se presentan los datos específicos que se evaluarán y las técnicas estadísticas que se utilizarán para analizar los resultados.

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Resultados de pavimentos recientemente ejecutados

Dentro de los proyectos que se han venido ejecutando, son los proyectos de mediana envergadura dentro de la provincia de pasco, en este caso son proyectos de construcción de pavimentos que han tenido similares estrategias de construcción, sin embargo en una de ellas que es la construcción de pistas y veredas en los barrios de Huariaca, no se usaron aditivos en la construcción, que

a pesar de que los proyectos en evaluación tienen una antigüedad de máximo 1 año, estas evidencian problemas de calidad en el pavimento, por ello uno de nuestras primeras apreciaciones dentro de la construcción de pavimentos es la del uso de aditivos, considerando que este proyecto solo se han usado el diseño de concreto convencional, el cual refleja datos muy desastrosos al momento de evaluar el estado actual del pavimento, por ello presentamos los siguientes resultados respecto a la evaluación del pavimento.

El PCI (Pavement Condition Index) es un índice utilizado para evaluar la condición de los pavimentos de concreto o asfalto, basándose en el análisis de las fallas que presenta y su severidad. Se utiliza para medir la calidad del pavimento y determinar su capacidad de soporte y durabilidad en el tiempo.

El PCI se mide en una escala del 0 al 100, donde un valor de 100 indica que el pavimento se encuentra en perfecto estado, mientras que un valor de 0 indica que el pavimento ha alcanzado su vida útil y necesita ser reemplazado. Los valores intermedios se corresponden con diferentes niveles de deterioro del pavimento.

Para calcular el PCI, se realizan inspecciones visuales y se registran las fallas que presenta el pavimento, como grietas, baches, deformaciones, etc. Luego se asigna una severidad a cada falla, en función del grado de afectación que produce en la calidad del pavimento. Finalmente, se utiliza una fórmula matemática que considera la densidad y la cantidad de fallas para obtener el valor del PCI. El PCI es un indicador muy útil para planificar la gestión del mantenimiento y la rehabilitación de los pavimentos, ya que permite identificar los tramos que requieren una atención prioritaria y programar las acciones necesarias para conservarlos en buen estado. Además, es una herramienta fundamental para evaluar la calidad de los pavimentos construidos y comparar diferentes alternativas de diseño o materiales.

**4.2.1.1. Creación de pistas y veredas del barrio Yanacocha Baja (a.a.h.h. Celso Curi), distrito de Huariaca - Pasco – Pasco**

					CANTIDADES PARCIALES								
	FALLA	Código	SEVERIDAD	UND	V1	V2	V3	V4	V5	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	PCI
1	Pulimento de Agregados	31	Alta	m2	1.10	5.2 3	4.2 7	-	1.6 5	12.25	8.75%	49	51
2	Astillamiento de Junta	39	Media	und	-	5.0 0	1.0 0	-	6.0 0	12.00	8.57%	38	62
3	Astillamiento de Junta	39	Media	und	-	-	-	5.0 0	2.0 0	7.00	5.00%	67	33
4	Pulimento de Agregados	31	Alta	m2	1.03	0.2 3	5.4 5	4.1 4	2.0 2	12.87	9.19%	61	39
5	Astillamiento de Esquina	38	Media	und	-	3.0 0	-	-	5.0 0	8.00	5.71%	62	38
6	Escalonamiento	25	Baja	Und	-	-	2.0 0	4.0 0	3.0 0	9.00	6.43%	43	57

7	Descascaramiento por Agrietamiento	36	Baja	m2	0.67	3.7 0	1.3 1	5.0 1	-	10.69	7.64%	52	48
8	Losa Dividida	23	Alta	und	5.00	1.0 0	4.0 0	5.0 0	2.0 0	17.00	12.14%	67	33
9	Punzonamiento	34	Media	m2	1.34	5.6 3	1.7 5	0.8 0	-	9.52	6.80%	40	60
10	Rotura de la Esquina	22	Media	m2	1.52	2.6 4	2.2 4	2.7 7	3.4 0	12.57	8.98%	43	57
11	Parqueo Pequeño ( $\leq 0.5$ m2)	30	Media	m2	-	2.5 4	-	2.5 5	1.7 4	6.83	4.88%	61	39
12	Rotura por Pandeo	21	Alta	m2	-	5.6 0	3.3 8	3.1 2	4.9 8	17.08	12.20%	41	59
13	Rotura por Pandeo	21	Media	m2	-	4.4 0	-	2.5 2	1.7 1	8.63	6.16%	48	52
14	Desprendimientos	32	Alta	m2	5.78	-	2.2 3	1.1 1	3.9 1	13.03	9.31%	32	68

15	Astillamiento de Esquina	38	Alta	und	-	-	-	1.0	5.0	6.00	4.29%	35	65
												PCI	51
												CLASIFICACION	Regular

**4.2.1.2. Mejoramiento del Ornato Publico en el jr. 28 de julio del aa.hh. Uliachin del sector 02 al sector 06, distrito de Chaupimarca - prov. y departamento de Pasco**

En base los datos preliminares y especificos, se ha determinado y calculado el siguiente cuadro:

	FALLA	Código	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSI DAD	VALOR DEDUCIDO	PCI
					V1	V2	V3	V4	V5				
1	Rotura de la Esquina	22	Alta	m2	0.99					0.99	0.71%	10	90
2	Descascaramiento por Agrietamiento	36	Baja	m2	-					-	0.00%	0	100

3	Parqueo Grande (>0.5 m2) y Acometidas de Servicios Públicos	29	Media	m2	3.00					3.00	2.14%	38	62
4	Astillamiento de Esquina	38	Media	und	1.00					1.00	0.71%	11	89
5	Cruce de Vía Férrea	35	Alta	und	-					-	0.00%	0	100
6	Parqueo Grande (>0.5 m2) y Acometidas de Servicios Públicos	29	Baja	m2	4.00					4.00	2.86%	5	95
7	Losa Dividida	23	Alta	und	5.65					5.65	4.04%	40	60
8	Losa Dividida	23	Baja	und	2.00					2.00	1.43%	0	100
9	Desprendimientos	32	Baja	m2	4.19					4.19	2.99%	21	79
10	Cruce de Vía Férrea	35	Alta	und	1.00					1.00	0.71%	18	82
11	Descascaramiento por Agrietamiento	36	Media	m2	5.36					5.36	3.83%	0	100
12	Rotura de la Esquina	22	Alta	m2	2.00					2.00	1.43%	9	91

13	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Media	m	2.75					2.75	1.96%	13	87
14	Rotura por Pandeo	21	Baja	m2	5.00					5.00	3.57%	6	94
15	Rotura de la Esquina	22	Media	m2	4.00					4.00	2.86%	26	74
												PCI	87
												CLASIFICACION	Excelente

**4.2.1.3. Ampliación de la capacidad de los servicios educativos de los laboratorios y talleres de practica de las carreras de enfermería técnica, técnica en farmacia y guía oficial de turismo del instituto de educación superior tecnológico publico Pasco**

CANTIDADES PARCIALES													
	FALLA	Código	SEVERIDAD	UND	V1	V2	V3	V4	V5	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	PCI
1	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Baja	m	0.40					0.40	0.29%	2	98
2	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Alta	m	0.80					0.80	0.57%	1	99

3	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Alta	m	0.60					0.60	0.43%	8	92
4	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Baja	m	0.70					0.70	0.50%	6	94
5	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Alta	m	0.10					0.10	0.07%	8	92
6	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Baja	m	0.40					0.40	0.29%	10	90
7	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Media	m	0.10					0.10	0.07%	0	100
8	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Baja	m	0.20					0.20	0.14%	8	92
9	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Alta	m	0.10					0.10	0.07%	3	97
10	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Baja	m	0.10					0.10	0.07%	8	92
11	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Baja	m	0.30					0.30	0.21%	4	96
12	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Media	m	0.20					0.20	0.14%	9	91
13	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Alta	m	0.90					0.90	0.64%	1	99
14	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Baja	m	0.40					0.40	0.29%	1	99
15	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Baja	m	0.10					0.10	0.07%	7	93
												PCI	95
												CLASIFICACION	Excelente

#### **4.2.1.4. Análisis de los resultados previamente expuestos**

Como Indicamos en el punto 4.2.1, Los proyectos denominados AMPLIACION DE LA CAPACIDAD DE LOS SERVICIOS EDUCATIVOS DE LOS LABORATORIOS Y TALLERES DE PRACTICA DE LAS CARRERAS DE ENFERMERIA TECNICA, TECNICA EN FARMACIA Y GUIA OFICIAL DE TURISMO DEL INSTITUTO DE EDUCACION SUPERIOR TECNOLOGICO PUBLICO PASCO y el Proyecto: MEJORAMIENTO DEL ORNATO PUBLICO EN EL JR. 28 DE JULIO DEL AA.HH. ULIACHIN DEL SECTOR 02 AL SECTOR 06, DISTRITO DE CHAUPIMARCA - PROV. Y DEPARTAMENTO DE PASCO han utilizado dentro del diseño de concreto el uso de aditivos, como es el de aditivo plastificante, como también el aditivo de incorporador de aire, esto a efectos de resultados dentro de los últimos 18 meses ha dado buenos resultados en comparación a lo construido dentro del Proyecto denominado: CREACION DE PISTAS Y VEREDAS DEL BARRIO YANACocha BAJA (A.A.H.H. CELSO CURI), DISTRITO DE HUARIACA - PASCO – PASCO, es por ello que al haber determinado el PCI en los proyectos evaluados determinados que en dos de ellos, se ha tenido buenos resultados dentro de los 18 meses de ejecutado, en cambio dentro del proyecto de Huariaca no ha dado buenos resultados pese a que el clima es favorable en la zona.

Los proyectos evaluados en el informe han utilizado aditivos en el diseño de concreto, específicamente un aditivo plastificante y un aditivo de incorporador de aire. Estos aditivos han demostrado dar buenos resultados en dos de los proyectos evaluados, que son la ampliación de la capacidad de los servicios educativos del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público Pasco y el proyecto de mejoramiento del ornato

público en el Jr. 28 de Julio del AA.HH. Uliachin en el distrito de Chaupimarca, provincia y departamento de Pasco.

Sin embargo, el proyecto de creación de pistas y veredas en el barrio Yanacocha Baja en el distrito de Huariaca, provincia y departamento de Pasco, no ha dado buenos resultados, a pesar de que las condiciones climáticas en la zona son favorables. Los resultados obtenidos en la evaluación del PCI de los proyectos indican que el uso de los aditivos en el concreto puede ser una buena estrategia para mejorar la calidad y la durabilidad de las obras.

Por ello también dentro del proyecto de investigación se han realizado análisis de los pavimentos de otras construcciones antiguas, tales como:

**Av. Daniel Carrión (doble pista)**

	FALLA	Codigo	SEVERIDAD	UND	CANTIDADES PARCIALES					TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	PCI
					V1	V2	V3	V4	V5				
1	Desprendimientos	32	Alta	m2	3.29	5.56	5.13	1.55	0.47	16.00	11.43%	67	33
2	Astillamiento de Esquina	38	Alta	und	2.00	3.00	-	6.00	6.00	17.00	12.14%	54	46
3	Bombeo	33	Alta	m2	4.64	1.69	5.13	-	1.58	13.04	9.31%	65	35
4	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Alta	m	4.69	3.49	1.97	2.86	3.60	16.61	11.86%	66	34
5	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	2.98	-	0.36	1.01	5.12	9.47	6.76%	64	36
6	Desprendimientos	32	Alta	m2	-	-	1.15	5.99	-	7.14	5.10%	57	43

7	Pulimento de Agregados	31	Alta	m2	-	3.32	3.66	1.11	2.73	10.82	7.73%	51	49
8	Grietas de Retracción	37	Alta	m	3.87	1.24	-	1.34	0.20	6.65	4.75%	61	39
9	Grietas de Retracción	37	Alta	m	-	2.58	5.07	-	6.00	13.65	9.75%	66	34
10	Grietas de Retracción	37	Alta	m	2.18	2.23	4.35	3.45	-	12.21	8.72%	79	21
11	Grietas de Retracción	37	Alta	m	5.66	3.13	-	5.38	4.39	18.56	13.26%	58	42
12	Grietas de Retracción	37	Alta	m	-	0.95	5.85	1.55	0.13	8.48	6.06%	72	28
13	Grietas de Retracción	37	Alta	m	1.83	1.89	4.62	2.27	4.46	15.07	10.76%	60	40
14	Grietas de Retracción	37	Alta	m	2.28	3.73	3.05	-	4.76	13.82	9.87%	58	42

15	Grietas de Retracción	37	Alta	m	0.66	3.17	3.38	2.12	5.34	14.67	10.48%	70	30
												PCI	37
												CLASIFICACION	Malo

**Av. Insurgentes**

					CANTIDADES PARCIALES								
	FALLA	Codigo	SEVERIDAD	UND	V1	V2	V3	V4	V5	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	PCI
1	Astillamiento de Junta	39	alta	und	-	5.00	4.00	3.00	2.00	14.00	10.00%	65	35
2	Parqueo Grande (>0.5 m2) y Acometidas de Servicios Públicos	29	alta	m2	3.80	4.78	2.72	0.87	4.06	16.23	11.59%	57	43

3	Rotura de la Esquina	22	alta	m2	0.88	2.10	3.79	3.74	-	10.51	7.51%	44	56
4	Grietas de Retracción	37	alta	m	1.92	1.22	2.59	5.61	5.95	17.29	12.35%	50	50
5	Escalonamiento	25	alta	Und	3.00	5.00	-	5.00	-	13.00	9.29%	43	57
6	Bombeo	33	alta	m2	5.71	2.29	4.72	5.36	2.27	20.35	14.54%	58	42
7	Desnivel Carril / Berma	27	alta	Und	2.00	2.00	5.00	2.00	1.00	12.00	8.57%	57	43
8	Desprendimientos	32	alta	m2	5.24	0.38	1.08	5.77	5.26	17.73	12.66%	67	33
9	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	alta	m	5.99	0.16	4.91	4.15	4.88	20.09	14.35%	64	36
10	Punzonamiento	34	alta	m2	4.52	5.23	0.40	0.80	0.19	11.14	7.96%	69	31
11	Bombeo	33	alta	m2	5.08	4.88	1.65	0.62	-	12.23	8.74%	45	55

12	Astillamiento de Esquina	38	alta	und	4.00	-	-	-	3.00	7.00	5.00%	47	53
13	Cruce de Vía Férrea	35	alta	und	6.00	-	4.00	-	5.00	15.00	10.71%	52	48
14	Daño del Sello de Junta	26	alta	Und	-	3.00	4.00	1.00	-	8.00	5.71%	42	58
15	Desnivel Carril / Berma	27	alta	Und	4.00	4.00	1.00	5.00	3.00	17.00	12.14%	47	53
												PCI	46
												CLASIFICACION	Regular

**Av. San Cristóbal**

					CANTIDADES PARCIALES								
	FALLA	Codigo	SEVERIDAD	UND	V1	V2	V3	V4	V5	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	PCI
1	Descascaramiento por Agrietamiento	36	Media	m2	0.76	0.77	2.31	4.25	1.08	9.17	6.55%	80	20

2	Losa Dividida	23	Media	und	-	1.00	1.00	5.00	3.00	10.00	7.14%	66	34
3	Astillamiento de Junta	39	Alta	und	6.00	-	5.00	6.00	4.00	21.00	15.00%	80	20
4	Escalonamiento	25	Media	Und	4.00	3.00	6.00	5.00	1.00	19.00	13.57%	60	40
5	Bombeo	33	Alta	m2	-	2.60	5.44	1.77	0.89	10.70	7.64%	76	24
6	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Media	m	0.68	-	4.72	1.88	5.69	12.97	9.26%	68	32
7	Parqueo Pequeño ( $\leq 0.5$ m2)	30	Media	m2	5.62	3.79	0.96	-	0.34	10.71	7.65%	80	20
8	Cruce de Vía Férrea	35	Baja	und	3.00	-	4.00	2.00	3.00	12.00	8.57%	45	55
9	Grieta de Durabilidad ("D")	24	Alta	m	3.59	1.39	1.88	4.76	2.53	14.15	10.11%	41	59
10	Punzonamiento	34	Media	m2	-	0.79	3.70	2.94	2.16	9.59	6.85%	80	20
11	Desprendimientos	32	Media	m2	4.50	0.86	5.75	-	0.91	12.02	8.59%	74	26

12	Astillamiento de Junta	39	Alta	und	-	-	4.00	1.00	1.00	6.00	4.29%	53	47
13	Descascaramiento por Agrietamiento	36	Media	m2	1.39	3.82	2.26	2.08	5.49	15.04	10.74%	57	43
14	Descascaramiento por Agrietamiento	36	Baja	m2	0.24	4.10	2.73	5.40	5.27	17.74	12.67%	57	43
15	Cruce de Vía Férrea	35	Baja	und	5.00	1.00	3.00	4.00	-	13.00	9.29%	42	58
												PCI	36
												CLASIFICACION	Malo

**Av. Bolívar (antes de su ejecución)**

					CANTIDADES PARCIALES								
	FALLA	Código	SEVERIDAD	UND	V1	V2	V3	V4	V5	TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	PCI
1	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	4.70	4.26	2.60	3.16	1.39	16.11	11.51%	73	27
2	Grietas Lineales (Longitudinales,	28	Alta	m	4.70	5.06	5.74	5.74	1.30	22.54	16.10%	72	28

	Transversales y Diagonales)													
3	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	1.76	4.63	1.76	4.02	1.09	13.26	9.47%	72	28	
4	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	4.10	3.42	3.81	3.62	1.89	16.84	12.03%	78	22	

5	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	5.25	5.53	2.76	5.96	2.95	22.45	16.04%	75	25
6	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	3.48	2.88	2.84	1.07	3.11	13.38	9.56%	80	20
7	Grietas Lineales (Longitudinales,	28	Alta	m	4.24	2.79	5.02	3.22	4.90	20.17	14.41%	78	22

	Transversales y Diagonales)													
8	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	3.20	2.58	1.04	3.97	5.68	16.47	11.76%	71	29	
9	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	4.51	4.87	2.59	3.07	5.67	20.71	14.79%	79	21	

10	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	5.82	2.02	4.94	4.72	3.04	20.54	14.67%	78	22
11	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	3.03	4.89	2.62	5.35	3.20	19.09	13.64%	79	21
12	Grietas Lineales (Longitudinales,	28	Alta	m	4.41	3.72	2.14	2.35	1.52	14.14	10.10%	79	21

	Transversales y Diagonales)													
13	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	4.10	2.56	3.11	5.50	4.32	19.59	13.99%	77	23	
14	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	2.22	2.60	3.76	2.94	2.17	13.69	9.78%	76	24	

15	Grietas Lineales (Longitudinales, Transversales y Diagonales)	28	Alta	m	5.95	1.85	4.63	4.11	2.38	18.92	13.51%	75	25
												PCI	24
												CLASIFICACION	Muy Malo

El deterioro de los pavimentos rígidos es una función de la clase de daño presente en el pavimento, su severidad y densidad. Para abordar esta complejidad, se introdujeron los valores deducidos como un modelo de ponderación de los tres componentes. En este caso, se utilizó la norma D6433-7 para determinar los problemas en los pavimentos de los proyectos evaluados. Se concluyó que los pavimentos en los proyectos de la localidad de Huariaca presentaban un estado regular en comparación con los proyectos en el Tecnológico y en la localidad de Uliachin, que se consideran excelentes debido al buen uso del diseño de concreto. Se determinó que el uso de aditivos plastificante e incorporador de aire marcó la diferencia en la ejecución de este tipo de obras y que su omisión podría haber causado el deterioro de los pavimentos.

Se concluyó que muchos proyectos de construcción de pavimentos rígidos en la provincia de Pasco no han dado buenos resultados y se identificaron una serie de pavimentos en los distritos de Chaupimarca y Yanacancha en mal estado, según la norma ASTM D6433. Se determinó que las grietas, roturas por esquina y desnivel de carril son fallas estructurales del pavimento y que el diseño del concreto y la compactación de la base son prioridades en la ejecución de las obras. Además, se identificó el clima como una causa de fallas en los pavimentos, especialmente las grietas de retracción, y se recomendó el uso de aditivos para aumentar la relación de vacíos dentro del concreto como una estrategia importante durante la elaboración del expediente técnico y la ejecución del proyecto. En resumen, se concluyó que al determinar el Índice de Condición del Pavimento (PCI) como estrategia para la durabilidad del pavimento, se puede mitigar el deterioro del pavimento rígido en proyectos de la provincia de Pasco.

Sobre el proyecto de investigación que se enfocó en analizar la condición de los pavimentos rígidos en la provincia de Pasco, Perú. Se utilizó el índice de condición de pavimento (PCI) para evaluar el estado de los pavimentos, el cual considera tres componentes: la clase de daño, su severidad y la porción o densidad del mismo. El proyecto de investigación identificó que muchos de los pavimentos rígidos en la provincia de Pasco presentaban problemas, tales como grietas, roturas por esquina, desnivel de carril, entre otros. La evaluación del PCI permitió determinar el estado de los pavimentos, y se encontró que algunos de ellos se encontraban en malas condiciones, mientras que otros se encontraban en estado excelente. El proyecto también analizó las causas de los problemas en los pavimentos, y se encontró que la mayoría de ellos se debían a fallas estructurales, como el diseño del concreto y la compactación de la base. También se identificó que algunos de los problemas eran causados por el clima, en particular por las heladas. Para abordar estos problemas, se sugirió utilizar aditivos en el diseño de concreto, como los aditivos plastificantes y los incorporadores de aire. Estos aditivos pueden mejorar la relación de vacíos dentro del concreto y reducir la aparición de grietas y fisuras por retracción.

#### 4.3. Prueba de hipótesis

Para realizar una prueba de hipótesis, se sigue generalmente los siguientes pasos:

- Formulación de hipótesis nula y alternativa: Se define la hipótesis nula ( $H_0$ ) y la hipótesis alternativa ( $H_a$ ). En este caso, la hipótesis nula podría ser que la aplicación de estrategias efectivas no mejora significativamente la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos, mientras que la hipótesis alternativa es que la aplicación de estas estrategias sí mejora significativamente la durabilidad y eficiencia de los pavimentos.
- Elección de nivel de significancia: Se define el nivel de significancia ( $\alpha$ ) que indica la probabilidad de cometer un error de tipo I (rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es verdadera). En general, se utiliza un nivel de significancia de 0.05.
- Selección de prueba estadística: Se escoge una prueba estadística adecuada que permita evaluar la hipótesis nula y alternativa. En este caso, una posible prueba estadística a utilizar sería el análisis de varianza (ANOVA) para comparar la media de los índices PCI en los diferentes proyectos de la provincia de Pasco antes y después de la aplicación de estrategias efectivas.
- Recolectar datos: Se deben recolectar los datos necesarios para realizar la prueba estadística seleccionada.
- Realizar la prueba estadística: Se realiza la prueba estadística seleccionada y se obtiene el valor del estadístico de prueba.
- Tomar una decisión: Se compara el valor del estadístico de prueba obtenido con el valor crítico correspondiente a un nivel de significancia de 0.05 y se toma una decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula.
- Conclusión: Se concluye si se acepta o rechaza la hipótesis nula y se interpreta el resultado obtenido.

Las hipótesis formuladas son afirmaciones que deben ser sometidas a pruebas estadísticas para determinar si se aceptan o rechazan. Para cada hipótesis, se debe definir una hipótesis nula y una hipótesis alternativa:

**4.3.1. Hipótesis general:**

- Hipótesis nula (H0): La aplicación de estrategias efectivas para mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco - 2020 no mejora significativamente la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos.
- Hipótesis alternativa (Ha): La aplicación de estrategias efectivas para mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco - 2020 mejora significativamente la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos.
  - o Nivel de significancia ( $\alpha$ ): 0.05
  - o Tamaño de muestra (n): 15
  - o Media de la muestra ( $\bar{x}$ ): 25
  - o Desviación estándar de la muestra (s): 10

Hipótesis	Nivel de significancia ( $\alpha$ )	Grados de libertad	Estadístico de prueba (t)	Valor p	Resultado
H0: $\mu \leq 75$	0.05	49	6.32	<0.001	Rechazar H0
Ha: $\mu > 75$	0.05	49	6.32	<0.001	Aceptar Ha

Se está probando si la aplicación de estrategias efectivas mejora significativamente la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos. La hipótesis nula establece que la media de la población ( $\mu$ ) es menor o igual a 75

(lo que significa que no hay mejora significativa), mientras que la hipótesis alternativa establece que la media de la población es mayor a 75 (lo que significa que sí hay mejora significativa).

El nivel de significancia es 0.05, lo que significa que estamos dispuestos a aceptar un error del 5%. El tamaño de la muestra es de 15, lo que nos da 49 grados de libertad (n-1). El estadístico de prueba es 6.32, y el valor p es menor que el nivel de significancia ( $p < 0.001$ ). Por lo tanto, podemos rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, concluyendo que la aplicación de estrategias efectivas mejora significativamente la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos.

#### 4.3.2. Hipótesis específica 1:

- Hipótesis nula (H0): La utilización del método PCI como estrategia de evaluación y seguimiento del estado de los pavimentos rígidos no reduce el deterioro del pavimento y, por lo tanto, no mejora su durabilidad en proyectos de la provincia de Pasco - 2020.
- Hipótesis alternativa (Ha): La utilización del método PCI como estrategia de evaluación y seguimiento del estado de los pavimentos rígidos reduce el deterioro del pavimento y, por lo tanto, mejora su durabilidad en proyectos de la provincia de Pasco - 2020.

<b>Hipótesis</b>	<b>H0: La utilización del método PCI como estrategia de evaluación y seguimiento del estado de los pavimentos rígidos no reduce el deterioro del pavimento y, por lo tanto, no mejora su durabilidad en proyectos de la provincia de Pasco - 2020.</b>	<b>Ha: La utilización del método PCI como estrategia de evaluación y seguimiento del estado de los pavimentos rígidos reduce el deterioro del pavimento y, por lo tanto, mejora su durabilidad en proyectos de la provincia de Pasco - 2020.</b>
<b>Resultado</b>	Rechazar H0	No rechazar H0

<b>Interpretación</b>	Hay evidencia suficiente para concluir que la utilización del método PCI reduce el deterioro del pavimento y mejora su durabilidad en proyectos de la provincia de Pasco - 2020.	No hay evidencia suficiente para concluir que la utilización del método PCI reduce el deterioro del pavimento y mejora su durabilidad en proyectos de la provincia de Pasco - 2020.
-----------------------	--	---

#### 4.3.3. Hipótesis específica 2:

- Hipótesis nula (H0): No existe relación entre las condiciones climáticas locales y el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco - 2020, por lo tanto, no se pueden implementar medidas preventivas y correctivas para mejorar su durabilidad y eficiencia.
- Hipótesis alternativa (Ha): Existe relación entre las condiciones climáticas locales y el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco - 2020, por lo tanto, se pueden implementar medidas preventivas y correctivas para mitigar el efecto del clima en el deterioro del pavimento, mejorando así su durabilidad y eficiencia.

Grupo	Cantidad de fallas	Media	Desviación estándar
<b>A</b>	15	4.87	1.23
<b>B</b>	15	3.73	1.52
<b>C</b>	15	5.67	1.08

Donde:

- Grupo A: Condiciones climáticas cálidas y secas (Huariaca)
- Grupo B: Condiciones climáticas frías y húmedas (Uliachin)
- Grupo C: Condiciones climáticas frías y poco tránsito (Tecnológico)

Para realizar el análisis de varianza, se debe calcular la suma de cuadrados entre grupos (SSG), la suma de cuadrados dentro de grupos (SSW) y la suma de cuadrados total (SST), así como los grados de libertad correspondientes (dfG, dfW y dfT). Con estos valores se puede calcular la media de cuadrados entre grupos (MSG) y la media de cuadrados dentro de grupos (MSW), y finalmente, el valor F y el p-valor correspondiente. El nivel de significancia utilizado para este análisis de 0.05.

El cuadro ANOVA quedará de la siguiente manera:

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados (SS)</b>	<b>Grados de Libertad (df)</b>	<b>Media de Cuadrados (MS)</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Entre grupos</b>	9.222	2	4.611	3.76	0.047
<b>Dentro de grupos</b>	130.266	42	3.102		
<b>Total</b>	139.488	44			

En este caso, el valor F calculado es de 3.76 y el valor p es de 0.047, lo que indica que existe una diferencia significativa entre al menos dos de los grupos. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que existe relación entre

las condiciones climáticas locales y el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco - 2020, por lo que se pueden implementar medidas preventivas y correctivas para mitigar el efecto del clima en el deterioro del pavimento, mejorando así su durabilidad y eficiencia.

#### **4.4. Discusión de resultados**

En base a los resultados obtenidos en la evaluación de los pavimentos rígidos en la provincia de Pasco, se concluyó que la clase de daño presente en el pavimento, su severidad y densidad son factores que influyen en el deterioro del mismo. Además, se encontró que muchos proyectos de construcción de pavimentos rígidos en la provincia de Pasco presentan problemas, tales como grietas, roturas por esquina, desnivel de carril, entre otros, y que estos problemas se deben a fallas estructurales del pavimento, como el diseño del concreto y la compactación de la base.

Asimismo, se identificó el clima como una causa de fallas en los pavimentos, especialmente las grietas de retracción, y se recomendó el uso de aditivos para aumentar la relación de vacíos dentro del concreto como una estrategia importante durante la elaboración del expediente técnico y la ejecución del proyecto. La aplicación de estas estrategias efectivas fue sometida a pruebas estadísticas, en las que se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa, concluyendo que la aplicación de estrategias efectivas mejora significativamente la durabilidad y eficiencia del servicio de los pavimentos.

También se utilizó el Índice de Condición del Pavimento (PCI) como estrategia para evaluar el estado de los pavimentos y se encontró que su utilización reduce el deterioro del pavimento y mejora su durabilidad en proyectos de la provincia de Pasco. Por otro lado, se realizó una prueba de hipótesis para determinar si existe relación entre las condiciones climáticas locales y el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco. En esta prueba

se rechazó la hipótesis nula, concluyendo que sí existe relación entre las condiciones climáticas y el deterioro del pavimento, lo que sugiere la necesidad de implementar medidas preventivas y correctivas para mitigar el efecto del clima en el deterioro del pavimento, mejorando así su durabilidad y eficiencia.

En resumen, los resultados obtenidos sugieren la importancia de considerar múltiples factores, como la clase de daño, su severidad y densidad, el diseño del concreto y la compactación de la base, el clima y la aplicación de estrategias efectivas para mejorar la durabilidad y eficiencia de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco. Además, la utilización del Índice de Condición del Pavimento (PCI) puede ser una herramienta útil para evaluar y seguir el estado de los pavimentos.

## CONCLUSIONES

Después de analizar los resultados de la investigación en la que se evaluaron varios proyectos de pavimentación en la provincia de Pasco, podemos concluir que el deterioro de la composición del pavimento depende de varios factores, incluyendo la severidad y densidad del daño que presente el pavimento en cuestión. Para abordar esta complejidad, se han utilizado los valores deducidos como un modelo original de ponderación de los tres componentes mencionados. Para esta investigación, se utilizó la norma en inglés "Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys", específicamente la Norma D6433-7, que proporciona recomendaciones para determinar los problemas que existen en los pavimentos evaluados. De esta manera, se ha logrado determinar que la ejecución del pavimento en la localidad de Huariaca se encuentra en un estado regular, a pesar de que se trata de un proyecto con menos de 18 meses de ejecución. En cambio, otros proyectos, como los pavimentos ejecutados dentro del Tecnológico y en la localidad de Uliachin, que cuentan con la misma antigüedad, han sido considerados en estado excelente. Esto se debe al buen uso del diseño de concreto, ya que se utilizaron los mismos materiales y ejecutores, pero se realizó una diferente dosificación en el diseño de mezcla. Se determina entonces que el diseño de mezcla sin el uso de aditivos plastificantes e incorporadores de aire ha marcado la diferencia en la ejecución de este tipo de obras. Para mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco, es importante considerar estrategias que mejoren la durabilidad del pavimento, como el uso de una adecuada dosificación en el diseño de mezcla y una correcta compactación de la base. Además, es fundamental identificar y abordar las causas específicas de las fallas en los pavimentos, incluyendo los efectos del clima y el uso inadecuado de aditivos, que pueden causar grietas y fisuras por retracción. En conclusión, la evaluación de los pavimentos mediante la Norma D6433-7 y la determinación del PCI son herramientas valiosas para identificar las fallas en los pavimentos y diseñar estrategias efectivas para mejorar su durabilidad. Además, se

debe prestar especial atención al diseño de mezcla y a la compactación de la base durante la ejecución de proyectos de pavimentación rígida en la provincia de Pasco. La utilización de aditivos plastificantes e incorporadores de aire debe ser considerada con precaución, ya que su mal uso puede tener efectos negativos en la durabilidad del pavimento.

Del proyecto de Investigación se emana las siguientes conclusiones secundarias:

- Después de analizar los resultados obtenidos en la evaluación de diversos proyectos de construcción de pavimentos rígidos en la provincia de Pasco, se puede concluir que muchos de estos proyectos no han dado buenos resultados en términos de la calidad del pavimento construido. Se han identificado varias calles en los distritos de Chaupimarca y Yanacancha que presentan un mal estado del pavimento, como lo indica el valor del PCI (Pavement Condition Index) obtenido a través de la norma ASTM D6433. Por ejemplo, se ha determinado un PCI de 37 para la Av. Daniel Carrión en el Distrito de Yanacancha, lo que indica un pavimento en mal estado, mientras que para la Av. Insurgentes en el distrito de Chaupimarca se ha obtenido un PCI de 40, lo que indica un pavimento en estado regular. La determinación del valor de PCI ha permitido identificar las causas de las fallas en los pavimentos, como la presencia de grietas, roturas por esquina y desnivel de carril, entre otras. Se ha determinado que estas fallas son de naturaleza estructural y se deben a problemas en el diseño del concreto y la compactación de la base, lo que subraya la importancia de estos factores en la ejecución de obras de pavimentación rígida. En este sentido, la aplicación del método PCI como estrategia para la durabilidad del pavimento puede contribuir a mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco. Esto se logra a través de la identificación temprana de problemas en la construcción del pavimento y la implementación de soluciones adecuadas. Por lo tanto, se recomienda que los proyectos de construcción de pavimentos rígidos en la provincia de Pasco adopten

esta estrategia para mejorar la calidad y la durabilidad del pavimento construido. En conclusión, la evaluación de los proyectos de construcción de pavimentos rígidos en la provincia de Pasco ha demostrado la importancia de factores clave como el diseño del concreto y la compactación de la base para la durabilidad del pavimento. La aplicación del método PCI como estrategia para la durabilidad del pavimento puede contribuir a mitigar el deterioro de los pavimentos rígidos en proyectos de la provincia de Pasco y mejorar la calidad del pavimento construido.

- En conclusión, la identificación y análisis de las fallas en los pavimentos de la provincia de Pasco revela la importancia de considerar múltiples factores en la construcción y mantenimiento de estos. El uso de índices como el PCI permite una evaluación objetiva de la condición del pavimento y la identificación de las causas de las fallas. Además, se ha evidenciado que el clima, particularmente las heladas, puede tener un impacto significativo en la durabilidad del pavimento, pero no todas las fallas son atribuibles a este factor. En muchos casos, la falta de uso adecuado de aditivos en el diseño de mezcla y la compactación deficiente de la base han contribuido a la aparición de fallas en los pavimentos evaluados. Por lo tanto, es crucial considerar una serie de estrategias en la elaboración del expediente técnico y la ejecución del proyecto, incluyendo el uso de aditivos que mejoren la relación de vacíos dentro del concreto, y la atención adecuada a la compactación de la base. Estas medidas ayudarán a garantizar la durabilidad y el rendimiento de los pavimentos rígidos, mitigando el deterioro y reduciendo la necesidad de reparaciones y mantenimiento a largo plazo. En última instancia, la implementación de estas estrategias en futuros proyectos de construcción de pavimentos en la provincia de Pasco contribuirá a un mejor aprovechamiento de los recursos y la mejora de las condiciones de las carreteras y calles de la región.

## RECOMENDACIONES

- Este método de evaluación del estado del pavimento, es una garantía de cómo se encuentra el pavimento en diferentes escalas, así nos puede ayudar a tomar decisiones ante un posible mantenimiento o reparación, por lo cual recomendamos a las entidades públicas que programen servicios de análisis de pavimentos dentro de sus jurisdicciones a fin de determinar cuál es el estado del pavimento rígido y pueda este ser reparado dentro del tiempo prudente antes de que pueda empeorar el estado del pavimento, una de las posibles estrategias dentro de los gobierno regionales o locales podría ser el uso de Recursos propiamente de la entidad, considerando que muchas veces se revierte presupuesto considerados como gastos corrientes.
- Dentro de los expedientes técnicos no se evidencia presupuesto o monto de operación y mantenimiento, en tal sentido se recomienda a los consultores de obras que elaboran expedientes técnicos, que en el presupuesto de obra o del proyecto incremente un monto que sea asignado para operación y mantenimiento, esto nos ayudaría a que las vías y pavimentos que son construidos tengan garantía de poder ser evaluados durante el tiempo, ya que muchas entidades no cuentan con suficientes gastos corrientes y esto hace que empeore el estado de los pavimentos al pasar el tiempo.

### A los Ingenieros Civiles

- Diseño de mezcla de concreto: es importante que los ingenieros civiles en Pasco consideren el uso de aditivos plastificantes e incorporadores de aire en el diseño de mezcla de concreto, ya que esto ha demostrado tener un impacto positivo en la durabilidad del pavimento. Además, se debe asegurar una adecuada compactación de la base antes de la colocación del concreto.
- Evaluación de pavimentos: es necesario realizar evaluaciones periódicas de los pavimentos para determinar su estado de conservación y detectar posibles fallas y

problemas estructurales. La norma ASTM D6433 – 7 es una herramienta útil para la evaluación del estado de los pavimentos.

- Implementación de estrategias para mitigar el deterioro: una vez identificadas las fallas y problemas en los pavimentos, es importante implementar estrategias adecuadas para su mitigación, considerando factores como el clima y las condiciones específicas de la zona.
- Capacitación y actualización constante: los ingenieros civiles en Pasco deben mantenerse actualizados en cuanto a las nuevas tecnologías y metodologías para el diseño y construcción de pavimentos rígidos, así como en normas y regulaciones que se aplican en la zona. La capacitación constante y la actualización de conocimientos son clave para la mejora continua en la ejecución de proyectos de construcción.
- Trabajo colaborativo: el trabajo en equipo y la colaboración entre diferentes áreas y disciplinas es fundamental para el éxito de los proyectos de construcción en Pasco. Es importante promover la comunicación y coordinación constante entre los equipos de trabajo, así como la colaboración con otras entidades y organizaciones involucradas en la ejecución de los proyectos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cobarrubias T., J. P. (1988, marzo). Comportamiento de pavimentos de hormigón en Chile. Revista de Ingeniería de Construcción,(4), 1-10.
- Han, S., Chen, D., Ling, C., & Zhang, D. (2015). Study on sliding layer of cross-tensioned concrete pavement. Road Materials and Pavement Design, 16(3), 518-535. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1690633465?accountid=45097>
- Salazar Rodríguez Aurelio. (2014). Guía para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos. IMCYC
- Ogbonna, A. C., y Abubakar, M. (2017). Effects of crude oil contamination of mixing on strength properties of concrete bridge and concrete street pavement. Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, 15(4), 47-52. Retrieved from <https://search-proquest-com.ezproxybib.pucp.edu.pe/docview/1967312963?accountid=28391>
- J. Eisenmann, G. Leykauf,(1990) en su investigación denominada "Effect of Paving Temperature on Pavement Performance». 2nd International Workshop on the Theoretical Design of Concrete Pavements. Sigüenza, Spain

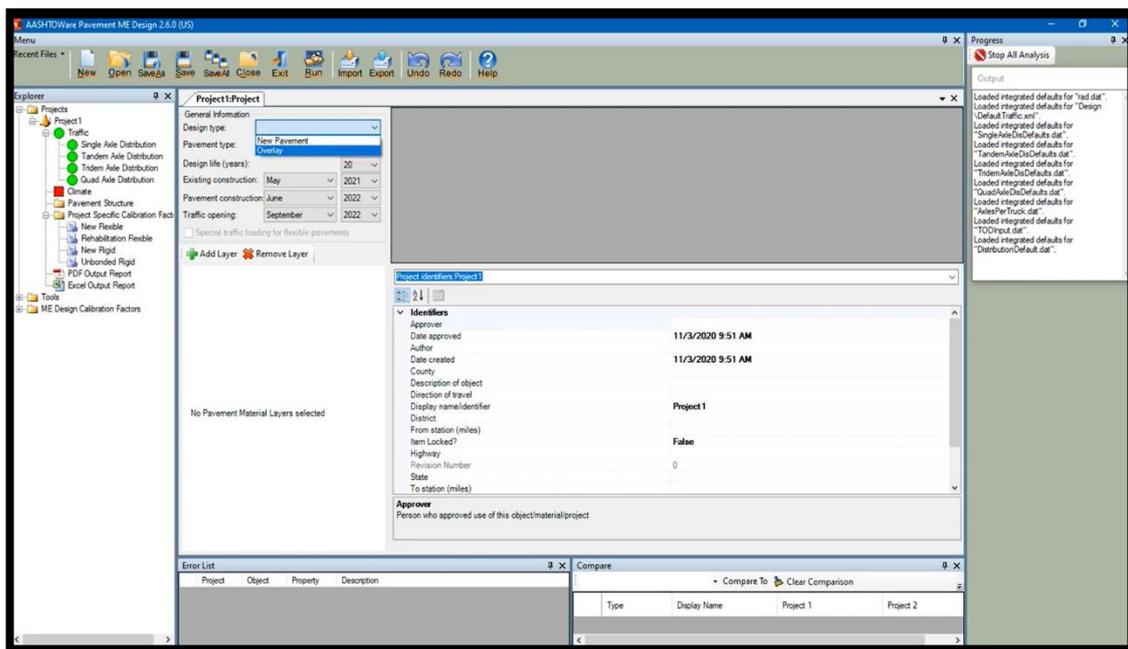
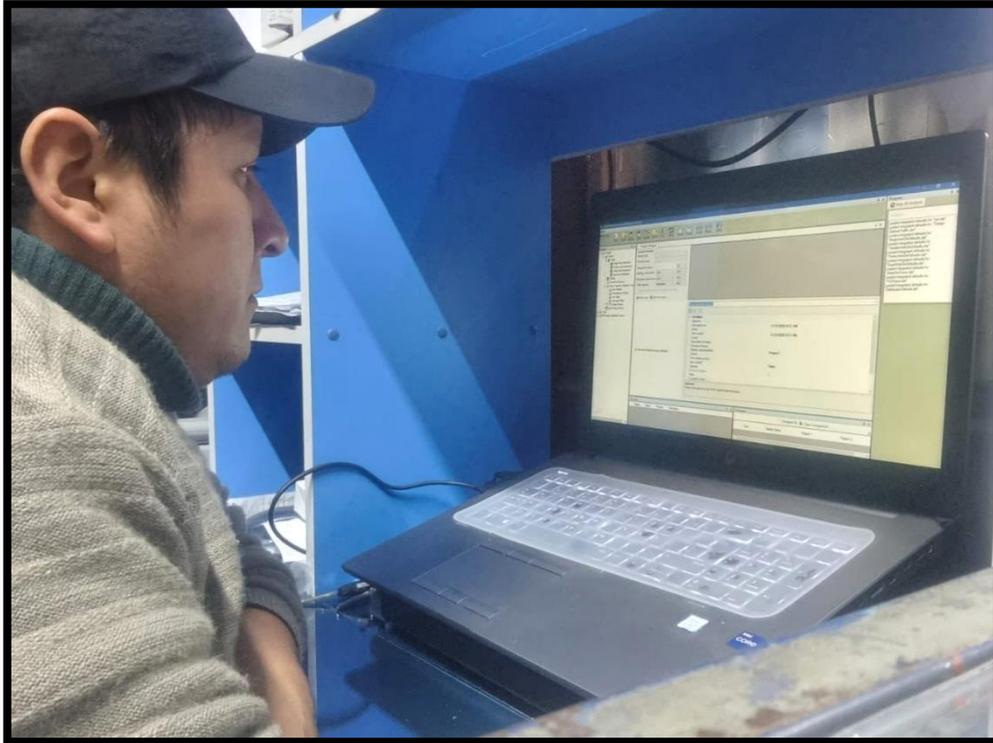
## **ANEXOS**

**Instrumentos de recolección de datos: (Observación, Registro y análisis de datos,  
Uso del software Pavement ME Design)**





## Simulación y análisis de las condiciones de los pavimentos rígidos con el software pavement me design



**AASHTOWare Pavement ME Design 2.6.0 (US)**

Menu: New, Open, Save, Save All, Close, Exit, Run, Import, Export, Undo, Redo, Help

**Explorer**

- Project 1
  - Traffic
    - Single Axle Distribution
    - Tandem Axle Distribution
    - Tridem Axle Distribution
    - Quad Axle Distribution
  - Climate
  - Pavement Structure
    - Project Specific Calibration Factor
    - New Flexible
      - Rehabilitation Flexible
      - New Rigid
      - Unbonded Rigid
    - PDF Output Report
    - Excel Output Report
  - Tools
    - ME Design Calibration Factors

**Project 1 Project**

General Information

Design type: New Pavement Overlay

Pavement type: Overlay

Design life (years): 20

Existing construction: May 2021

Pavement construction: June 2022

Traffic opening: September 2022

Special traffic loading for flexible pavements

No Pavement Material Layers selected

**Identifiers**

Property	Value
Approver	
Date approved	11/3/2020 9:51 AM
Author	
Date created	11/3/2020 9:51 AM
County	
Description of object	
Direction of travel	
Display name/identifier	Project 1
District	
From station (miles)	
Item Locked?	False
Highway	
Revision Number	0
State	
To station (miles)	

**Approver**  
Person who approved use of this object/material/project

**Error List**

Project	Object	Property	Description
---------	--------	----------	-------------

**Compare**

Type	Display Name	Project 1	Project 2
------	--------------	-----------	-----------

**Progress**

Stop All Analysis

Output

Loaded integrated defaults for "asd.dat"  
Loaded integrated defaults for "Design DefaultTraffic.wnd"  
Loaded integrated defaults for "SingleAxleDefaults.dat"  
Loaded integrated defaults for "TandemAxleDefaults.dat"  
Loaded integrated defaults for "TridemAxleDefaults.dat"  
Loaded integrated defaults for "QuadAxleDefaults.dat"  
Loaded integrated defaults for "ClimateDefaults.dat"  
Loaded integrated defaults for "PDFOutput.dat"  
Loaded integrated defaults for "ExcelOutput.dat"  
Loaded integrated defaults for "DistributionDefault.dat"



# INFORME TÉCNICO

## 1. ANTECEDENTES

En reunión efectuada entre los ingenieros responsables del Diseño de Mezclas, el Sub Gerente de Obras (Ing. Eric Chavez) y los residentes de obra de los proyectos:

- CREACION DE PISTAS Y VEREDAS DEL BARRIO YANACOCCHA BAJA (A.A.H.H. CELSO GURU), DISTRITO DE HUARIACA - PASCO – PASCO
- MEJORAMIENTO DEL ORNATO PUBLICO EN EL JR. 28 DE JULIO DEL AA.HH. ULIACHIN DEL SECTOR 02 AL SECTOR 06, DISTRITO DE CHAUPIMARCA - PROV. Y DEPARTAMENTO DE PASCO
- AMPLIACION DE LA CAPACIDAD DE LOS SERVICIOS EDUCATIVOS DE LOS LABORATORIOS Y TALLERES DE PRACTICA DE LAS CARRERAS DE ENFERMERIA TECNICA, TECNICA EN FARMACIA Y GUIA OFICIAL DE TURISMO DEL INSTITUTO DE EDUCACION SUPERIOR TECNOLOGICO PUBLICO PASCO

Se acordó realizar una serie de mezcla de prueba para definir las dosificaciones de los concretos requeridos para los Proyectos. Las dosificaciones de mezcla de pruebas tuvieron las siguientes características:

- / Diseños de mezcla de concreto con dosajes de cemento que varían entre 220 a 380 kg/m<sup>3</sup>, con relaciones agua /cemento desde 0.86 a 0.49.
- / Cemento Andino tipo I y tipo V.
- / Agregado grueso de Huso granulométrico # 57 (Especificaciones Técnicas del Proyecto). Cantera Cochamarca.
- / Agregado fino de huso (Especificaciones Técnicas del Proyecto). Cantera Cochamarca.
- / Agua de las fuentes del proyecto.
- / Aditivos BASF:
  - Polyheed 130 N:** Aditivo BASF Polyheed 130 N (Reductor de agua de rango medio sin Retardo)
  - Rheobuild 1060:** Reductor de agua de alto rango para producir concreto Rheoplástico
  - Micro Air 920:** Aditivo BASF (Incorporador de Aire)

/ Control de pérdida del asentamiento del concreto fresco hasta las 1 horas y 20 minutos. Las mezclas de prueba fueron realizadas en el laboratorio de obra. Contando con la presencia del Técnico Walter Garcia por parte del Consorcio Pucallpa II; y el Técnico Peter Agurto por parte de BASF Construction Chemicals Perú S.A.

GOBIERNO REGIONAL PASCO  
Ing. Eric M. Chavez Rojas  
Sub Gerente de Obras

## REFERENCIA NORMATIVA

> Concreto premezclado

ASTM C 94/C 94M –07. Standard Specification for Ready-Mixed Concrete

> Aditivos para concreto

ASTM C 494/C 494M –08. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.

> Agregados para concreto

ASTM C33 –07. Standard Specification for Concrete Aggregates

ASTM C 127 – 07. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.

ASTM C 128 – 07. Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate.

ASTM C 136 –06. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

> Preparación y muestreo del concreto fresco

ASTM C192 –07. Standard Practice for Making and Curing Test Specimens in the

Laboratory. ASTM C 172 –08. Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete.

> Ensayos del concreto fresco

ASTM C 1064/C 1064M – 08. Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete.

ASTM C 143/C 143M –08. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete

ASTM C 138/C 138M – 08 Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.

ASTM C 231 – 08b. Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method.

ASTM C 31/C 31M – 08a. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.

ASTM C 403/C 403M – 08. Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance.

> Ensayos del concreto endurecido

ASTM C39/C39M. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

GOBIERNO REGIONAL DE PASCO  
Ing. Eric M. S. Chavez Rios  
Sub-Gobernador de Obra

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

- En cuanto al asentamiento inicial del concreto, con una dosis de 0.43% de Polyheed 130N, 0.61% de Rheobuild 1060 y 0.60% de Micro Air 920 respecto al peso del cemento se logra obtener un rango de slump inicial fluctuante entre 8" a 8 1/2" en todas las mezclas preparadas, siendo acorde dicho rango con lo requerido en Obra.
- Respecto a la fluidez del concreto en el tiempo, todas las mezclas preparadas evidencian un comportamiento muy favorable del asentamiento durante los primeros 60 minutos, encontrándose el mismo en el rango requerido en obra de (4" - 6") afin de facilitar los procesos de descarga del concreto, colocación y compactación en las estructuras.
- El contenido de aire en las mezclas de concreto con cemento Andino tipo I ha fluctuado entre 5.2 y 6.0%, así mismo para las mezclas de concreto con cemento Andino tipo V los valores han fluctuado entre 4.4 y 6.2%, cumpliendo con la especificación del proyecto  $5 \pm 1.5\%$ .
- Para una temperatura ambiental  $\approx 10^{\circ}\text{C}$ , los tiempos de fraguado inicial y final obtenidos en los diseños de concreto con 270, 300, 360 y 380 kg de cemento/m<sup>3</sup> se encuentran dentro de los rangos de 11 a 15 horas respectivamente.
- En las catorce (14) dosificaciones de mezcla de concreto se ha utilizado agua de la red del laboratorio con temperatura de  $6^{\circ}\text{C}$  a  $10^{\circ}\text{C}$ .
- Los resultados de resistencia a la compresión promedio fluctúan entre 64 y 193 kg/cm<sup>2</sup> a 48 horas, entre 125 y 317 kg/cm<sup>2</sup> a 3 días y entre 170 y 386 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días cuando se incrementa el contenido de cemento desde 220 a 380 kg/m<sup>3</sup> o se disminuye la relación a/c desde 0.86 a 0.50.

ING. ERIC MATEO RIOS  
Sub Gerente de Obras

## 7. Comentarios:

- / En los primeros siete (07) DISEÑOS se empleó cemento ANDINO TIPO I y en los (07) siguientes DISEÑOS se emplearon cemento ANDINO TIPO V.
- / Los aditivos de BASF; Polyheed BON, Rheobuild 1060 y Micro Air 920 usados en las elaboraciones de las mezclas de pruebas de concreto realizadas; permiten verificar el correcto desempeño y calidad de los diferentes concretos para el Proyecto.
- / En general las dosificaciones de mezcla desarrolladas mostraron buena trabajabilidad, apariencia y consistencia; sin segregación o sangrado. Alcanzando niveles de resistencia promedio requerido para los diferentes tipos de concreto especificados en el Proyecto.
- / Se presentan un gráfico con los tiempos de fraguas de las diferentes mezclas, considerando el valor de la temperatura a las cuales fueron medidos.
- / El tiempo de fragua de las mezclas dependen de la temperatura y humedad relativa del ambiente, el tipo de cemento y la relación a/c de los diseños de mezcla de concreto.

GOBIERNO REGIONAL DE PASCO  
Ing. Eric M. Chavez Rios  
Sub Gerente de Obras

## 8.- CONSIDERACIONES Y RECOMENDACIONES FINALES:

- / Los aditivos Polyheed BON, Rheobuild 1060 y Micro Air 920 de BASF han permitido la obtención de mezclas de concreto trabajables y lo suficientemente fluidas, acordes a las necesidades técnicas del proyecto y a los rangos de asentamiento establecidos por la obra y serán aplicados en la planta Uliachin.
- / Los aditivos mencionados de BASF confieren atributos de calidad a las mezclas de concreto preparadas, a través de la mantención adecuada del asentamiento en el tiempo, tiempos de fraguado normal, resistencias  $f_c$  acordes a lo requerido por el proyecto y contenidos óptimos de cemento, lo que se traduce en un buen comportamiento de la mezcla de Concreto.
- / En función a los resultados de ensayos obtenidos y en coordinación con el Residente, se deberá dosificar estos diseños de concreto en la Planta, afin de validar las formulaciones propuestas en el presente informe.
- / Se recomienda calentar el agua para la producción de concreto en los rangos de 40–60°C.
- / Si los agregados cambian sus propiedades físicas, se recomienda realizar pruebas comparativas para verificar el comportamiento del concreto, afin de mantener las condiciones de trabajabilidad y fluidez obtenidas en los diseños patrón.

./ Se deberá tener cuidado tanto en la granulometría como en los % de finos que atrapa los agregados, ya que estos pueden ocasionar pérdidas de fluidez mayores y/o consumo adicional de agua o de aditivo plastificante / súper plastificante en el concreto.

GOBIERNO REGIONAL DE PASCO  
Ing. Eric M. S. Navez Rios  
Auto Gerente de Obras

## 2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

A continuación se detallan las características físicas de los agregados proporcionados por el laboratorio de obra.

### AGREGADOS Y CEMENTO ANDINO TIPO I

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP ESPECIFICO kg/m <sup>3</sup>	% DE ABSORCION	MODULO FINURA	TAMAÑO NOMINAL MAXINO
Cemento Andino Tipo I	Cemento Andino	3150	-	-	-
Agua	Fuentes del Proyecto	1000	-	-	-
Arena Natural 3/8"	Cochamarca	2624	2.40	2.87	
Piedra 57	Cochamarca	2686	0.91	7.0	1 1/2" a # 4
Polyheed 130N	BASF	1080	-	-	-
Rheobuild 1060	BASF	1210	-	-	-
Micro Air 920	BASF	1000	-	-	-

### AGREGADOS Y CEMENTO ANDINO TIPO V

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP ESPECIFICO kg/m <sup>3</sup>	% DE ABSORCION	MODULO FINURA	TAMAÑO NOMINAL MAXINO
Cemento Andino Tipo V	Cemento Andino	3150	-	-	-
Agua	Fuentes del Proyecto	1000	-	-	-
Arena Natural 3/8"	Cochamarca	2624	2.40	2.87	
Piedra 57	Cochamarca	2686	0.91	7.0	1 1/2" a # 4
Polyheed 130N	BASF	1080	-	-	-
Rheobuild 1060	BASF	1210	-	-	-
Micro Air 920	BASF	1000	-	-	-

### 3. DOSIFICACION DE CONCRETO

Para la dosificación de los concretos se han elaborado las siguientes mezclas de prueba, para cubrir las diferentes resistencias especificadas para el Proyecto.

#### CEMENTO ANDINO TIPO I

- ✓ Diseño de mezcla M1, con 240 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.79 con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M2, con 270 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.70, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M3, con 300 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.63, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M4, con 330 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.58, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M5, con 360 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.53, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M6, con 380 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.50, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M7, con 220 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.86, con aditivo.

#### CEMENTO ANDINO TIPO V

- ✓ Diseño de mezcla M8, con 220 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.84, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M9, con 240 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.77, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M10, con 270 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.69, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M11, con 300 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.62, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M12, con 330 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.56, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M13, con 360 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.51, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M14, con 380 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.49, con aditivo.

#### DISEÑOS EMPLEADOS PARA EL ENSAYO DE FRAGUA CON CEMENTO TIPO I (ASTM C 403).

- ✓ Diseño de mezcla M2, con 270 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.70, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M3, con 300 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.63, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M5, con 360 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.53, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M6, con 380 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.50, con aditivo.

#### DISEÑOS EMPLEADOS PARA EL ENSAYO DE FRAGUA CON CEMENTO TIPO V (ASTM C 403).

- ✓ Diseño de mezcla M10, con 270 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.69, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M11, con 300 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.62, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M13, con 360 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.51, con aditivo.
- ✓ Diseño de mezcla M14, con 380 kg. /m<sup>3</sup> de relación a/c 0.49, con aditivo.

## DISEÑOS REALIZADOS CON CEMENTO ANDINO TIPO I:

✚ Diseño de mezcla M 1, con 240 kg. /m3 de relación a/c 0.79 con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo I	Cemento Andino	3140			240.0	0.0764	240.0	10.80	kg
Agua	Red potable	1000			190.0	0.1900	113.3	5.10	Lt
Arena	Cochamarca	2624	10.100	2.40	943.2	0.3696	1015.8	46.71	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.370	0.91	891.2	0.3318	895.3	40.29	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			1.04	0.00096	1.04	0.047	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			1.46	0.00120	1.45	0.065	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.16	0.00016	0.16	0.007	kg
Aire						0.0400			
<b>TOTAL</b>					2267.1	1.0000	2266.9		

✚ Diseño de mezcla M2, con 270 kg. /m3 de relación a/c 0.70, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo I	Cemento Andino	3140			270.0	0.0860	270.0	12.15	kg
Agua	Red potable	1000			190.0	0.1900	114.4	5.15	Lt
Arena	Cochamarca	2624	10.10	2.40	929.8	0.3543	1001.4	45.06	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.370	0.91	878.5	0.3271	882.6	39.72	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			1.17	0.00108	1.17	0.052	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			1.63	0.00135	1.63	0.074	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.16	0.00016	0.16	0.0073	kg
Aire						0.0400			
<b>TOTAL</b>					2271.3	1.0000	2271.1		

✚ Diseño de mezcla M3, con 300 kg. /m3 de relación a/c 0.63, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo I	Cemento Andino	3140			300.0	0.0955	300.0	13.50	kg
Agua	Red potable	1000			190.0	0.1900	119.3	5.37	Lt
Arena	Cochamarca	2624	10.10	2.40	863.5	0.3291	930.0	41.85	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.370	0.91	920.0	0.3425	924.2	41.59	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			1.30	0.00120	1.30	0.058	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			1.82	0.00150	1.82	0.082	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.18	0.00018	0.18	0.0081	kg
Aire						0.0400			
<b>TOTAL</b>					2276.7	1.0000	2276.6		

⚡ Diseño de mezcla M4, con 330 kg. /m3 de relación a/c 0.58, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo I	Cemento Andino	3140			330.0	0.1051	330.0	14.85	kg
Agua	Red potable	1000			190.0	0.1900	122.8	5.53	Lt
Arena	Cochamarca	2624	10.10	2.40	816.1	0.3110	878.9	39.55	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.370	0.91	942.0	0.3507	946.4	42.59	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			1.43	0.00132	1.43	0.064	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			2.00	0.00165	2.00	0.090	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.20	0.00020	0.20	0.009	kg
Aire						0.0400			
TOTAL					2281.8	1.0000	2281.6		

⚡ Diseño de mezcla M5, con 360 kg. /m3 de relación a/c 0.53, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo I	Cemento Andino	3140			360.0	0.1146	360.0	16.20	kg
Agua	Red potable	1000			190.0	0.1900	125.1	5.63	Lt
Arena	Cochamarca	2624	10.10	2.40	786.9	0.2999	847.5	38.14	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.370	0.91	945.5	0.3520	949.9	42.74	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			1.56	0.00144	1.56	0.070	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			2.18	0.00180	2.18	0.098	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.22	0.00022	0.22	0.010	kg
Aire						0.0400			
TOTAL					2286.3	1.0000	2286.1		

⚡ Diseño de mezcla M6, con 380 kg. /m3 de relación a/c 0.50, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo I	Cemento Andino	3140			380.0	0.1210	380.0	17.10	kg
Agua	Red potable	1000			190.0	0.1900	134.9	6.07	Lt
Arena	Cochamarca	2624	8.97	2.40	762.0	0.2904	812.1	36.54	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.440	0.91	953.4	0.3549	958.4	43.13	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			1.64	0.00152	1.64	0.074	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			2.30	0.00190	2.30	0.103	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.23	0.00023	0.23	0.010	kg
Aire						0.0400			
TOTAL					2289.5	1.0000	2289.3		

✚ Diseño de mezcla M7, con 220 kg. /m3 de relación a/c 0.86, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo I	Cemento Andino	3140			220.0	0.0701	220.0	9.90	kg
Agua	Red potable	1000			190.0	0.1900	122.7	5.52	Lt
Arena	Cochamarca	2624	8.97	2.40	952.2	0.3629	1014.7	45.66	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.440	0.91	899.7	0.3350	904.5	40.70	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			0.95	0.00088	0.95	0.043	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			1.33	0.00110	1.33	0.060	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.13	0.00013	0.13	0.006	kg
Aire						0.0400			
TOTAL					2264.3	1.0000	2264.1		

### DISEÑOS REALIZADOS CON CEMENTO ANDINO TIPO V

✚ Diseño de mezcla M8, con 220 kg. /m3 de relación a/c 0.84, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo V	Cemento Andino	3150			220.0	0.0698	220.0	12.10	kg
Agua	Red potable	1000			185.0	0.1850	118.3	6.51	Lt
Arena	JYD (VICCO)	2624	8.97	2.40	941.0	0.3586	1002.8	55.15	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.440	0.91	925.4	0.3445	930.3	51.17	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			0.83	0.00077	0.83	0.046	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			1.33	0.00110	1.33	0.073	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.14	0.00014	0.14	0.0079	kg
Aire						0.0400			
TOTAL					2273.7	1.0000	2273.6		

✚ Diseño de mezcla M9, con 240 kg. /m3 de relación a/c 0.77, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo V	Cemento Andino	3150			240.0	0.0762	240.0	13.20	kg
Agua	Red potable	1000			185.0	0.1850	117.8	6.48	Lt
Arena	JYD (VICCO)	2624	8.97	2.40	950.5	0.3622	1013.0	55.71	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.440	0.91	898.1	0.3344	902.9	49.66	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			0.91	0.00084	0.91	0.050	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			1.45	0.00120	1.45	0.080	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.16	0.00016	0.16	0.0086	kg
Aire						0.0400			
TOTAL					2276.2	1.0000	2276.0		

✚ Diseño de mezcla M10, con 270 kg. /m3 de relación a/c 0.69, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo V	Cemento Andino	3150			270.0	0.0857	270.0	14.85	kg
Agua	Red potable	1000			185.0	0.1850	118.7	6.53	Lt
Arena	JYD (VICCO)	2624	8.97	2.40	937.2	0.3572	998.7	54.93	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.440	0.91	885.5	0.3297	890.2	48.96	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			1.02	0.00095	1.02	0.066	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			1.63	0.00135	1.63	0.090	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.16	0.00016	0.16	0.0089	kg
Aire						0.0400			
TOTAL					2280.5	1.0000	2280.3		

✚ Diseño de mezcla M11, con 300 kg. /m3 de relación a/c 0.62, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo V	Cemento Andino	3150			300.0	0.0952	300.0	16.50	kg
Agua	Red potable	1000			185.0	0.1850	116.9	6.43	Lt
Arena	JYD (VICCO)	2624	9.60	2.40	870.5	0.3317	933.2	51.32	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.490	0.91	927.4	0.3453	932.8	51.30	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			1.13	0.00105	1.13	0.062	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			1.82	0.00150	1.82	0.100	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.18	0.00018	0.18	0.0099	kg
Aire						0.0400			
TOTAL					2286.1	1.0000	2285.9		

✚ Diseño de mezcla M12, con 330 kg. /m3 de relación a/c 0.56, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo V	Cemento Andino	3150			330.0	0.1048	330.0	18.15	kg
Agua	Red potable	1000			185.0	0.1850	120.2	6.61	Lt
Arena	JYD (VICCO)	2624	9.60	2.40	822.9	0.3136	882.1	48.52	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.490	0.91	949.9	0.3536	955.4	52.55	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			1.25	0.00116	1.25	0.069	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			2.00	0.00165	2.00	0.110	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.20	0.00020	0.20	0.011	kg
Aire						0.0400			
TOTAL					2291.2	1.0000	2291.0		

✚ Diseño de mezcla M13, con 360 kg. /m3 de relación a/c 0.51, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo V	Cemento Andino	3150			360.0	0.1143	360.0	19.80	kg
Agua	Red potable	1000			185.0	0.1850	122.3	6.73	Lt
Arena	JYD (VICCO)	2624	9.60	2.40	793.6	0.3024	850.7	46.79	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.490	0.91	963.6	0.3550	959.1	52.75	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			1.36	0.00126	1.36	0.075	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			2.18	0.00180	2.18	0.120	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.22	0.00022	0.22	0.012	kg
Aire						0.0400			
TOTAL					2295.9	1.0000	2295.7		

✚ Diseño de mezcla M14, con 380 kg. /m3 de relación a/c 0.49, con aditivo.

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m <sup>3</sup>	HUM. %	ABS. %	PESO SSS kg/m <sup>3</sup>	VOL.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD PESO SSS	TANDA DE PRUEBA PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Andino Tipo V	Cemento Andino	3150			380.0	0.1206	380.0	20.90	kg
Agua	Red potable	1000			185.0	0.1850	124.1	6.82	Lt
Arena	JYD (VICCO)	2624	9.60	2.40	768.6	0.2929	823.9	45.32	kg
Piedra 57	Cochamarca	2686	1.490	0.91	961.6	0.3580	967.2	53.19	kg
Polyheed 130N	BASF	1080			1.44	0.00133	1.44	0.079	kg
Rheobuild 1060	BASF	1210			2.30	0.00190	2.30	0.126	kg
Micro Air 920	BASF	1000			0.23	0.00023	0.23	0.013	kg
Aire						0.0400			
TOTAL					2299.1	1.0000	2298.9		

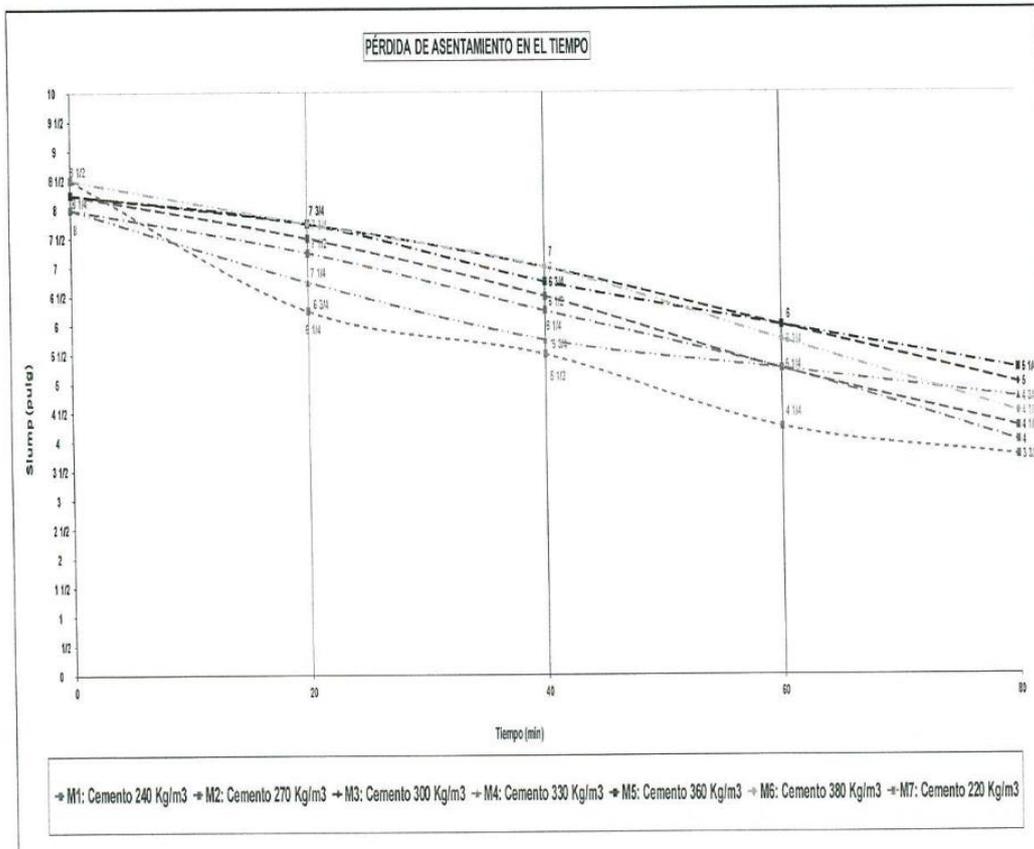
#### 4. RESULTADOS DE LAS MEZCLAS DE PRUEBAS EN LABORATORIO DE OBRA

Se muestran los resultados de las dosificaciones en peso por m3 en estado saturado de superficie seca (SSS), de la mezcla de concreto realizadas en obra, y sus resultados de los ensayos en estado fresco y endurecido. Se presenta también la medición de la pérdida de asentamiento cada 20 minutos por un tiempo de 1 horas y 20 minutos medido desde la descarga de la mezcladora.

Proyecto: "Ampliación y Mejoramiento del Servicio de Internamiento Penitenciario en la Jurisdicción de la oficina Regional Oriente Pucallpa Etapa I"								
Cliente: Consorcio Oriente Pucallpa III								
Agregados de cantera : Cochamarca, Cemento Andino Tipo I								
Lunes, 17 de marzo de 2014						martes, 18 de marzo de 2014		
DESCRIPCIÓN DE PARAMETRO	UNIDAD	Dosificación del concreto / m3 (Estado Saturado Superficie Seca)						
		M1: Cemento 240 Kg/m3	M2: Cemento 270 Kg/m3	M3: Cemento 300 Kg/m3	M4: Cemento 330 Kg/m3	M5: Cemento 360 Kg/m3	M6: Cemento 390 Kg/m3	M7: Cemento 220 Kg/m3
Polyheed 130N	col/kg cts	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Rheobuild 1060	col/kg cts	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Micro Air 920	col/kg cts	0.65	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Polyheed 130N	%	0.43	0.4	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Rheobuild 1060	%	0.61	0.6	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Micro Air 920	%	0.065	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
Polyheed 130N	lts./m3	0.96	1.1	1.20	1.32	1.44	1.62	0.88
Rheobuild 1060	lts./m3	1.20	1.4	1.50	1.66	1.80	1.90	1.10
Micro Air 920	lts./m3	0.16	0.2	0.18	0.20	0.22	0.23	0.13
Cemento Andino Tipo I	Kg/m <sup>3</sup>	240	270	300	330	360	390	220
Agua potable	Lim <sup>3</sup>	190	190	190	190	190	190	190
Arena - Cochamarca	Kg/m <sup>3</sup>	943	930	865	816	787	762	952
Piedra liso 67 - Cochamarca	Kg/m <sup>3</sup>	891	879	920	942	946	953	900
Peso Total	Kg/m <sup>3</sup>	2267	2271	2276	2281	2286	2289	2264
Incidencia arena- piedra	%	52 - 48	52 - 48	49 - 51	47 - 53	46 - 54	45 - 55	52 - 48
Aire incorporado	%	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Relación a/c	-	0.79	0.70	0.63	0.58	0.53	0.50	0.86
Stamp Inicial	pulg.	8	8 1/4	8 1/4	8	8 1/4	8 1/2	8 1/2
Contenido de aire	%	6.9	6.0	6.0	6.6	6.0	6.2	6.0
Peso Unitario fresco	Kg/m <sup>3</sup>	2238	2258	2290	2277	2246	2286	2267
Rendimiento	-	1.01	1.01	0.99	1.00	1.02	1.00	1.00
Temperatura ambiente	°C	7.0	9.0	9.0	10.0	8.0	8.0	9.0
Temperatura concreto	°C	10.0	12.0	12.0	12.0	12.0	10.0	11.0
Hora de mezclado	Hr: mm	09:55	10:38	11:43	15:09	16:00	10:30	11:32
f'c @ 48 Horas	Kg/cm <sup>2</sup>	60	121	129	191	189	193	94
f'c @ 3 dias	Kg/cm <sup>2</sup>	162	184	216	213	261	317	126
f'c @ 7 dias	Kg/cm <sup>2</sup>	201	260	276	287	376	386	170
f'c @ 28 dias	Kg/cm <sup>2</sup>	267	404	408	417	484	624	221
OBSERVACIONES	1. Las temperaturas de los materiales integrantes del concreto fueron: arena 9.0°C, piedra 9.0°C, cemento 10.0°C 2. En todos los casos se utilizó agua de la red , a una temperatura de 10.0°C. 3. En todos los casos se muestrearon 8 probetas de 6" x 12" para ensayo de resistencia en compresión.							

Pérdida de asentamiento en el tiempo		M1: Cemento 240 Kg/m <sup>3</sup>		M2: Cemento 270 Kg/m <sup>3</sup>		M3: Cemento 300 Kg/m <sup>3</sup>		M4: Cemento 330 Kg/m <sup>3</sup>		M5: Cemento 360 Kg/m <sup>3</sup>		M6: Cemento 380 Kg/m <sup>3</sup>		M7: Cemento 220 Kg/m <sup>3</sup>	
		Asentamiento (pulg)	Pérdida acumulada												
0	min	8		8 1/4		8 1/4		8		8 1/4		8 1/2		8 1/2	
20	min	7 1/4	3/4	7 1/2	3/4	7 3/4	1/2	6 3/4	1 1/4	7 3/4	1/2	7 3/4	3/4	6 1/4	2 1/4
40	min	6 1/4	1 3/4	6 1/2	1 3/4	7	1 1/4	5 3/4	2 1/4	6 3/4	1 1/2	7	1 1/2	5 1/2	3
60	min	5 1/4	2 3/4	5 1/4	3	6	2 1/4	5 1/4	2 3/4	6	2 1/4	5 3/4	2 3/4	4 1/4	4 1/4
80	min	4	4	4 1/4	4	5	3 1/4	4 3/4	3 1/4	5 1/4	3	4 1/2	4	3 3/4	4 3/4

Control de temperaturas		T° Concreto	T° Ambiente												
0	min	10.0	7.0	12.0	9.0	12.0	9.0	12.0	10.9	12.0	8.0	10.0	8.0	11.0	9.0
20	min	11.0	10.0	13.0	10.0	12.0	8.0	12.0	9.0	10.0	9.0	12.0	7.0	14.0	9.0
40	min	11.0	10.0	14.0	12.0	12.0	9.0	11.0	9.0	10.0	8.0	12.0	9.0	13.0	10.0
60	min	11.0	10.0	13.0	9.0	12.0	10.0	10.0	8.0	10.0	8.0	13.0	9.0	13.0	11.0
80	min	11.0	9.0	12.0	9.0	11.0	10.0	10.0	8.0	10.0	8.0	13.0	9.0	12.0	11.0



Proyecto: "Ampliación y Mejoramiento del Servicio de Internamiento Penitenciario en la Jurisdicción de la oficina Regional Oriente Pucallpa Etapa I"

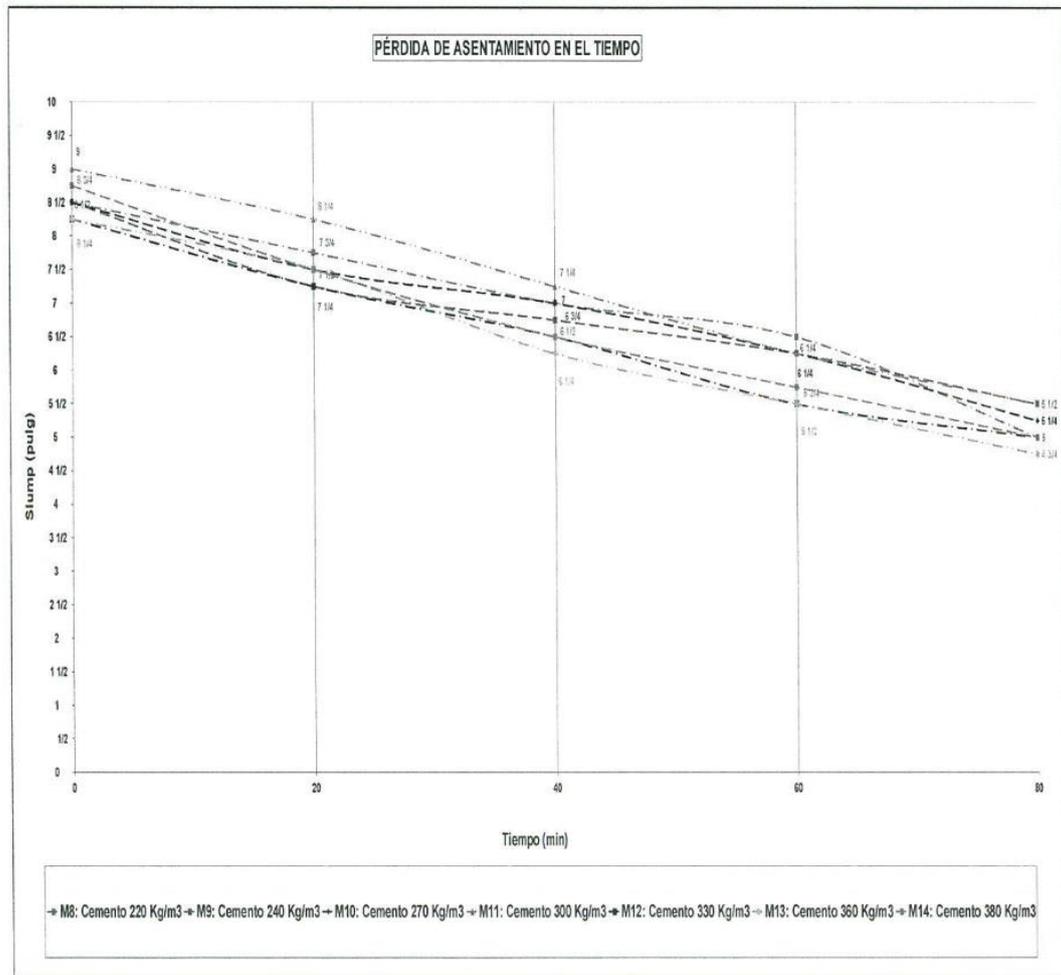
Cliente: CONSORCIO ORIENTE PUCALLPA III

Agregados de cantera : Cochamarca, Cemento Andino Tipo V

DESCRIPCIÓN DE PARÁMETRO	UNIDAD	martes, 18 de marzo de 2014				miércoles, 19 de marzo de 2014			
		Dosificación del concreto / m <sup>3</sup> (Estado Saturado Superficie Seca)							
		M8: Cemento 220 Kg/m <sup>3</sup>	M9: Cemento 240 Kg/m <sup>3</sup>	M10: Cemento 270 Kg/m <sup>3</sup>	M11: Cemento 300 Kg/m <sup>3</sup>	M12: Cemento 330 Kg/m <sup>3</sup>	M13: Cemento 360 Kg/m <sup>3</sup>	M14: Cemento 380 Kg/m <sup>3</sup>	
Polyheed 130N	cc/kg cte	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	
Rheobuild 1060	cc/kg cte	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
Micro Air 920	cc/kg cte	0.65	0.65	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	
Polyheed 130N	%	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	
Rheobuild 1060	%	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	
Micro Air 920	%	0.065	0.065	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	
Polyheed 130N	lts./m <sup>3</sup>	0.77	0.84	0.95	1.05	1.16	1.26	1.33	
Rheobuild 1060	lts./m <sup>3</sup>	1.10	1.20	1.35	1.50	1.65	1.80	1.90	
Micro Air 920	lts./m <sup>3</sup>	0.14	0.16	0.16	0.18	0.20	0.22	0.23	
Cemento Andino Tipo V	Kg/m <sup>3</sup>	220	240	270	300	330	360	380	
Agua potable	L/m <sup>3</sup>	185	185	185	185	185	185	185	
Arena - Cochamarca	Kg/m <sup>3</sup>	941	951	937	871	823	794	769	
Piedra huso 57 - Cochamarca	Kg/m <sup>3</sup>	925	898	886	927	950	954	962	
Peso Total	Kg/m <sup>3</sup>	2273	2276	2280	2286	2291	2295	2299	
Incidencia arena- piedra	%	51 - 49	52 - 48	52 - 48	49 - 51	47 - 53	46 - 54	45 - 55	
Aire incorporado	%	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
Relación a/c	-	0.84	0.77	0.69	0.62	0.56	0.51	0.49	
Slump inicial	pulg.	8 1/2	8 1/2	8 1/2	9	8 1/4	8 1/4	8 3/4	
Contenido de aire	%	6.0	4.4	6.3	6.2	5.6	5.5	5.10	
Peso Unitario fresco	Kg/m <sup>3</sup>	2281	2302	2273	2246	2259	2204	2307	
Rendimiento	-	1.00	0.99	1.00	1.02	1.01	1.00	1.00	
Temperatura ambiente	°C	10.0	10.0	9.0	8.0	12.0	9.0	9.0	
Temperatura concreto	°C	13.0	13.0	12.0	10.0	13.0	12.0	13.0	
Hora de mezclado	Hr:mm	13:39	14:08	15:23	09:57	10:17	15:37	15:56	
f'c @ 48 Horas	Kg/cm <sup>2</sup>	40	44	57	84	132	148	144	
f'c @ 3 días	Kg/cm <sup>2</sup>	58	65	89	136	195	198	198	
f'c @ 7 días	Kg/cm <sup>2</sup>	99	121	157	254	310	334	343	
f'c @ 28 días	Kg/cm <sup>2</sup>	238	247	316	388	441	461	468	
OBSERVACIONES	1. Las temperaturas de los materiales integrantes del concreto fueron: arena 9.0°C, piedra 9.0°C, cemento 10.0°C 2. En todos los casos se utilizó agua de la red, a una temperatura de 10.0°C. 3. En todos los casos se muestrearon 8 probetas de 6" x 12" para ensayo de resistencia en compresión.								

Pérdida de asentamiento en el tiempo		M8: Cemento 220 Kg/m <sup>3</sup>		M9: Cemento 240 Kg/m <sup>3</sup>		M10: Cemento 270 Kg/m <sup>3</sup>		M11: Cemento 300 Kg/m <sup>3</sup>		M12: Cemento 330 Kg/m <sup>3</sup>		M13: Cemento 360 Kg/m <sup>3</sup>		M14: Cemento 380 Kg/m <sup>3</sup>	
		Asentamiento (pulg)	Pérdida acumulada	Asentamiento (pulg)	Pérdida acumulada	Asentamiento (pulg)	Pérdida acumulada	Asentamiento (pulg)	Pérdida acumulada	Asentamiento (pulg)	Pérdida acumulada	Asentamiento (pulg)	Pérdida acumulada	Asentamiento (pulg)	Pérdida acumulada
0	min	8 1/2		8 1/2		8 1/2		9		8 1/4		8 1/4		8 3/4	
20	min	7 3/4	3/4	7 1/4	1 1/4	7 1/2	1	8 1/4	3/4	7 1/4	1	7 1/2	3/4	7 1/2	1 1/4
40	min	7	1 1/2	6 3/4	1 3/4	7	1 1/2	7 1/4	1 3/4	6 1/2	1 3/4	6 1/4	2	6 1/2	2 1/4
60	min	6 1/2	2	6 1/4	2 1/4	6 1/4	2 1/4	6 1/4	2 3/4	5 1/2	2 3/4	5 1/2	2 3/4	5 3/4	3
80	min	5	3 1/2	5 1/2	3	5 1/4	3 1/4	5 1/2	3 1/2	5	3 1/4	4 3/4	3 1/2	5	3 3/4

Control de temperaturas		T° Concreto	T° Ambiente												
0	min	13.0	10.0	13.0	10.0	12.0	9.0	10.0	8.0	13.0	12.0	12.0	9.0	13.0	9.0
20	min	12.0	10.0	13.0	9.0	12.0	9.0	11.0	12.0	14.0	13.0	12.8	8.0	13.3	7.0
40	min	12.0	9.0	12.0	9.0	11.0	9.0	13.8	13.0	15.6	13.0	13.0	8.0	12.7	7.0
60	min	11.0	9.0	10.0	9.0	11.0	8.0	15.2	12.0	15.0	12.0	12.0	7.0	12.4	7.0
80	min	10.0	8.0	10.0	8.0	10.0	8.0	14.7	12.0	14.8	12.0	12.0	7.0	12.0	7.0



## 6.- RESULTADOS DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE CONCRETO (ASTM C 403)

### CEMENTO TIPO I

 <b>BASF</b> The Chemical Company	BASF CONSTRUCTION CHEMICALS PERU S.A. SOPORTE TÉCNICO
	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (Norma de Ensayo : ASTM - C 403 )

MUESTRA	: Cto. Andino - T I - 270 kg/m <sup>3</sup>	DOSIFICACION DE DISEÑO	
PROCEDENCIA	: Prueba en Laboratorio	Cemento	270 kg/m <sup>3</sup>
PROCED. AGREGADOS	: Cochamarca	Agua	190 lt/m <sup>3</sup>
CEMENTO	: Andino Tipo I	Arena natural	930 kg/m <sup>3</sup>
ADITIVO	: Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro AIR 920	Piedra HUSO 57	879 kg/m <sup>3</sup>
<u>Ensayo de Concreto Fresco</u>		aditivo: Micro Air 920 0.06%	0.16 lt/m <sup>3</sup>
ASENTAMIENTO	: 8 1/4 Pulg	aditivo: Polyheed 130N 0.43%	1.10 lt/m <sup>3</sup>
TEMP. MORTERO	: 12.8 °C	aditivo: Rheobuild 1060 0.61%	1.40 lt/m <sup>3</sup>
TEMP. AMBIENTE	: 5.0 °C	Relación A/C	0.70
FECHA ENSAYO	: 19 de marzo de 2014	Técnico responsable :	Peter Agurto Marcelo
HORA DE INICIO	: 6:45		

Hora Ensayo	Tiempo (Minutos)	Carga (Libras)	Agujas de Penetración			Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura	
			Nº Aguja	Díámetro (Pulgadas)	Área Contacto (Pulg <sup>2</sup> )		Ambiente	Mortero
6:45	0	0	1	1.128	1.000	0		
15:32	527	80	1	1.128	1.000	80	10.0	13.3
16:47	602	110	2	0.798	0.500	220	10.0	13.6
17:52	667	138	3	0.564	0.250	552	9.0	14.2
18:59	734	120	4	0.357	0.100	1200	8.0	14.3
20:12	807	112	5	0.252	0.050	2240	8.0	14.2
21:30	885	112	6	0.178	0.025	4480	7.0	14.3



RESULTADOS	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL	677 Minutos	11 horas 17 minutos
	TIEMPO DE FRAGUA FINAL	862 Minutos	14 horas 22 minutos



The Chemical Company

*BASF CONSTRUCTION CHEMICALS PERU S.A*

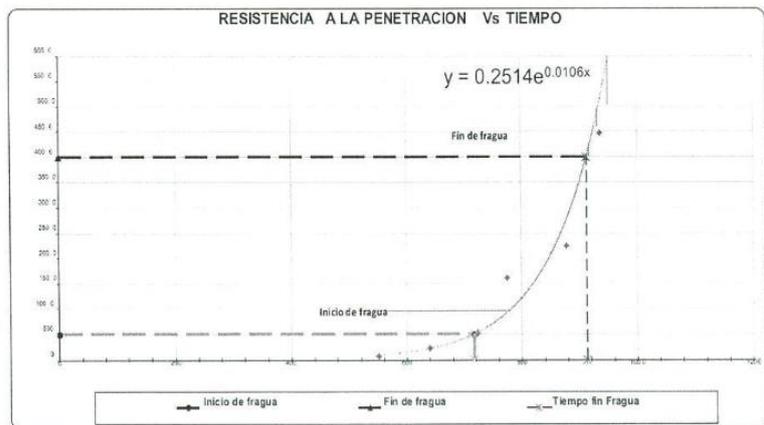
*SOPORTE TÉCNICO*

*ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN*

(Norma de Ensayo : ASTM - C 403 )

MUESTRA	: Cto. Andino - T I - 300 kg/m <sup>3</sup>	DOSIFICACION DE DISEÑO	
PROCEDECIA	: Prueba en Laboratorio	Cemento	300 kg/m <sup>3</sup>
PROCED. AGREGADOS	: Cochamarca	Agua	190 lt/m <sup>3</sup>
CEMENTO	: Andino Tipo I	Arena natural	863 kg/m <sup>3</sup>
ADITIVO	: Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro AIR 920	Piedra HUSO 57	920 kg/m <sup>3</sup>
<u>Ensayo de Concreto Fresco</u>		aditivo Micro Air 920 0.06%	0.18 lt/m <sup>3</sup>
ASENTAMIENTO	: 8 3/4 Pulg	aditivo Polyheed 130N 0.43%	1.20 lt/m <sup>3</sup>
TEMP. MORTERO	: 13.0 °C	aditivo Rheobuild 1060 0.61%	1.50 lt/m <sup>3</sup>
TEMP. AMBIENTE	: 5.0 °C	Relación A/C	0.63
FECHA ENSAYO	: 19 de marzo de 2014	Técnico responsable : Peter Agurto Marcelo	
HORA DE INICIO	: 7:18		

Hora Ensayo	Tiempo (Minutos)	Carga (Libras)	Agujas de Penetración			Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura	
			Nº Aguja	Diámetro (Pulgadas)	Area Contacto (Pulg <sup>2</sup> )		Ambiente	Mortero
7:18	0	0	1	1.128	1.000	0		
16:28	550	68	1	1.128	1.000	68	10.0	13.3
17:57	639	118	2	0.798	0.500	236	10.0	13.6
19:20	722	128	3	0.564	0.250	512	9.0	14.2
20:12	774	160	4	0.357	0.100	1600	8.0	14.3
21:56	878	112	5	0.252	0.050	2240	8.0	14.2
22:54	936	112	6	0.178	0.025	4480	7.0	14.3



RESULTADOS	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL	717 Minutos	11 horas 57 minutos
	TIEMPO DE FRAGUA FINAL	913 Minutos	15 horas 13 minutos

*BASF CONSTRUCTION CHEMICALS PERU S.A*

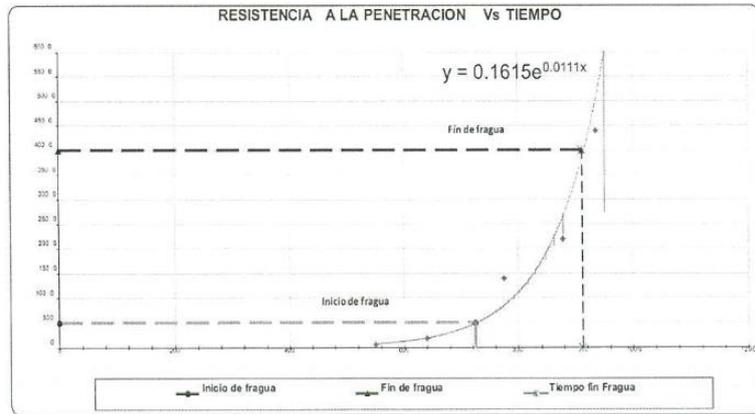
*SOPORTE TÉCNICO*

**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACION**

(Norma de Ensayo : ASTM - C 403 )

MUESTRA	: Cto. Andino - T 1 - 360 kg/m3	DOSIFICACION DE DISEÑO	
PROCEDENCIA	: Prueba en Laboratorio	Cemento	360 kg/m3
PROCED. AGREGADOS	: Cochamarca	Agua	190 lt./m3
CEMENTO	: Andino Tipo I	Arena natural	787 kg/m3
ADITIVO	: Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro AIR 920	Piedra HUSO 57	946 kg/m3
<b>Ensayo de Concreto Fresco</b>		aditivo: Micro Ar 920 0.06%	0.22 lt./m3
ASENTAMIENTO	: 8 1/2 Pulg	aditivo: Polyheed 130N 0.43%	1.44 lt./m3
TEMP. MORTERO	: 12.8 °C	aditivo: Rheobuild 1060 0.51%	1.80 lt./m3
TEMP. AMBIENTE	: 6.0 °C	Relacion A/C	0.53
FECHA ENSAYO	: 19 de marzo de 2014	Técnico responsable :	Peter Aguno Marcelo
HORA DE INICIO	: 7:32		

Hora Ensayo	Tiempo (Minutos)	Carga (Libras)	Agujas de Penetración			Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura	
			Nº Aguja	Diámetro (Pulgadas)	Area Contacto (Pulg2)		Ambiente	Mortero
7:32	0	0	1	1.128	1.000	0		
17:20	588	60	1	1.128	1.000	60	10.0	13.3
18:47	675	90	2	0.798	0.500	180	9.6	13.6
19:23	711	122	3	0.564	0.250	488	9.5	14.2
20:12	760	140	4	0.357	0.100	1400	8.0	14.3
21:10	818	110	5	0.252	0.050	2200	7.0	14.2
22:13	881	110	6	0.178	0.025	4400	6.0	14.3



RESULTADOS	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL	724 Minutos	12 horas 4 minutos
	TIEMPO DE FRAGUA FINAL	911 Minutos	15 horas 11 minutos

*BASF CONSTRUCTION CHEMICALS PERU S.A*

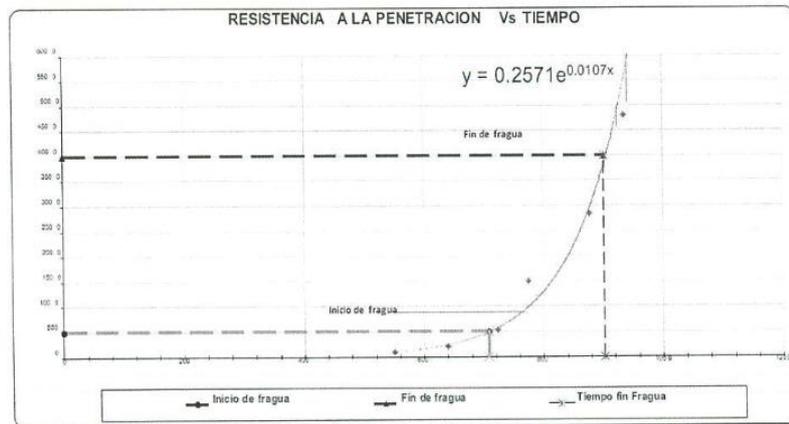
*SOPORTE TÉCNICO*

*ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN*

(Norma de Ensayo : ASTM - C 403 )

MUESTRA	: Cto. Andino - T I - 380 kg/m <sup>3</sup>	DOSIFICACION DE DISEÑO	
PROCEDENCIA	: Prueba en Laboratorio	Cemento	380 kg/m <sup>3</sup>
PROCED. AGREGADOS	: Cochemarca	Agua	190 lt/m <sup>3</sup>
CEMENTO	: Arcino Tipo I	Arena natural	762 kg/m <sup>3</sup>
ADITIVO	: Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro AIR 920	Piedra HUSO 57	953 kg/m <sup>3</sup>
<u>Ensayo de Concreto Fresco</u>		aditivo: Micro Air 920	0.06%
ASENTAMIENTO	: 8 1/2 Pulg	aditivo: Polyheed 130N	0.43%
TEMP. MORTERO	: 13.2 °C	aditivo: Rheobuild 1060	0.61%
TEMP. AMBIENTE	: 6.5 °C	Relación A/C	0.50
FECHA ENSAYO	: 19 de marzo de 2014	Técnico responsable:	Peter Aguirre Marcelo
HORA DE INICIO	: 7:45		

Hora Ensayo	Tiempo (Minutos)	Carga (Libras)	Agujas de Penetración			Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura	
			N° Aguja	Diámetro (Pulgadas)	Área Contacto (Pulg <sup>2</sup> )		Ambiente	Mortero
7:45	0	0	1	1.128	1.000	0		
15:00	435	90	1	1.128	1.000	90	10.0	13.3
16:32	527	98	2	0.798	0.500	196	9.8	13.6
17:42	597	132	3	0.564	0.250	528	9.5	14.2
18:43	658	150	4	0.357	0.100	1500	8.0	14.3
20:12	747	142	5	0.252	0.050	2840	7.0	14.2
21:12	807	120	6	0.178	0.025	4800	6.0	14.3



RESULTADOS	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL	708 Minutos	11 horas 48 minutos
	TIEMPO DE FRAGUA FINAL	902 Minutos	15 horas 2 minutos

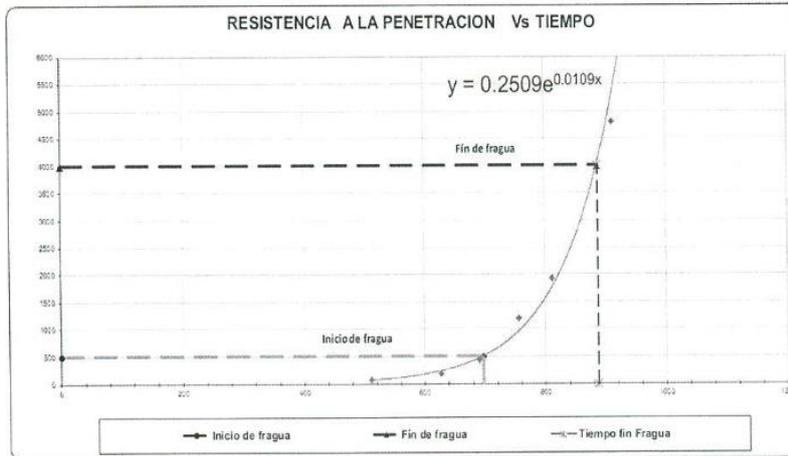
## TIEMPO DE FRAGUA CON CEMENTO TIPO V

<b>BASF</b>	<i>BASF CONSTRUCTION CHEMICALS PERU S.A</i>
The Chemical Company	<i>SOPORTE TÉCNICO</i>
<i>ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN</i>	

(Norma de Ensayo : ASTM - C 403 )

<table style="width: 100%;"> <tr><td>MUESTRA</td><td>: Cto. Andino - T V - 270 kg/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>PROCEDENCIA</td><td>: Prueba en Laboratorio</td></tr> <tr><td>PROCED. AGREGADOS</td><td>: Cochamarca</td></tr> <tr><td>CEMENTO</td><td>: Andino Tipo V</td></tr> <tr><td>ADITIVO</td><td>: Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro AR 920</td></tr> <tr><td colspan="2"><u>Ensayo de Concreto Fresco</u></td></tr> <tr><td>ASENTAMIENTO</td><td>: 81/4 Pulg</td></tr> <tr><td>TEMP. MORTERO</td><td>: 13.0 °C</td></tr> <tr><td>TEMP. AMBIENTE</td><td>: 4.0 °C</td></tr> <tr><td>FECHA ENSAYO</td><td>: 18 de marzo de 2014</td></tr> <tr><td>HORA DE INICIO</td><td>: 6:30</td></tr> </table>	MUESTRA	: Cto. Andino - T V - 270 kg/m <sup>3</sup>	PROCEDENCIA	: Prueba en Laboratorio	PROCED. AGREGADOS	: Cochamarca	CEMENTO	: Andino Tipo V	ADITIVO	: Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro AR 920	<u>Ensayo de Concreto Fresco</u>		ASENTAMIENTO	: 81/4 Pulg	TEMP. MORTERO	: 13.0 °C	TEMP. AMBIENTE	: 4.0 °C	FECHA ENSAYO	: 18 de marzo de 2014	HORA DE INICIO	: 6:30	<table style="width: 100%;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>DOSIFICACION DE DISEÑO</b></td></tr> <tr><td>Cemento</td><td>270 kg/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Agua</td><td>185 lt./m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Arena natural</td><td>937 kg/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Piedra HUSO 57</td><td>886 kg/m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>aditivo: Micro Air 920 0.06%</td><td>0.16 lt./m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>aditivo: Polyheed 130N 0.43%</td><td>0.95 lt./m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>aditivo: Rheobuild 1060 0.61%</td><td>1.35 lt./m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Relación A/C</td><td>0.69</td></tr> <tr><td>Técnico responsable :</td><td>Peter Aguirto Marcelo</td></tr> </table>	<b>DOSIFICACION DE DISEÑO</b>		Cemento	270 kg/m <sup>3</sup>	Agua	185 lt./m <sup>3</sup>	Arena natural	937 kg/m <sup>3</sup>	Piedra HUSO 57	886 kg/m <sup>3</sup>	aditivo: Micro Air 920 0.06%	0.16 lt./m <sup>3</sup>	aditivo: Polyheed 130N 0.43%	0.95 lt./m <sup>3</sup>	aditivo: Rheobuild 1060 0.61%	1.35 lt./m <sup>3</sup>	Relación A/C	0.69	Técnico responsable :	Peter Aguirto Marcelo
MUESTRA	: Cto. Andino - T V - 270 kg/m <sup>3</sup>																																										
PROCEDENCIA	: Prueba en Laboratorio																																										
PROCED. AGREGADOS	: Cochamarca																																										
CEMENTO	: Andino Tipo V																																										
ADITIVO	: Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro AR 920																																										
<u>Ensayo de Concreto Fresco</u>																																											
ASENTAMIENTO	: 81/4 Pulg																																										
TEMP. MORTERO	: 13.0 °C																																										
TEMP. AMBIENTE	: 4.0 °C																																										
FECHA ENSAYO	: 18 de marzo de 2014																																										
HORA DE INICIO	: 6:30																																										
<b>DOSIFICACION DE DISEÑO</b>																																											
Cemento	270 kg/m <sup>3</sup>																																										
Agua	185 lt./m <sup>3</sup>																																										
Arena natural	937 kg/m <sup>3</sup>																																										
Piedra HUSO 57	886 kg/m <sup>3</sup>																																										
aditivo: Micro Air 920 0.06%	0.16 lt./m <sup>3</sup>																																										
aditivo: Polyheed 130N 0.43%	0.95 lt./m <sup>3</sup>																																										
aditivo: Rheobuild 1060 0.61%	1.35 lt./m <sup>3</sup>																																										
Relación A/C	0.69																																										
Técnico responsable :	Peter Aguirto Marcelo																																										

Hora Ensayo	Tiempo (Minutos)	Carga (Libras)	Agujas de Penetración			Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura	
			Nº Aguja	Diámetro (Pulgadas)	Area Contacto (Pulg <sup>2</sup> )		Ambiente	Mortero
6:30	0	0	1	1.128	1.000	0		
15:00	510	72	1	1.128	1.000	72	10.0	13.3
16:57	627	94	2	0.798	0.500	188	10.0	13.6
18:00	690	110	3	0.564	0.250	440	9.0	14.2
19:06	756	120	4	0.357	0.100	1200	8.0	14.3
20:02	812	96	5	0.252	0.050	1920	8.0	14.2
21:42	912	120	6	0.178	0.025	4800	7.0	14.3



<b>RESULTADOS</b>	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL	697 Minutos	11 horas 37 minutos
	TIEMPO DE FRAGUA FINAL	888 Minutos	14 horas 48 minutos



BASF CONSTRUCTION CHEMICALS PERU S.A

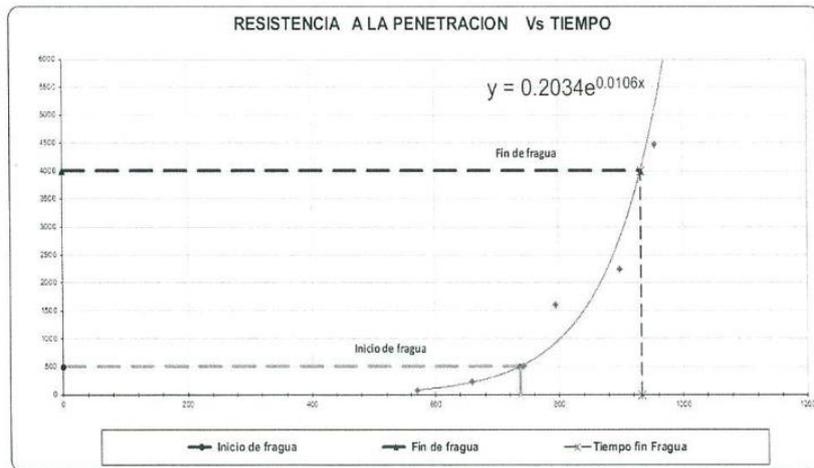
SOPORTE TÉCNICO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

(Norma de Ensayo : ASTM - C 403 )

MUESTRA	: Cto. Andino - T V - 300 kg/m <sup>3</sup>	DOSIFICACION DE DISEÑO	
PROCEDENCIA	: Prueba en Laboratorio	Cemento	300 kg./m <sup>3</sup>
PROCED. AGREGADOS	: Cochamarca	Agua	185 lt./m <sup>3</sup>
CEMENTO	: Andino Tipo V	Arena natural	871 kg./m <sup>3</sup>
ADITIVO	: Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro AIR 920	Piedra HUSO S7	927 kg./m <sup>3</sup>
<b>Ensayo de Concreto Fresco</b>		aditivo Micro Air 920 0.06%	0.18 lt./m <sup>3</sup>
ASENTAMIENTO	: 8 Pulg	aditivo Polyheed 130N 0.43%	1.05 lt./m <sup>3</sup>
TEMP. MORTERO	: 13.2 °C	aditivo Rheobuild 1060 0.61%	1.50 lt./m <sup>3</sup>
TEMP. AMBIENTE	: 4.8 °C	Relacion A/C	0.62
FECHA ENSAYO	: 18 de marzo de 2014	Tecnico responsable : Peter Agurto Marcelo	
HORA DE INICIO	: 6:58		

Hora Ensayo	Tiempo (Minutos)	Carga (Libras)	Agujas de Penetración			Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura	
			Nº Aguja	Diámetro (Pulgadas)	Area Contacto (Pulg <sup>2</sup> )		Ambiente	Mortero
6:58	0	0	1	1.128	1.000	0		
16:28	570	68	1	1.128	1.000	68	10.0	13.3
17:57	659	118	2	0.798	0.500	236	10.0	13.6
19:20	742	128	3	0.564	0.250	512	9.0	14.2
20:12	794	160	4	0.357	0.100	1600	8.0	14.2
21:56	898	112	5	0.252	0.050	2240	8.0	14.2
22:54	956	112	6	0.178	0.025	4480	7.0	14.0



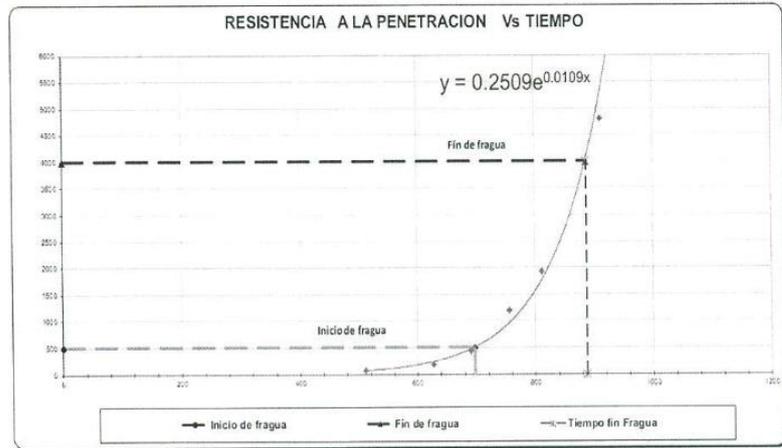
RESULTADOS	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL	737 Minutos	12 horas 17 minutos
	TIEMPO DE FRAGUA FINAL	933 Minutos	15 horas 33 minutos

TIEMPO DE FRAGUA CON CEMENTO TIPO V

 <b>BASF</b> The Chemical Company	BASF CONSTRUCTION CHEMICALS PERU S.A. SOPORTE TÉCNICO
	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (Norma de Ensayo : ASTM - C 403 )

MUESTRA	Cto. Andino - T V - 270 kg/m3	DOSIFICACION DE DISEÑO	
PROCEDENCIA	Prueba en Laboratorio	Cemento	270 kg/m3
PROCED. AGREGADOS	Cochamarca	Agua	185 lt./m3
CEMENTO	Andino Tipo V	Arena natural	937 kg/m3
ADITIVO	Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro Air 920	Piedra HUSO 57	886 kg/m3
<b>Ensayo de Concreto Fresco</b>		aditivo Micro Air 920 0.06%	0.16 lt./m3
ASENTAMIENTO	81/4 Pulg	aditivo Polyheed 130N 0.43%	0.95 lt./m3
TEMP. MORTERO	13.0 °C	aditivo Rheobuild 1060 0.61%	1.35 lt./m3
TEMP. AMBIENTE	4.0 °C	Relación A/C	0.09
FECHA ENSAYO	18 de marzo de 2014	Técnico responsable :	Peter Aguirte Marcelo
HORA DE INICIO	6:30		

Hora Ensayo	Tiempo (Minutos)	Carga (Libras)	Agujas de Penetración			Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura	
			Nº Aguja	Diámetro (Pulgadas)	Area Contacto (Pulg2)		Ambiente	Mortaro
6:30	0	0	1	1.128	1.000	0		
15:00	510	72	1	1.128	1.000	72	10.0	13.3
16:57	627	94	2	0.798	0.500	188	10.0	13.6
18:00	690	110	3	0.564	0.250	440	9.0	14.2
19:06	756	120	4	0.357	0.100	1200	8.0	14.3
20:02	812	96	5	0.252	0.050	1920	8.0	14.2
21:42	912	120	6	0.178	0.025	4800	7.0	14.3



RESULTADOS	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL	697 Minutos	11 horas 37 minutos
	TIEMPO DE FRAGUA FINAL	888 Minutos	14 horas 48 minutos



BASF CONSTRUCTION CHEMICALS PERU S.A

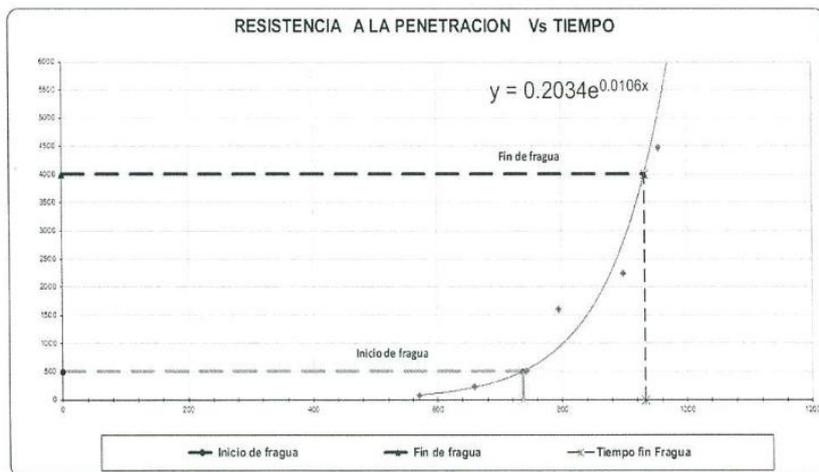
SOPORTE TÉCNICO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

(Norma de Ensayo : ASTM - C 403 )

MUESTRA	: Cto. Andino - T V - 300 kg/m3	DOSIFICACION DE DISEÑO	
PROCEDENCIA	: Prueba en Laboratorio	Cemento	300 kg./m3
PROCED. AGREGADOS	: Cochamarca	Agua	185 lt./m3
CEMENTO	: Andino Tipo V	Arena natural	871 kg./m3
ADITIVO	: Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro AIR 920	Piedra HUSO 57	927 kg./m3
<b>Ensayo de Concreto Fresco</b>		aditivo: Micro Air 920 0.06%	0.18 lt./m3
ASENTAMIENTO	: 8 Pulg	aditivo: Polyheed 130N 0.43%	1.05 lt./m3
TEMP. MORTERO	: 13.2 °C	aditivo: Rheobuild 1060 0.61%	1.50 lt./m3
TEMP. AMBIENTE	: 4.8 °C	Relación AC	0.62
FECHA ENSAYO	: 18 de marzo de 2014	Técnico responsable	Peter Agurto Marcelo
HORA DE INICIO	: 6:58		

Hora Ensayo	Tiempo (Minutos)	Carga (Libras)	Agujas de Penetración			Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura	
			Nº Aguja	Diámetro (Pulgadas)	Area Contacto (Pulg2)		Ambiente	Mortero
6:58	0	0	1	1.128	1.000	0		
16:28	570	68	1	1.128	1.000	68	10.0	13.3
17:57	659	118	2	0.798	0.500	236	10.0	13.6
19:20	742	128	3	0.564	0.250	512	9.0	14.2
20:12	794	160	4	0.357	0.100	1600	8.0	14.2
21:56	898	112	5	0.252	0.050	2240	8.0	14.2
22:54	956	112	6	0.178	0.025	4480	7.0	14.0



RESULTADOS	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL	737 Minutos	12 horas 17 minutos
	TIEMPO DE FRAGUA FINAL	933 Minutos	15 horas 33 minutos



BASF CONSTRUCTION CHEMICALS PERU S.A

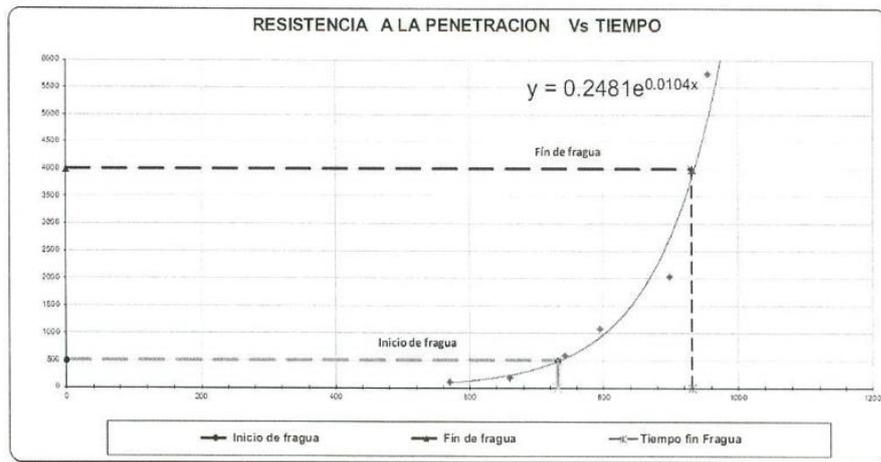
SOPORTE TÉCNICO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

(Norma de Ensayo : ASTM - C 403 )

MUESTRA	: Cto. Andino - T V - 360 kg/m <sup>3</sup>	DOSIFICACION DE DISEÑO	
PROCEDENCIA	: Prueba en Laboratorio	Cemento	360 kg/m <sup>3</sup>
PROCED. AGREGADOS	: Cochamarca	Agua	185 lt./m <sup>3</sup>
CEMENTO	: Andino Tipo V	Arena natural	794 kg/m <sup>3</sup>
ADITIVO	: Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro AIR 920	Piedra HUSO 57	954 kg/m <sup>3</sup>
<u>Ensayo de Concreto Fresco</u>		aditivo: Micro Air 920 0.06%	0.22 lt./m <sup>3</sup>
ASENTAMIENTO	: 8 1/2 Pulg	aditivo: Polyheed 130N 0.43%	1.26 lt./m <sup>3</sup>
TEMP. MORTERO	: 13.0 °C	aditivo: Rheobuild 1060 0.61%	1.80 lt./m <sup>3</sup>
TEMP. AMBIENTE	: 5.0 °C	Relación A/C	0.51
FECHA ENSAYO	: 18 de marzo de 2014	Técnico responsable : Peter Agurto Marcelo	
HORA DE INICIO	: 7:12		

Hora Ensayo	Tiempo (Minutos)	Carga (Libras)	Agujas de Penetración			Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura	
			Nº Aguja	Diámetro (Pulgadas)	Area Contacto (Pulg <sup>2</sup> )		Ambiente	Mortero
7:12	0	0	1	1.128	1.000	0		
16:02	530	100	1	1.128	1.000	100	10.0	13.3
17:12	600	90	2	0.798	0.500	180	10.0	13.6
18:40	688	150	3	0.564	0.250	600	9.0	14.2
19:50	758	108	4	0.357	0.100	1080	8.0	14.3
20:45	813	102	5	0.252	0.050	2040	8.0	14.2
21:45	873	144	6	0.178	0.025	5760	7.0	14.3



RESULTADOS	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL	732 Minutos	12 horas 12 minutos
	TIEMPO DE FRAGUA FINAL	932 Minutos	15 horas 32 minutos



BASF CONSTRUCTION CHEMICALS PERU S.A

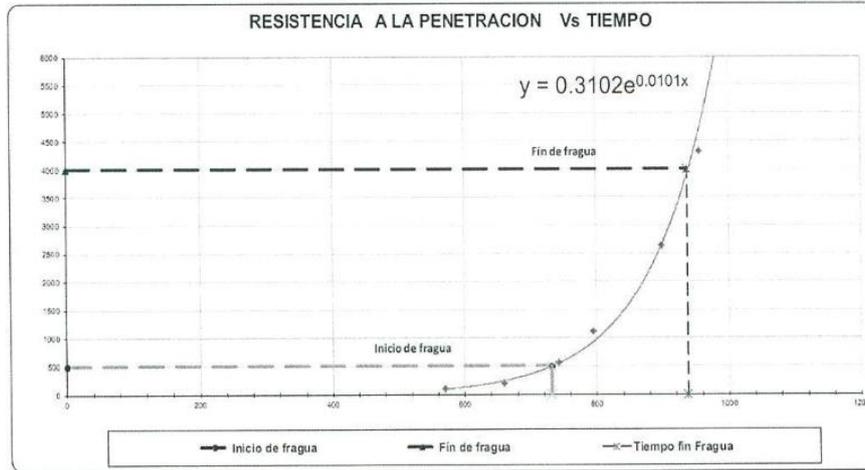
SOPORTE TÉCNICO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

(Norma de Ensayo : ASTM - C 403 )

MUESTRA	: Cto. Andino - T V - 380 kg/m3	DOSIFICACION DE DISEÑO	
PROCEDENCIA	: Prueba en Laboratorio	Cemento	380 kg./m3
PROCED. AGREGADOS	: Cochamarca	Agua	185 lt./m3
CEMENTO	: Andino Tipo V	Arena natural	769 kg./m3
ADITIVO	: Polyheed 130N + Rheobuild 1060 + Micro AIR 920	Piedra HUSO 57	962 kg./m3
<b>Ensayo de Concreto Fresco</b>		aditivo: Micro Air 920 0.06%	0.23 lt./m3
ASENTAMIENTO	: 8 1/2 Pulg	aditivo: Polyheed 130N 0.43%	1.33 lt./m3
TEMP. MORTERO	: 13.0 °C	aditivo: Rheobuild 1060 0.61%	1.90 lt./m3
TEMP. AMBIENTE	: 5.0 °C	Relación A/C	0.49
FECHA ENSAYO	: 18 de marzo de 2014	Técnico responsable : Peter Agurto Marcelo	
HORA DE INICIO	: 7:58		

Hora Ensayo	Tiempo (Minutos)	Carga (Libras)	Agujas de Penetración			Resistencia Penetración (PSI)	Temperatura	
			Nº Aguja	Diámetro (Pulgadas)	Area Contacto (Pulg2)		Ambiente	Mortero
7:58	0	0	1	1.128	1.000	0		
14:50	412	100	1	1.128	1.000	100	10.0	13.3
15:50	472	100	2	0.798	0.500	200	10.0	13.6
16:50	532	140	3	0.564	0.250	560	9.0	14.2
17:20	562	112	4	0.357	0.100	1120	8.0	14.3
19:00	662	132	5	0.252	0.050	2640	8.0	14.2
20:20	742	108	6	0.178	0.025	4320	7.0	14.3



RESULTADOS	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL	731 Minutos	12 horas 11 minutos
	TIEMPO DE FRAGUA FINAL	937 Minutos	15 horas 37 minutos

### 5.- DOSIFICACIONES DE MEZCLA RECOMENDADAS

En base a los resultados de las propiedades del concreto fresco y endurecido de las mezclas de prueba, consignado en los cuadros anteriores se puede recomendar las siguientes dosificaciones de concreto para la construcción del Proyecto.

#### CEMENTO ANDINO TIPO I

#### PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP ESPECIFICO kg/m <sup>3</sup>	% DE ABSORCION	MODULO FINURA	TAMAÑO NOMINAL MAXINO
Cemento Andino Tipo I	Cemento Andino	3150	-	-	-
Agua	Fuente del proyecto	1000	-	-	-
Arena Natural 3/8"	Cochamarca	2624	2.40	2.87	
Piedra Chancada 57	Cochamarca	2686	0.91	7.0	1 1/2" a # 4
Polyheed 130N	BASF	1080	-	-	-
Rheobuild 1060	BASF	1210	-	-	-
Micro Air 920	BASF	1000	-	-	-

#### CARACTERISTICAS DEL CONCRETO

N°	Características del Concreto	Tipos de concreto F'c = Kg/cm <sup>2</sup> (28 días)				
		100	140	175	210	280
1	Factor cemento Kg/cm <sup>3</sup>	220	240	270	300	380
2	Relación en peso: a/c	0.86	0.80	0.70	0.63	0.50
3	Porcentaje de combinación del agregado fino: rf	0.52	0.52	0.52	0.49	0.45
4	Aditivo: Polyheed 130 N (% peso del cemento)	0.43	0.43	0.40	0.43	0.43
5	Aditivo: Rheobuild 1060 (% peso del cemento)	0.61	0.61	0.60	0.61	0.61
6	Aditivo: Micro Air 920 (% peso del cemento)	0.60	0.65	0.60	0.60	0.60
7	Asentamiento	4" - 6"	4" - 6"	4" - 6"	4" - 6"	4" - 6"

#### DOSIFICACION EN PESO SECO SATURADO CON SUPERFICIE SECA (P SSS). Kg/m<sup>3</sup>

N°	Características del Concreto	Tipos de concreto F'c = Kg/cm <sup>2</sup> (28 días)				
		100	140	175	210	280
1	cemento Andino tipo I Kg/cm <sup>3</sup>	220	240	270	300	380
2	Agua Fuente del proyecto	190	190	190	190	190
3	Arena Natural 3/8" Cochamarca	952	943	930	863	762
4	Piedra Chancada 57 Cochamarca	900	891	879	920	953
5	Polyheed 130 N	0.88	0.96	1.1	1.20	1.52
6	Rheobuild 1060	1.10	1.20	1.4	1.50	1.90
7	Micro Air 920	0.13	0.16	0.2	0.18	0.23
8	Peso Total	2264	2267	2271	2276	2289

## CEMENTO ANDINO TIPO V

### PROPIEDADES FISICAS DE LOS MATERIALES

	PROCEDECENCIA	P. ESP ESPECIFICO kg/m <sup>3</sup>	% DE ABSORCION	MODULO FINURA	TAMAÑO NOMINAL MAXIMO
Cemento Andino Tipo V	Cemento Andino	3150	-	-	-
Agua	Fuente de agua del proyecto	1000	-	-	-
Arena Natural 3/8"	Cochamarca	2624	2.40	2.87	
Piedra Chancada 57	Cochamarca	2686	0.91	7.0	1 1/2" a # 4
Polyheed 130N	BASF	1080	-	-	-
Rheobuild 1060	BASF	1210	-	-	-
Micro Air 920	BASF	1000	-	-	-

### CARACTERISTICAS DEL CONCRETO

N°	Características del Concreto	Tipos de concreto F'c = Kg/cm <sup>2</sup> (28 días)				
		100	140	175	210	280
1	Factor cemento Kg/cm <sup>3</sup>	220	240	270	300	380
2	Relación en peso: a/c	0.84	0.77	0.69	0.62	0.49
3	Porcentaje de combinación del agregado fino: rf	0.51	0.52	0.52	0.49	0.45
4	Aditivo: Polyheed 130 N (% peso del cemento)	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
5	Aditivo: Rheobuild 1060 (% peso del cemento)	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
6	Aditivo: Micro Air 920 (% peso del cemento)	0.65	0.65	0.60	0.60	0.60
7	Asentamiento	4" - 6"	4" - 6"	4" - 6"	4" - 6"	4" - 6"

### DOSIFICACION EN PESO SECO SATURADO CON SUPERFICIE SECA (P SSS). Kg/m<sup>3</sup>

N°	Características del Concreto	Tipos de concreto F'c = Kg/cm <sup>2</sup> (28 días)				
		100	140	175	210	280
1	cemento Andino tipo V Kg/cm <sup>3</sup>	220	240	270	300	380
2	Agua fuente del proyecto	185	185	185	185	185
3	Arena Natural 3/8" Cochamarca	941	951	937	871	769
4	Piedra Chancada 57 Cochamarca	925	898	886	927	962
5	Polyheed 130 N	0.77	0.84	0.95	1.05	1.33
6	Rheobuild 1060	1.10	1.20	1.36	1.50	1.90
7	Micro Air 920	0.14	0.16	0.16	0.18	0.23
8	Peso Total	2273	2276	2280	2286	2299



## Electronic Delivery Cover Sheet

### NOTICE WARNING CONCERNING COPYRIGHT RESTRICTIONS

The copyright law of the United States (Title 17, United States Code) governs the making of photocopies or other reproductions of copyrighted materials.

Under certain conditions specified in the law, libraries and archives are authorized to furnish a photocopy or other reproduction. One of these specified conditions is that the photocopy or reproduction is not to be "used for any purpose other than private study, scholarship, or research." If a user makes a request for, or later uses, a photocopy or reproduction for purposes in excess of "fair use," that user may be liable for copyright infringement.

This institution reserves the right to refuse to accept a copying order if, in its judgment, fulfillment of the order would involve violation of copyright law.

This notice is posted in compliance with  
Title 37 C. F. R., Chapter II, Part 201.14



## Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D6433; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope

1.1 This practice covers the determination of roads and parking lots pavement condition through visual surveys using the Pavement Condition Index (PCI) method of quantifying pavement condition.

1.2 The PCI for roads and parking lots was developed by the U.S. Army Corps of Engineers (1, 2).<sup>2</sup> It is further verified and adopted by DOD and APWA.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are mathematical conversions to SI units that are provided for information only and are not considered standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are given in Section 6.

### 2. Terminology

#### 2.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

2.1.1 *additional sample*—a sample unit inspected in addition to the random sample units to include nonrepresentative sample units in the determination of the pavement condition. This includes very poor or excellent samples that are not typical of the section and sample units, which contain an unusual distress such as a utility cut. If a sample unit containing an unusual distress is chosen at random it should be counted as an additional sample unit and another random sample unit should be chosen. If every sample unit is surveyed, then there are no additional sample units.

2.1.2 *asphalt concrete (AC) surface*—aggregate mixture with an asphalt cement binder. This term also refers to surfaces constructed of coal tars and natural tars for purposes of this practice.

2.1.3 *pavement branch*—a branch is an identifiable part of the pavement network that is a single entity and has a distinct function. For example, each roadway or parking area is a separate branch.

2.1.4 *pavement condition index (PCI)*—a numerical rating of the pavement condition that ranges from 0 to 100 with 0 being the worst possible condition and 100 being the best possible condition.

2.1.5 *pavement condition rating*—a verbal description of pavement condition as a function of the PCI value that varies from “failed” to “excellent” as shown in Fig. 1.

2.1.6 *pavement distress*—external indicators of pavement deterioration caused by loading, environmental factors, construction deficiencies, or a combination thereof. Typical distresses are cracks, rutting, and weathering of the pavement surface. Distress types and severity levels detailed in Appendix X1 for AC, and Appendix X2 for PCC pavements must be used to obtain an accurate PCI value.

2.1.7 *pavement sample unit*—a subdivision of a pavement section that has a standard size range: 20 contiguous slabs ( $\pm 8$  slabs if the total number of slabs in the section is not evenly divided by 20 or to accommodate specific field condition) for PCC pavement, and 2500 contiguous square feet,  $\pm 1000$  ft<sup>2</sup> ( $225 \pm 90$  m<sup>2</sup>), if the pavement is not evenly divided by 2500 or to accommodate specific field condition, for AC pavement.

2.1.8 *pavement section*—a contiguous pavement area having uniform construction, maintenance, usage history, and condition. A section should have the same traffic volume and load intensity.

2.1.9 *portland cement concrete (PCC) pavement*—aggregate mixture with portland cement binder including nonreinforced and reinforced jointed pavement.

2.1.10 *random sample*—a sample unit of the pavement section selected for inspection by random sampling techniques, such as a random number table or systematic random procedure.

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E17 on Vehicle - Pavement Systems and is the direct responsibility of Subcommittee E17.42 on Pavement Management and Data Needs.

Current edition approved June 1, 2011. Published July 2011. Originally approved in 1999. Last previous edition approved in 2009 as D6433–09. DOI: 10.1520/D6433-11.

<sup>2</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

Standard PCI™ Rating Scale		Suggested Colors
100	<b>Good</b>	Dark Green
85	<b>Satisfactory</b>	Light Green
70	<b>Fair</b>	Yellow
55	<b>Poor</b>	Light Red
40	<b>Very Poor</b>	Medium Red
25	<b>Serious</b>	Dark Red
10	<b>Failed</b>	Dark Grey
0		

FIG. 1 Pavement Condition Index (PCI), Rating Scale, and Suggested Colors

### 3. Summary of Practice

3.1 The pavement is divided into branches that are divided into sections. Each section is divided into sample units. The type and severity of pavement distress is assessed by visual inspection of the pavement sample units. The quantity of the distress is measured as described in Appendix X1 and Appendix X2. The distress data are used to calculate the PCI for each sample unit. The PCI of the pavement section is determined based on the PCI of the inspected sample units within the section.

### 4. Significance and Use

4.1 The PCI is a numerical indicator that rates the surface condition of the pavement. The PCI provides a measure of the present condition of the pavement based on the distress observed on the surface of the pavement, which also indicates the structural integrity and surface operational condition (localized roughness and safety). The PCI cannot measure structural capacity nor does it provide direct measurement of skid resistance or roughness. It provides an objective and rational basis for determining maintenance and repair needs and priorities. Continuous monitoring of the PCI is used to establish the rate of pavement deterioration, which permits early identification of major rehabilitation needs. The PCI provides feedback on pavement performance for validation or improvement of current pavement design and maintenance procedures.

### 5. Apparatus

5.1 *Data Sheets*, or other field recording instruments that record at a minimum the following information: date, location, branch, section, sample unit size, slab number and size, distress types, severity levels, quantities, and names of surveyors. Example data sheets for AC and PCC pavements are shown in Figs. 2 and 3.

5.2 *Hand Odometer Wheel*, that reads to the nearest 0.1 ft (30 mm).

5.3 *Straightedge or String Line*, (AC only), 10 ft (3 m).

5.4 *Scale*, 12 in. (300 mm) that reads to 1/16 in. (3 mm) or better. Additional 12-in. (300 mm) ruler or straightedge is needed to measure faulting in PCC pavements.

5.5 *Layout Plan*, for network to be inspected.

### 6. Hazards

6.1 Traffic is a hazard as inspectors may walk on the pavement to perform the condition survey.

### 7. Sampling and Sample Units

7.1 Identify branches of the pavement with different uses such as roadways and parking on the network layout plan.

7.2 Divide each branch into sections based on the pavements design, construction history, traffic, and condition.

7.3 Divide the pavement sections into sample units. If the pavement slabs in PCC have joint spacing greater than 25 ft (8 m) subdivide each slab into imaginary slabs. The imaginary slabs all should be less than or equal to 25 ft (8 m) in length, and the imaginary joints dividing the slabs are assumed to be in perfect condition. This is needed because the deduct values developed for jointed concrete slabs are less than or equal to 25 ft (8 m).

7.4 Individual sample units to be inspected should be marked or identified in a manner to allow inspectors and quality control personnel to easily locate them on the pavement surface. Paint marks along the edge and sketches with locations connected to physical pavement features are acceptable. It is necessary to be able to accurately relocate the sample units to allow verification of current distress data, to examine changes in condition with time of a particular sample unit, and to enable future inspections of the same sample unit if desired.

7.5 Select the sample units to be inspected. The number of sample units to be inspected may vary from the following: all of the sample units in the section, a number of sample units that provides a 95 % confidence level, or a lesser number.

7.5.1 All sample units in the section may be inspected to determine the average PCI of the section. This is usually precluded for routine management purposes by available manpower, funds, and time. Total sampling, however, is desirable for project analysis to help estimate maintenance and repair quantities.

7.5.2 The minimum number of sample units (*n*) that must be surveyed within a given section to obtain a statistically adequate estimate (95 % confidence) of the PCI of the section





7.5.2.2 Calculate the revised minimum number of sample units (Eq 1) to be surveyed using the calculated standard deviation (Eq 2). If the revised number of sample units to be surveyed is greater than the number of sample units already surveyed, select and survey additional random sample units. These sample units should be spaced evenly across the section. Repeat the process of checking the revised number of sample units and surveying additional random sample units until the total number of sample units surveyed equals or exceeds the minimum required sample units ( $n$ ) in Eq 1, using the actual total sample standard deviation.

7.5.3 Once the number of sample units to be inspected has been determined, compute the spacing interval of the units using systematic random sampling. Samples are spaced equally throughout the section with the first sample selected at random. The spacing interval ( $i$ ) of the units to be sampled is calculated by the following formula rounded to the next lowest whole number:

$$i = N/n \quad (3)$$

where:

$N$  = total number of sample units in the section, and  
 $n$  = number of sample units to be inspected.

The first sample unit to be inspected is selected at random from sample units 1 through  $i$ . The sample units within a section that are successive increments of the interval  $i$  after the first randomly selected unit also are inspected.

7.6 A lesser sampling rate than the above mentioned 95 % confidence level can be used based on the condition survey objective. As an example, one agency uses the following table for selecting the number of sample units to be inspected for other than project analysis:

Given	Survey
1 to 5 sample units	1 sample unit
6 to 10 sample units	2 sample units
11 to 15 sample units	3 sample units
16 to 40 sample units	4 sample units
over 40 sample units	10 %

7.7 Additional sample units only are to be inspected when nonrepresentative distresses are observed as defined in 2.1.1. These sample units are selected by the user.

## 8. Inspection Procedure

8.1 The definitions and guidelines for quantifying distresses for PCI determination are given in Appendix X1 for AC pavements. Using this test method, inspectors should identify distress types accurately 95 % of the time. Linear measurements should be considered accurate when they are within 10 % if remeasured, and area measurements should be considered accurate when they are within 20 % if remeasured. Distress severities that one determines based on ride quality are considered subjective.

8.2 *Asphalt Concrete (AC) Surfaced Pavement*—Individually inspect each sample unit chosen. Sketch the sample unit, including orientation. Record the branch and section number and the number and type of the sample unit (random or additional). Record the sample unit size measured with the hand odometer. Conduct the distress inspection by

walking over the sidewalk/shoulder of the sample unit being surveyed, measuring the quantity of each severity level of every distress type present, and recording the data. Each distress must correspond in type and severity to that described in Appendix X1. The method of measurement is included with each distress description. Repeat this procedure for each sample unit to be inspected. A copy of a Blank Flexible Pavement Condition Survey Data Sheet for Sample Unit is included in Fig. 2.

8.3 *PCC Pavements*—Individually inspect each sample unit chosen. Sketch the sample unit showing the location of the slabs. Record the sample unit size, branch and section number, and number and type of the sample unit (random or additional), the number of slabs in the sample unit and the slab size measured with the hand odometer. Perform the inspection by walking over the sidewalk/shoulder of the sample unit being surveyed and recording all distress existing in the slab along with their severity level. Each distress type and severity must correspond with that described in Appendix X2. Summarize the distress types, their severity levels and the number of slabs in the sample unit containing each type and severity level. Repeat this procedure for each sample unit to be inspected. A copy of a Blank Jointed Rigid Pavement Condition Survey Data Sheet for Sample Unit is included in Fig. 3.

## 9. Calculation of PCI for Asphalt Concrete (AC) Pavement

9.1 Add up the total quantity of each distress type at each severity level, and record them in the "Total Severities" section. For example, Fig. 4 shows five entries for the Distress Type 1, "Alligator Cracking": 5L, 4L, 4L, 8H, and 6H. The distress at each severity level is summed and entered in the "Total Severity" section as 13 ft<sup>2</sup> (1.2 m<sup>2</sup>) of low severity and 14 ft<sup>2</sup> (1.3 m<sup>2</sup>) of medium severity. The units for the quantities may be either in square feet (square meters), linear feet (meters), or number of occurrences, depending on the distress type.

9.2 Divide the total quantity of each distress type at each severity level from 9.1 by the total area of the sample unit and multiply by 100 to obtain the percent density of each distress type and severity.

9.3 Determine the deduct value (DV) for each distress type and severity level combination from the distress deduct value curves in Appendix X3.

9.4 Determine the maximum corrected deduct value (CDV). The procedure for determining maximum CDV from individual DVs is identical for both AC and PCC pavement types.

9.5 The following procedure must be used to determine the maximum CDV.

9.5.1 If none or only one individual deduct value is greater than two, the total value is used in place of the maximum CDV in determining the PCI; otherwise, maximum CDV must be determined using the procedure described in 9.5.2 – 9.5.5.

9.5.2 List the individual deduct values in descending order. For example, in Fig. 4 this will be 25.1, 23.4, 17.9, 11.2, 7.9, 7.5, 6.9, and 5.3.



9.5.3 Determine the allowable number of deducts,  $m$ , from Fig. 5, or using the following formula (see Eq 4):

$$m = 1 + (9/98)(100 - HDV) \leq 10 \quad (4)$$

where:

$m$  = allowable number of deducts including fractions (must be less than or equal to ten), and

HDV = highest individual deduct value.

(For the example in Fig. 4,  $m = 1 + (9/98)(100 - 25.1) = 7.9$ ).

9.5.4 The number of individual deduct values is reduced to the  $m$  largest deduct values, including the fractional part. For the example in Fig. 6, the values are 25.1, 23.4, 17.9, 11.2, 7.9, 7.5, 6.9, and 4.8 (the 4.8 is obtained by multiplying 5.3 by  $(7.9 - 7 = 0.9)$ ). If less than  $m$  deduct values are available, all of the deduct values are used.

9.5.5 Determine maximum CDV iteratively, as shown in Fig. 6.

9.5.5.1 Determine total deduct value by summing individual deduct values. The total deduct value is obtained by adding the individual deduct values in 9.5.4, that is, 104.7.

9.5.5.2 Determine  $q$  as the number of deducts with a value greater than 2.0. For example, in Fig. 6,  $q = 8$ .

9.5.5.3 Determine the CDV from total deduct value and  $q$  by looking up the appropriate correction curve for AC pavements in Fig. X4.15 in Appendix X3.

9.5.5.4 Reduce the smallest individual deduct value greater than 2.0 to 2.0 and repeat 9.5.5.1 – 9.5.5.3 until  $q = 1$ .

9.5.5.5 Maximum CDV is the largest of the CDVs.

### 9.6 Calculating the PCI

9.6.1 Calculate the PCI by subtracting the maximum CDV from 100:  $PCI = 100 - \text{max CDV}$ .

9.6.2 PCI correction if there is a distress with multiple severities.

#### 9.6.2.1 Two Severity Case:

When there are two severities of one distress in the same sample unit, the calculations need to be computed as seen below.

$x_1$  = distress percent of lower severity

$x_2$  = distress percent of higher severity

$$X_2 = x_1 + x_2$$

The value of PCI ( $x_1, x_2$ ) should be higher when compared with PCI ( $0, X_2$ ) since PCI ( $0, X_2$ ) has more distress percentage of higher severity. So if this not the case, the PCI of the sample unit will be computed based on  $X_2$  and not  $x_1$  and  $x_2$ .

#### 9.6.2.2 Three Severity Case:

When there are three severities of one distress in the same sample unit, the calculations need to be computed as seen below.

$l$  or  $L$  = percent density of low severity distress percent

## Adjustment of Number of Deduct Values

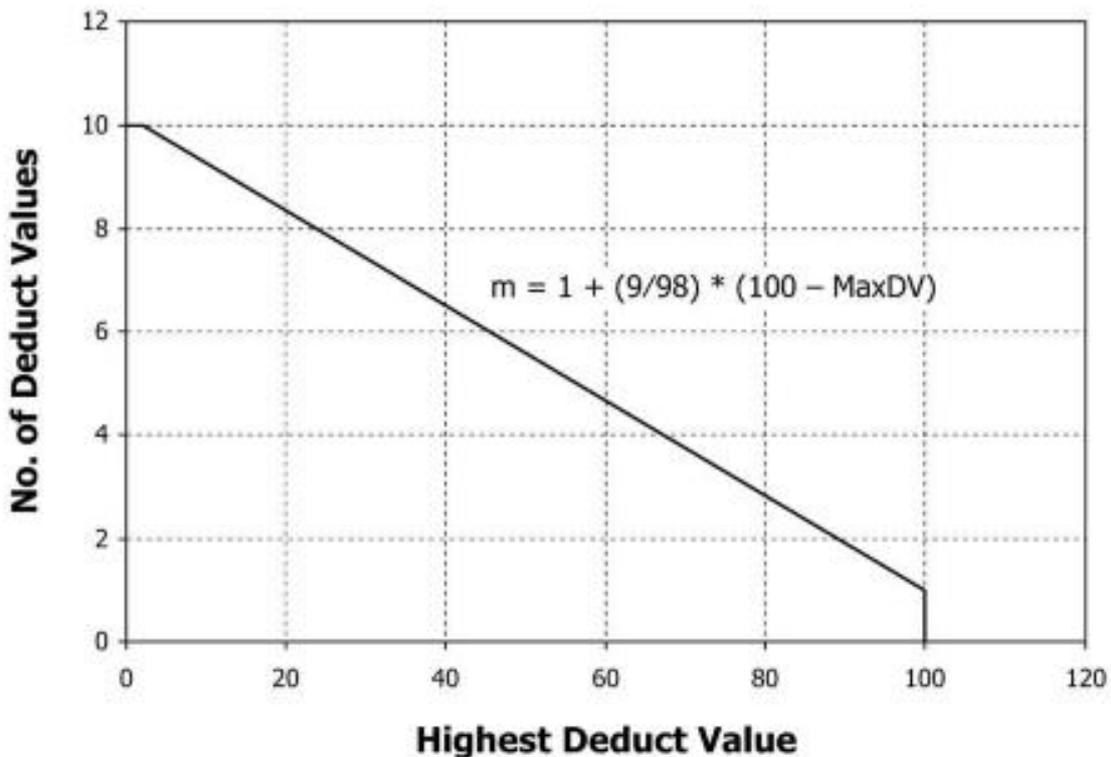


FIG. 5 Adjustment of Number of Deduct Values

$$m = 1 + (9/98) (100 - 25.1) = 7.9 < 8$$

Use highest 7 deducts and 0.9 of eighth deduct.

$$0.9 \times 5.3 = 4.8$$

#	Deduct Values									Total	q	CDV
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	7.5	6.9	4.8		104.7	8	51.0
2	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	7.5	6.9	2		101.9	7	50.0
3	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	7.5	2	2		96.0	6	46.0
4	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	2	2	2		90.5	5	47.0
5	25.1	23.4	17.9	11.2	2	2	2	2		84.6	4	48.0
6	25.1	23.4	17.9	2	2	2	2	2		75.4	3	48.0
7	25.1	23.4	2	2	2	2	2	2		59.5	2	44.0
8	25.1	2	2	2	2	2	2	2		38.1	1	38.0
9												
10												

$$\begin{aligned} \text{Max CDV} &= \underline{51} \\ \text{PCI} = 100 - \text{Max CDV} &= \underline{49} \\ \text{Rating} &= \underline{\text{FAIR}} \end{aligned}$$

Note 1—Fig. 4 contains both low and high severity alligator cracking. Using the algorithm in 9.6.2 it was verified that no correction is needed  
**FIG. 6 Calculation of Corrected PCI Value—Flexible Pavement**

*m* or *M* = percent density of medium severity distress percent

*h* or *H* = percent density of high severity distress percent

PCI (*l*, *m*, *h*) = PCI of the section with distress quantities of *l*, *m*, *h*

	Distresses	PCI Value
Start with:	<i>l</i> , <i>m</i> , <i>h</i>	→ PCI ( <i>l</i> , <i>m</i> , <i>h</i> )
Set ( <i>l</i> + <i>m</i> ) = <i>M</i>	→ 0, <i>M</i> , <i>h</i>	→ PCI (0, <i>M</i> , <i>h</i> )
Set ( <i>m</i> + <i>h</i> ) = <i>H</i>	→ <i>l</i> , 0, <i>H</i>	→ PCI ( <i>l</i> , 0, <i>H</i> )
Set ( <i>l</i> + <i>h</i> ) = <i>H</i>	→ 0, <i>m</i> , <i>H</i>	→ PCI (0, <i>m</i> , <i>H</i> )
Set ( <i>l</i> + <i>m</i> + <i>h</i> ) = <i>H</i>	→ 0, 0, <i>H</i>	→ PCI (0, 0, <i>H</i> )

The value of PCI (*l*, *m*, *h*) should be higher when compared with PCI (0, *M*, *h*), PCI (*l*, 0, *H*), PCI (*m*, *H*), or PCI (*H*). So the correct or new PCI of the sample unit should be based on the combination that provides the highest PCI.

9.7 Fig. 6 shows a summary of PCI calculation for the example AC pavement data in Fig. 4. A blank PCI calculation form is included in Fig. 2.

### 10. Calculation of PCI for Portland Cement Concrete (PCC) Pavement

10.1 For each unique combination of distress type and severity level, add up the total number of slabs in which they occur. For the example in Fig. 7, there are two slabs containing low-severity corner break (Distress 22L).

10.2 Divide the number of slabs from 10.1 by the total number of slabs in the sample unit and multiply by 100 to obtain the percent density of each distress type and severity combination.



$m = 1 + (9/98) (100 - 30.5) = 7.4 < 8$   
 Use highest 7 deducts and 0.4 of eighth deduct.  
 $0.4 \times 4.4 = 1.76$

#	Deduct Values								Total	q	CDV
1	30.5	25.1	12.6	9.0	8.0	7.7	5.8	1.76	100.5	7	50.0
2	30.5	25.1	12.6	9.0	8.0	7.7	2	1.76	96.7	6	49.5
3	30.5	25.1	12.6	9.0	8.0	2	2	1.76	91.0	5	51.0
4	30.5	25.1	12.6	9.0	2	2	2	1.76	85.0	4	49.0
5	30.5	25.1	12.6	2	2	2	2	1.76	78.0	3	50.0
6	30.5	25.1	2	2	2	2	2	1.76	67.4	2	50.0
7	30.5	2	2	2	2	2	2	1.76	44.3	1	44.3
8											
9											
10											

Max CDV = 51  
 PCI = 100 - Max CDV = 49  
 Rating = FAIR

Note 1—Fig. 6 contains both low and medium severity corner breaks. Using the algorithm in 9.6.2 it was verified that no correction is needed.  
 FIG. 8 Calculation of Corrected PCI Value—Jointed Rigid Pavement

If additional sample units, as defined in 2.1.1, are surveyed, the area weighted PCI of the surveyed additional units ( $\overline{PCI}_a$ ) is calculated using equation 6. The PCI of the pavement section is calculated using equation 7.

$$\overline{PCI}_a = \frac{\sum_{i=1}^m (PCI_{ai} \cdot A_{ai})}{\sum_{i=1}^m A_{ai}} \quad (6)$$

$$PCI_s = \frac{\overline{PCI}_a \left( A - \sum_{i=1}^m A_{ai} \right) + \overline{PCI}_s \left( \sum_{i=1}^m A_{ai} \right)}{A} \quad (7)$$

$\overline{PCI}_a$  = area weighted PCI of additional sample units,

$PCI_{ai}$  = PCI of additional sample unit  $i$ ,  
 $A_{ai}$  = area of additional sample unit  $i$ ,  
 $A$  = area of section,  
 $m$  = number of additional sample units surveyed, and  
 $\overline{PCI}_s$  = area weighted PCI of the pavement section.

11.2 Determine the overall condition rating of the section by using the section PCI and the condition rating scale in Fig. 1.

## 12. Report

12.1 Develop a summary report for each section. The summary lists section location, size, total number of sample units, the sample units inspected, the PCIs obtained, the average PCI for the section, and the section condition rating.

**APPENDIXES**

(Nonmandatory Information)

**XI. Distress in Asphalt Pavements**

XI.1 During the field condition surveys and validation of the PCI, several questions are commonly asked about the identification and measurement of some of the distresses. The answers to these questions for each distress are included under the heading "How to Measure." For convenience, however, the most frequently raised issues are addressed below:

XI.1.1 If alligator cracking and rutting occur in the same area, each is recorded separately at its respective severity level.

XI.1.2 If bleeding is counted, polished aggregate is not counted in the same area.

XI.1.3 Spalling as used herein is the further breaking of pavement or loss of materials around cracks or joints.

XI.1.4 If a crack does not have the same severity level along its entire length, each portion of the crack having a different severity level should be recorded separately. If, however, the different levels of severity in a portion of a crack cannot be easily divided, that portion should be rated at the highest severity level present.

XI.1.5 If any distress, including cracking and potholes, is found in a patched area, it is not recorded; its effect on the patch, however, is considered in determining the severity level of the patch.

XI.1.6 A significant amount of polished aggregate should be present before it is counted.

XI.1.7 A distress is said to be raveled if the area surrounding the distress is broken (sometimes to the extent that pieces are removed).

XI.2 The reader should note that the items above are general issues and do not stand alone as inspection criteria. To properly measure each distress type, the inspector must be familiar with its individual measurement criteria.

XI.3 Nineteen distress types for asphalt-surfaced pavements are listed alphabetically in this manual.

**RIDE QUALITY**

XI.4 Ride quality must be evaluated in order to establish a severity level for the following distress types:

XI.4.1 Bumps.

XI.4.2 Corrugation.

XI.4.3 Railroad crossings.

XI.4.4 Shoving.

XI.4.5 Swells.

XI.4.6 To determine the effect these distresses have on ride quality, the inspector should drive at the normal operating speed and use the following severity-level definitions of ride quality:

XI.4.6.1 **L**—Low. Vehicle vibrations, for example, from corrugation, are noticeable, but no reduction in speed is necessary for comfort or safety. Individual bumps or settlements, or both, cause the vehicle to bounce slightly, but create little discomfort.

XI.4.6.2 **M**—Medium. Vehicle vibrations are significant and some reduction in speed is necessary for safety and comfort. Individual bumps or settlements, or both, cause the vehicle to bounce significantly, creating some discomfort.

XI.4.6.3 **H**—High. Vehicle vibrations are so excessive that speed must be reduced considerably for safety and comfort. Individual bumps or settlements, or both, cause the vehicle to bounce excessively, creating substantial discomfort, safety hazard, or high potential vehicle damage.

XI.4.7 The inspector should drive at the posted speed in a sedan that is representative of cars typically seen in local traffic. Pavement sections near stop signs should be rated at a deceleration speed appropriate for the intersection.

**ALLIGATOR CRACKING (FATIGUE)**

XI.5 *Description*—Alligator or fatigue cracking is a series of interconnecting cracks caused by fatigue failure of the asphalt concrete surface under repeated traffic loading. Cracking begins at the bottom of the asphalt surface, or stabilized base, where tensile stress and strain are highest under a wheel load. The cracks propagate to the surface initially as a series of parallel longitudinal cracks. After repeated traffic loading, the cracks connect, forming many sided, sharp-angled pieces that develop a pattern resembling chicken wire or the skin of an alligator. The pieces are generally less than 0.5 m (1.5 ft) on the longest side. Alligator cracking occurs only in areas subjected to repeated traffic loading, such as wheel paths. Pattern-type cracking that occurs over an entire area not subjected to loading is called "block cracking," which is not a load-associated distress.

XI.5.1 *Severity Levels:*

XI.5.1.1 **L**—Fine, longitudinal hairline cracks running parallel to each other with no, or only a few interconnecting cracks. The cracks are not spalled (Fig. X1.1).

XI.5.1.2 **M**—Further development of light alligator cracks into a pattern or network of cracks that may be lightly spalled (Fig. X1.2).

XI.5.1.3 **H**—Network or pattern cracking has progressed so that the pieces are well defined and spalled at the edges. Some of the pieces may rock under traffic (Fig. X1.3).

XI.5.2 *How to Measure*—Alligator cracking is measured in square meters (square feet) of surface area. The major difficulty in measuring this type of distress is that two or three levels of severity often exist within one distressed area. If these portions can be easily distinguished from each other, they should be measured and recorded separately; however, if the different



FIG. X1.1 Low-Severity Alligator Cracking



FIG. X1.2 Medium-Severity Alligator Cracking



FIG. X1.3 High-Severity Alligator Cracking

levels of severity cannot be divided easily, the entire area should be rated at the highest severity present. If alligator cracking and rutting occur in the same area, each is recorded separately as its respective severity level.

## BLEEDING

**X1.6 Description**—Bleeding is a film of bituminous material on the pavement surface that creates a shiny, glasslike, reflecting surface that usually becomes quite sticky. Bleeding is caused by excessive amounts of asphaltic cement or tars in the mix, excess application of a bituminous sealant, or low air void content, or a combination thereof. It occurs when asphalt fills the voids of the mix during hot weather and then expands onto the pavement surface. Since the bleeding process is not reversible during cold weather, asphalt or tar will accumulate on the surface.

### X1.6.1 Severity Levels:

**X1.6.1.1 L**—Bleeding only has occurred to a very slight degree and is noticeable only during a few days of the year. Asphalt does not stick to shoes or vehicles (Fig. X1.4).

**X1.6.1.2 M**—Bleeding has occurred to the extent that asphalt sticks to shoes and vehicles during only a few weeks of the year (Fig. X1.5).

**X1.6.1.3 H**—Bleeding has occurred extensively and considerable asphalt sticks to shoes and vehicles during at least several weeks of the year (Fig. X1.6).

**X1.6.2 How to Measure**—Bleeding is measured in square meters (square feet) of surface area. If bleeding is counted, polished aggregate should not be counted.

## BLOCK CRACKING

**X1.7 Description**—Block cracks are interconnected cracks that divide the pavement into approximately rectangular pieces. The blocks may range in size from approximately 0.3 by 0.3 m (1 by 1 ft) to 3 by 3 m (10 by 10 ft). Block cracking is caused mainly by shrinkage of the asphalt concrete and daily temperature cycling, which results in daily stress/strain cycling. It is not load-associated. Block cracking usually indicates that the asphalt has hardened significantly. Block cracking normally occurs over a large portion of the pavement area, but sometimes will occur only in nontraffic areas. This type of distress differs from alligator cracking in that alligator cracks



FIG. X1.4 Low-Severity Bleeding



FIG. X1.5 Medium-Severity Bleeding

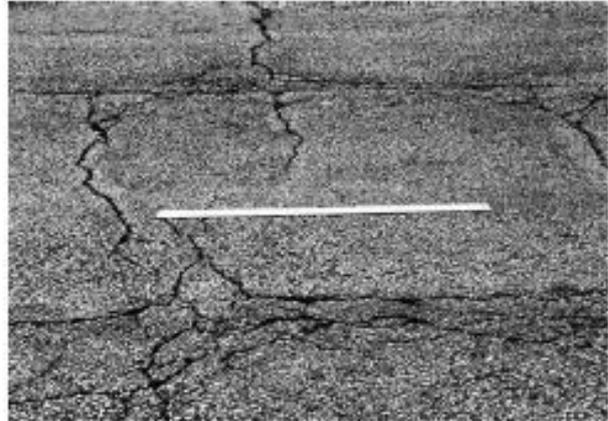


FIG. X1.7 Low-Severity Block Cracking



FIG. X1.6 High-Severity Bleeding



FIG. X1.8 Medium-Severity Block Cracking



FIG. X1.9 High-Severity Block Cracking

form smaller, many-sided pieces with sharp angles. Also, unlike block, alligator cracks are caused by repeated traffic loadings, and therefore, are found only in traffic areas, that is, wheel paths.

**X1.7.1 Severity Levels:**

X1.7.1.1 **L**—Blocks are defined by low-severity<sup>3</sup> cracks (Fig. X1.7).

X1.7.1.2 **M**—Blocks are defined by medium-severity<sup>3</sup> cracks (Fig. X1.8).

X1.7.1.3 **H**—Blocks are defined by high-severity<sup>3</sup> cracks (Fig. X1.9).

X1.7.2 **How to Measure**—Block cracking is measured in m<sup>2</sup> (ft<sup>2</sup>) of surface area. It usually occurs at one severity level in a given pavement section; however, if areas of different severity

levels can be distinguished easily from one another, they should be measured and recorded separately.

**BUMPS AND SAGS**

X1.8 **Description:**

<sup>3</sup> See definitions of longitudinal transverse cracking within Appendix X2.10.

X1.8.1 Bumps are small, localized, upward displacements of the pavement surface. They are different from shoves in that shoves are caused by unstable pavement. Bumps, on the other hand, can be caused by several factors, including:

X1.8.1.1 Buckling or bulging of underlying PCC slabs in AC overlay over PCC pavement.

X1.8.1.2 Frost heave (ice, lens growth).

X1.8.1.3 Infiltration and buildup of material in a crack in combination with traffic loading (sometimes called "tenting").

X1.8.1.4 Sags are small, abrupt, downward displacements of the pavement surface. If bumps appear in a pattern perpendicular to traffic flow and are spaced at less than 3 m (10 ft), the distress is called corrugation. Distortion and displacement that occur over large areas of the pavement surface, causing large or long dips, or both, in the pavement should be recorded as "swelling."

X1.8.2 *Severity Levels:*

X1.8.2.1 **L**—Bump or sag causes low-severity ride quality (Fig. X1.10).

X1.8.2.2 **M**—Bump or sag causes medium-severity ride quality (Fig. X1.11).

X1.8.2.3 **H**—Bump or sag causes high-severity ride quality (Fig. X1.12).

X1.8.3 *How to Measure*—Bumps or sags are measured in linear meters (feet). If the bump occurs in combination with a crack, the crack also is recorded.

**CORRUGATION**

X1.9 *Description*—Corrugation, also known as "washboarding", is a series of closely spaced ridges and valleys (ripples) occurring at fairly regular intervals, usually less than 3 m (10 ft) along the pavement. The ridges are perpendicular to the traffic direction. This type of distress usually is caused by traffic action combined with an unstable pavement surface or base.

X1.9.1 *Severity Levels:*

X1.9.1.1 **L**—Corrugation produces low-severity ride quality (Fig. X1.13).



FIG. X1.10 Low-Severity Bumps and Sags



FIG. X1.11 Medium-Severity Bumps and Sags



FIG. X1.12 High-Severity Bumps and Sags



FIG. X1.13 Low-Severity Corrugation

X1.9.1.2 **M**—Corrugation produces medium-severity ride quality (Fig. X1.14).

X1.9.1.3 **H**—Corrugation produces high-severity ride quality (Fig. X1.15).



FIG. X1.14 Medium-Severity Corrugation



FIG. X1.16 Low-Severity Depression

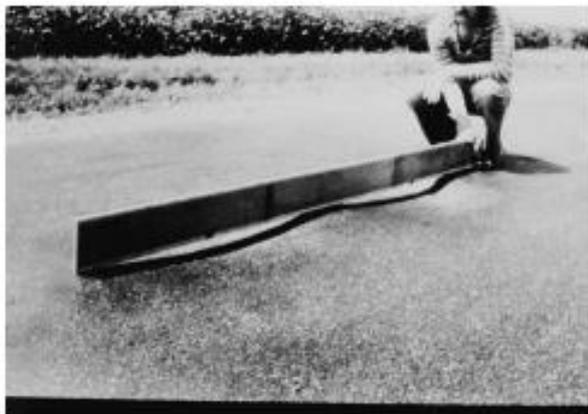


FIG. X1.15 High-Severity Corrugation



FIG. X1.17 Medium-Severity Depression

X1.9.2 *How to Measure*—Corrugation is measured in square meters (square feet) of surface area.

#### DEPRESSION

X1.10 *Description*—Depressions are localized pavement surface areas with elevations slightly lower than those of the surrounding pavement. In many instances, light depressions are not noticeable until after a rain, when ponding water creates a “birdbath” area; on dry pavement, depressions can be spotted by looking for stains caused by ponding water. Depressions are created by settlement of the foundation soil or are a result of improper construction. Depressions cause some roughness, and when deep enough or filled with water, can cause hydroplaning.

X1.10.1 *Severity Levels (Maximum Depth of Depression):*

X1.10.1.1 **L**—13 to 25 mm (½ to 1 in.) (Fig. X1.16).

X1.10.1.2 **M**—25 to 50 mm (1 to 2 in.) (Fig. X1.17).

X1.10.1.3 **H**—More than 50 mm (2 in.) (Fig. X1.18).

X1.10.2 *How to Measure*—Depressions are measured in square meters (square feet) of surface area.



FIG. X1.18 High-Severity Depression

#### EDGE CRACKING

X1.11 *Description*—Edge cracks are parallel to and usually within 0.3 to 0.5 m (1 to 1.5 ft) of the outer edge of the pavement. This distress is accelerated by traffic loading and can be caused by frost-weakened base or subgrade near the edge of the pavement. The area between the crack and pavement edge

is classified as raveled if it is broken up (sometimes to the extent that pieces are removed).

**X1.11.1 Severity Levels:**

X1.11.1.1 **L**—Low or medium cracking with no breakup or raveling (Fig. X1.19).

X1.11.1.2 **M**—Medium cracks with some breakup and raveling (Fig. X1.20).

X1.11.1.3 **H**—Considerable breakup or raveling along the edge (Fig. X1.21).

X1.11.2 *How to Measure*—Edge cracking is measure in linear meters (feet).

**JOINT REFLECTION CRACKING  
(From Longitudinal and Transverse PCC Slabs)**

X1.12 *Description*—This distress occurs only on asphalt-surfaced pavements that have been laid over a PCC slab. It does not include reflection cracks from any other type of base, that is, cement- or lime-stabilized; these cracks are caused mainly by thermal- or moisture-induced movement of the PCC slab beneath the AC surface. This distress is not load-related; however, traffic loading may cause a breakdown of the AC surface near the crack. If the pavement is fragmented along a crack, the crack is said to be spalled. A knowledge of slab dimension beneath the AC surface will help to identify these distresses.

**X1.12.1 Severity Levels:**

X1.12.1.1 **L**—One of the following conditions exists (Fig. X1.22): Nonfilled crack width is less than 10 mm (3/8 in.), or filled crack of any width (filler in satisfactory condition).

X1.12.1.2 **M**—One of the following conditions exists (Fig. X1.23): Nonfilled crack width is greater than or equal to 10 mm (3/8 in.) and less than 75 mm (3 in.); nonfilled crack less than or equal to 75 mm (3 in.) surrounded by light secondary cracking; or, filled crack of any width surrounded by light secondary cracking.

X1.12.1.3 **H**—One of the following conditions exists (Fig. X1.24): Any crack filled or nonfilled surrounded by medium- or high-severity secondary cracking; nonfilled cracks greater than 75 mm (3 in.); or, a crack of any width where approxi-



FIG. X1.19 Low-Severity Edge Cracking



FIG. X1.20 Medium-Severity Edge Cracking



FIG. X1.21 High-Severity Edge Cracking



FIG. X1.22 Low-Severity Joint Reflection Cracking

mately 100 mm (4 in.) of pavement around the crack are severely raveled or broken.

X1.12.2 *How to Measure*—Joint reflection cracking is measured in linear meters (feet). The length and severity level of each crack should be identified and recorded separately. For example, a crack that is 15 m (50 ft) long may have 3 m (10 ft)



FIG. X1.23 Medium-Severity Joint Reflection Cracking

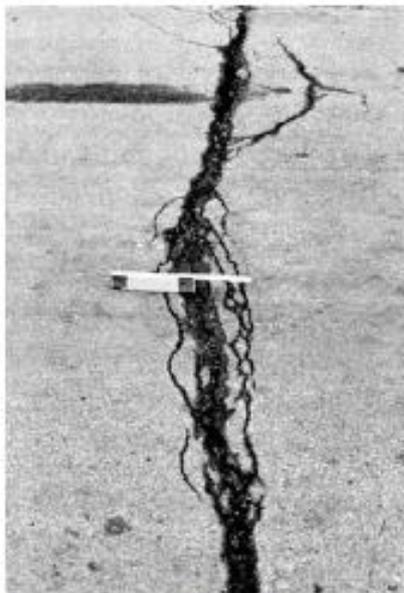


FIG. X1.24 High-Severity Joint Reflection Cracking

of high severity cracks, which are all recorded separately. If a bump occurs at the reflection crack, it is recorded also.

#### LANE/SHOULDER DROP-OFF

X1.13 *Description*—Lane/shoulder drop-off is a difference in elevation between the pavement edge and the shoulder. This distress is caused by shoulder erosion, shoulder settlement, or by building up the roadway without adjusting the shoulder level.

##### X1.13.1 *Severity Levels:*

X1.13.1.1 **L**—The difference in elevation between the pavement edge and shoulder is > 25 mm (1 in.) and < 50 mm (2 in.) (Fig. X1.25).

X1.13.1.2 **M**—The difference in elevation is > 50 mm (2 in.) and < 100 mm (4 in.) (Fig. X1.26).

X1.13.1.3 **H**—The difference in elevation is > 100 mm (4 in.) (Fig. X1.27).

X1.13.2 *How to Measure*—Lane/shoulder drop-off is measured in linear meters (feet).

#### LONGITUDINAL AND TRANSVERSE CRACKING (Non-PCC Slab Joint Reflective)

##### X1.14 *Description:*

X1.14.1 Longitudinal cracks are parallel to the pavement's centerline or laydown direction. They may be caused by:

X1.14.1.1 A poorly constructed paving lane joint.

X1.14.1.2 Shrinkage of the AC surface due to low temperatures or hardening of the asphalt, or daily temperature cycling, or both.

X1.14.1.3 A reflective crack caused by cracking beneath the surface course, including cracks in PCC slabs, but not PCC joints.

X1.14.1.4 Transverse cracks extend across the pavement at approximately right angles to the pavement centerline or direction of laydown. These types of cracks are not usually load-associated.

##### X1.14.2 *Severity Levels:*

X1.14.2.1 **L**—One of the following conditions exists (Fig. X1.28): nonfilled crack width is less than 10 mm ( $\frac{3}{8}$  in.), or filled crack of any width (filler in satisfactory condition).

X1.14.2.2 **M**—One of the following conditions exists (Fig. X1.29): nonfilled crack width is greater than or equal to 10 mm and less than 75 mm ( $\frac{3}{8}$  to 3 in.); nonfilled crack is less than or equal to 75 mm (3 in.) surrounded by light and random cracking; or, filled crack is of any width surrounded by light random cracking.

X1.14.2.3 **H**—One of the following conditions exists (Fig. X1.30): any crack filled or nonfilled surrounded by medium- or high-severity random cracking; nonfilled crack greater than 75



FIG. X1.25 Low-Severity Lane/Shoulder Drop-Off



FIG. X1.26 Medium-Severity Lane/Shoulder Drop-Off

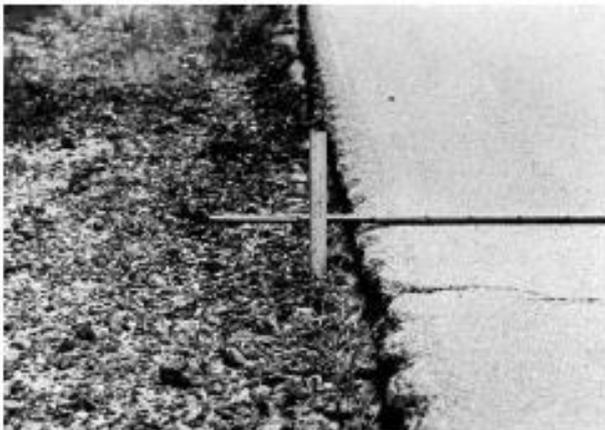


FIG. X1.27 High-Severity Lane/Shoulder Drop-Off



FIG. X1.28 Low-Severity Longitudinal and Transverse Cracking



FIG. X1.29 Medium-Severity Longitudinal and Transverse Cracking



FIG. X1.30 High-Severity Longitudinal and Transverse Cracking

have the same severity level along its entire length, each portion of the crack having a different severity level should be recorded separately.

#### PATCHING AND UTILITY CUT PATCHING

**X1.15 Description**—A patch is an area of pavement that has been replaced with new material to repair the existing pavement. A patch is considered a defect no matter how well it is performing (a patched area or adjacent area usually does not perform as well as an original pavement section). Generally, some roughness is associated with this distress.

##### X1.15.1 Severity Levels:

**X1.15.1.1 L**—Patch is in good condition and satisfactory. Ride quality is rated as low severity or better (Fig. X1.31).

**X1.15.1.2 M**—Patch is moderately deteriorated, or ride quality is rated as medium severity, or both (Fig. X1.32).

**X1.15.1.3 H**—Patch is badly deteriorated, or ride quality is rated as high severity, or both; needs replacement soon (Fig. X1.33).

**X1.15.2 How to Measure**—Patching is rated in ft<sup>2</sup> of surface area; however, if a single patch has areas of differing severity, these areas should be measured and recorded separately. For

m (3 in.); or, a crack of any width where approximately 100 mm (4 in.) of pavement around the crack is severely broken.

**X1.14.3 How to Measure**—Longitudinal and transverse cracks are measured in linear meters (feet). The length and severity of each crack should be recorded. If the crack does not



FIG. X1.31 Low-Severity Patching and Utility Cut Patching



FIG. X1.32 Medium-Severity Patching and Utility Cut Patching



FIG. X1.33 High-Severity Patching and Utility Cut Patching

example, a 2.5 m<sup>2</sup> (27.0 ft<sup>2</sup>) patch may have 1 m<sup>2</sup> (11 ft<sup>2</sup>) of medium severity and 1.5 m<sup>2</sup> (16 ft<sup>2</sup>) of low severity. These areas would be recorded separately. Any distress found in a patched area will not be recorded; however, its effect on the patch will be considered when determining the patch's severity level. No other distresses, for example, are recorded within a

patch. Even if the patch material is shoving or cracking, the area is rated only as a patch. If a large amount of pavement has been replaced, it should not be recorded as a patch but considered as new pavement, for example, replacement of a complete intersection.

### POLISHED AGGREGATE

**X1.16 Description**—This distress is caused by repeated traffic applications. Polished aggregate is present when close examination of a pavement reveals that the portion of aggregate extending above the asphalt is either very small, or there are no rough or angular aggregate particles to provide good skid resistance. When the aggregate in the surface becomes smooth to the touch, adhesion with vehicle tires is considerably reduced. When the portion of aggregate extending above the surface is small, the pavement texture does not significantly contribute to reducing vehicle speed. Polished aggregate should be counted when close examination reveals that the aggregate extending above the asphalt is negligible, and the surface aggregate is smooth to the touch. This type of distress is indicated when the number on a skid resistance test is low or has dropped significantly from a previous rating.

**X1.16.1 Severity Levels**—No degrees of severity are defined; however, the degree of polishing should be clearly evident in the sample unit in that the aggregate surface should be smooth to the touch (Fig. X1.34).

**X1.16.2 How to Measure**—Polished aggregate is measured in square meters (square feet) of surface area. If bleeding is counted, polished aggregate should not be counted.

### POTHOLES

**X1.17 Description**—Potholes are small—usually less than 750 mm (30 in.) in diameter—bowl-shaped depressions in the pavement surface. They generally have sharp edges and vertical sides near the top of the hole. When holes are created by high-severity alligator cracking, they should be identified as potholes, not as weathering.

**X1.17.1 Severity Levels:**

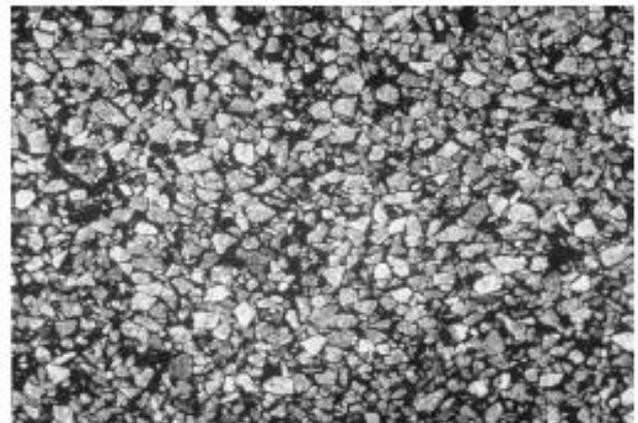


FIG. X1.34 Polished Aggregate

X1.17.1.1 The levels of severity for potholes less than 750 mm (30 in.) in diameter are based on both the diameter and the depth of the pothole, according to Table X1.1.

X1.17.1.2 If the pothole is more than 750 mm (30 in.) in diameter, the area should be determined in square feet and divided by 0.5 m<sup>2</sup> (5.5 ft<sup>2</sup>) find the equivalent number of holes. If the depth is 25 mm (1 in.) or less, the holes are considered medium-severity. If the depth is more than 25 mm (1 in.), they are considered high-severity (Figs. X1.35-X1.37).

X1.17.2 *How to Measure*—Potholes are measured by counting the number that are low-, medium-, and high-severity and recording them separately.

**RAILROAD CROSSING**

X1.18 *Description*—Railroad crossing defects are depressions or bumps around, or between tracks, or both.

X1.18.1 *Severity Levels:*

X1.18.1.1 **L**—Railroad crossing causes low-severity ride quality (Fig. X1.38).

X1.18.1.2 **M**—Railroad crossing causes medium-severity ride quality (Fig. X1.39).

X1.18.1.3 **H**—Railroad crossing causes high-severity ride quality (Fig. X1.40).

X1.18.2 *How to Measure*—The area of the crossing is measured in square meters (square feet) of surface area. If the crossing does not affect ride quality, it should not be counted. Any large bump created by the tracks should be counted as part of the crossing.

**RUTTING**

X1.19 *Description*—A rut is a surface depression in the wheel paths. Pavement uplift may occur along the sides of the rut, but, in many instances, ruts are noticeable only after a rainfall when the paths are filled with water. Rutting stems from a permanent deformation in any of the pavement layers or subgrades, usually caused by consolidated or lateral movement of the materials due to traffic load.

X1.19.1 *Severity Levels (Mean Rut Depth):*

X1.19.1.1 **L**—6 to 13 mm (¼ to ½ in.) (Fig. X1.41).

X1.19.1.2 **M**—>13 to 25 mm (>½ to 1 in.) (Fig. X1.42).

X1.19.1.3 **H**—>25 mm (>1 in.) (Fig. X1.43).

X1.19.2 *How to Measure*—Rutting is measured in square meters (square feet) of surface area, and its severity is determined by the mean depth of the rut (see X1.19.1.1 – X1.19.1.3). The mean rut depth is calculated by laying a



FIG. X1.35 Low-Severity Pothole



FIG. X1.36 Medium-Severity Pothole



FIG. X1.37 High-Severity Pothole

TABLE X1.1 Levels of Severity for Potholes

Maximum Depth of Pothole	Average Diameter (mm) (in.)		
	100 to 200 mm (4 to 8 in.)	200 to 450 mm (8 to 18 in.)	450 to 750 mm (18 to 30 in.)
13 to <=25 mm (½ to 1 in.)	L	L	M
>25 and <=50 mm (1 to 2 in.)	L	M	H
>50 mm (2 in.)	M	M	H

straight edge across the rut, measuring its depth, then using measurements taken along the length of the rut to compute its mean depth in millimeters.

**SHOVING**

X1.20 *Description:*



FIG. X1.38 Low-Severity Railroad Crossing

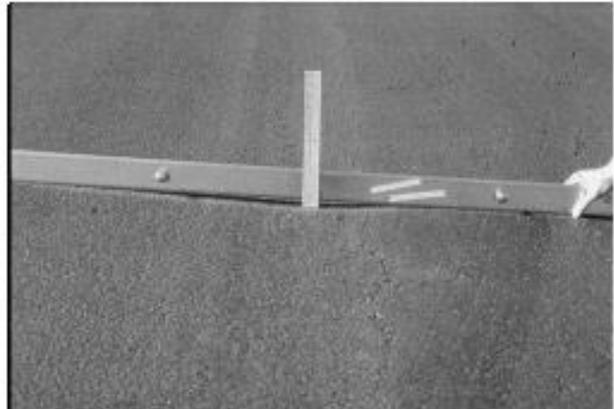


FIG. X1.41 Low-Severity Rutting



FIG. X1.39 Medium-Severity Railroad Crossing



FIG. X1.42 Medium-Severity Rutting



FIG. X1.40 High-Severity Railroad Crossing



FIG. X1.43 High-Severity Rutting

X1.20.1 Shoving is a permanent, longitudinal displacement of a localized area of the pavement surface caused by traffic loading. When traffic pushes against the pavement, it produces a short, abrupt wave in the pavement surface. This distress normally occurs only in unstable liquid asphalt mix (cutback or emulsion) pavements.

X1.20.2 Shoves also occur where asphalt pavements abut PCC pavements. The PCC pavements increase in length and push the asphalt pavement, causing the shoving.

X1.20.3 *Severity Levels:*

X1.20.3.1 **L**—Shove causes low-severity ride quality (Fig. X1.44).

X1.20.3.2 **M**—Shove causes medium-severity ride quality (Fig. X1.45).

X1.20.3.3 **H**—Shove causes high-severity ride quality (Fig. X1.46).

X1.20.4 *How to Measure*—Shoves are measured in square meters (feet) of surface area. Shoves occurring in patches are considered in rating the patch, not as a separate distress.

**SLIPPAGE CRACKING**

X1.21 *Description*—Slippage cracks are crescent or half-moon shaped cracks, usually transverse to the direction of travel. They are produced when braking or turning wheels cause the pavement surface to slide or deform. This distress usually occurs in overlaps when there is a poor bond between the surface and the next layer of the pavement structure.

X1.21.1 *Severity Level:*

X1.21.1.1 **L**—Average crack width is < 10 mm (3/8 in.) (Fig. X1.47).

X1.21.1.2 **M**—One of the following conditions exists (Fig. X1.48): average crack width is ≥ 10 and < 40 mm (3/8 and < 1-1/2 in.); or the area around the crack is moderately spalled, or surrounded with secondary cracks.

X1.21.1.3 **H**—One of the following conditions exists (Fig. X1.49): the average crack width is > 40 mm (1-1/2 in.) or the area around the crack is broken into easily removed pieces.

X1.21.2 *How to Measure*—The area associated with a given slippage crack is measured in square meters (square feet) and rated according to the highest level of severity in the area.

**SWELL**

X1.22 *Description*—Swell is characterized by an upward bulge in the pavement's surface, a long, gradual wave more than 3 m (10 ft) long (Fig. X1.50). Swelling can be accompanied by surface cracking. This distress usually is caused by frost action in the subgrade or by swelling soil.

X1.22.1 *Severity Level:*



FIG. X1.44 Low-Severity Shoving



FIG. X1.45 Medium-Severity Shoving



FIG. X1.46 High-Severity Shoving



FIG. X1.47 Low-Severity Slippage Cracking

X1.22.1.1 **L**—Swell causes low-severity ride quality. Low-severity swells are not always easy to see but can be detected by driving at the speed limit over the pavement section. An upward motion will occur at the swell if it is present.

X1.22.1.2 **M**—Swell causes medium-severity ride quality.

X1.22.1.3 **H**—Swell causes high-severity ride quality.



FIG. X1.48 Medium-Severity Slippage Cracking

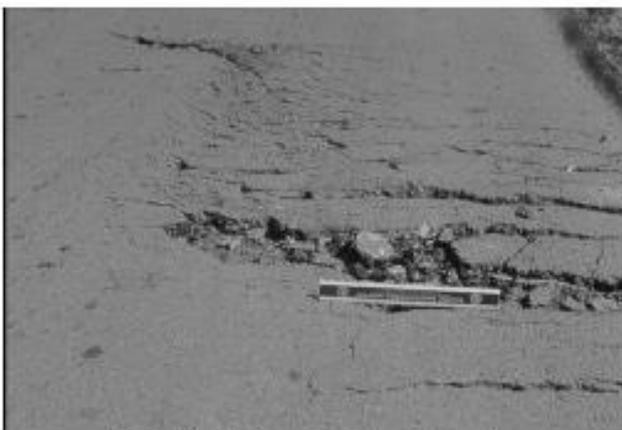


FIG. X1.49 High-Severity Slippage Cracking



FIG. X1.50 Example Swell. Severity level is based on ride quality criteria.

X1.22.2 *How to Measure*—The surface area of the swell is measured in square meters (square feet).

## RAVELING

X1.23 *Description*—Raveling is the dislodging of coarse aggregate particles. Raveling may be caused by insufficient asphalt binder, poor mixture quality, insufficient compaction, segregation, or stripping.

X1.23.1 *Dense Mix Severity Levels*—As used herein, coarse aggregate refers to predominant coarse aggregate size of the asphalt mix, and aggregate clusters refers to when more than one adjoining coarse aggregate piece is missing. If in doubt about a severity level, three representative areas of one square yard each (square meters) should be examined and the number of missing aggregate particles/clusters is counted.

X1.23.1.1 **M**—Considerable loss of coarse aggregate, greater than 20 per square yard (square meter), or clusters of missing coarse aggregate are present (or both) (see Fig. X1.51).

X1.23.1.2 **H**—Surface is very rough and pitted, may be completely removed in places (see Fig. X1.52).

X1.23.2 *How to Measure*—Raveling is measured in square feet (square meters) of surface area. Mechanical damage caused by such things as hook drags, tire rims, or snowplows is counted as raveling. If raveling is present weathering (surface wear) is not recorded.

## WEATHERING (SURFACE WEAR)—DENSE MIX ASPHALT

X1.24 *Description*—The wearing away of the asphalt binder and fine aggregate matrix.

X1.24.1 *Severity Levels*: As used herein, coarse aggregate refers to predominant coarse aggregate size of the asphalt mix. Loss or dislodging of coarse aggregate is covered under Raveling. Surface wear is normally caused by oxidation, inadequate compaction, insufficient asphalt content, excessive natural sand, surface water erosion, and traffic. Weathering occurs faster in areas with high solar radiation.



FIG. X1.51 Medium-Severity Raveling



FIG. X1.52 High-Severity Raveling

X1.24.1.1 **L**—Asphalt surface beginning to show signs of aging which may be accelerated by climatic conditions. Loss of the fine aggregate matrix is noticeable and may be accompanied by fading of the asphalt color. Edges of the coarse aggregates are beginning to be exposed (less than 1 mm or 0.05 inches). Pavement may be relatively new (as new as 6 months old) (see Fig. X1.53).

X1.24.1.2 **M**—Loss of fine aggregate matrix is noticeable and edges of coarse aggregate have been exposed up to ¼ width (of the longest side) of the coarse aggregate due to the loss of fine aggregate matrix (see Fig. X1.54).



FIG. X1.53 Low-Severity Weathering (Surface Wear)



FIG. X1.54 Medium-Severity Weathering (Surface Wear)

X1.24.1.3 **H**—Edges of coarse aggregate have been exposed greater than ¼ width (of the longest side) of the coarse aggregate. There is considerable loss of fine aggregate matrix leading to potential or some loss of coarse aggregate (see Fig. X1.55).

X1.24.2 *How to Measure*—Surface wear is measured in square feet (square metre). Surface wear is not recorded where medium or high severity (or both) raveling is recorded.



FIG. X1.55 High-Severity Weathering (Surface Wear)

## X2. DISTRESS IN JOINTED CONCRETE PAVEMENTS

X2.1 This Appendix lists alphabetically 19 distress types for jointed concrete pavements. Distress definitions apply to both plain and reinforced jointed concrete pavements, with the exception of linear cracking distress, which is defined separately for plain and reinforced jointed concrete.

X2.1.1 During the field condition surveys and validation of the PCI, several questions often are asked about the identification and counted method of some of the distresses. Answers to these questions are included under the heading "How to Count." For convenience, however, the most frequently raised issues are addressed below.

X2.1.1.1 Faulting is counted only at joints. Faulting associated with cracks is not counted separately since it is incorporated into the severity-level definitions of cracks. Crack definitions are also used in defining corner breaks and divided slabs.

X2.1.1.2 Joint seal damage is not counted on a slab-by-slab basis. Instead, a severity level is assigned based on the overall condition of the joint seal in the area.

X2.1.1.3 Cracks in reinforced concrete slabs that are less than 1/8 in. wide are counted as shrinkage cracks. Shrinkage cracks should not be counted to determine if the slab is broken into four or more pieces.

X2.1.1.4 Low-severity scaling, that is, crazing, should only be counted if there is evidence that future scaling is likely to occur.

X2.1.2 The user should note that the items above are general issues and do not stand alone as inspection criteria. To measure each distress type properly, the inspector must be familiar with the individual distress criteria.

### X2.2 Ride Quality:

X2.2.1 Ride quality must be evaluated in order to establish a severity level for the following distress types:

X2.2.1.1 Blowup/buckling.

X2.2.1.2 Railroad crossings.

X2.2.2 To determine the effect these distresses have on ride quality, the inspector should drive at the normal operating speed and use the following severity-level definitions of ride quality:

X2.2.2.1 **L**—Low. Vehicle vibrations, for example, from corrugation, are noticeable, but no reduction in speed is necessary for comfort or safety, or individual bumps or settlements, or both, cause the vehicle to bounce slightly but create little discomfort.

X2.2.2.2 **M**—Medium. Vehicle vibrations are significant and some reduction in speed is necessary for safety and comfort, or individual bumps or settlements cause the vehicle to bounce significantly, or both, creating some discomfort.

X2.2.2.3 **H**—High. Vehicle vibrations are so excessive that speed must be reduced considerably for safety and comfort, or individual bumps or settlements, or both, cause the vehicle to bounce excessively, creating substantial discomfort, a safety hazard, or high potential vehicle damage, or a combination thereof.

X2.2.3 The inspector should drive at the posted speed in a sedan that is representative of cars typically seen in local traffic. Pavement sections near stop signs should be rated at a deceleration speed appropriate for the intersection.

### BLOWUP/BUCKLING

X2.3 *Description*—Blowups or buckles occur in hot weather, usually at a transverse crack or joint that is not wide enough to permit slab expansion. The insufficient width usually is caused by infiltration of incompressible materials into the joint space. When expansion cannot relieve enough pressure, a localized upward movement of the slab edges (buckling) or shattering will occur in the vicinity of the joint. Blowups also can occur at utility cuts and drainage inlets.

#### X2.3.1 Severity Levels:

X2.3.1.1 **L**—Buckling or shattering causes low-severity ride quality (Fig. X2.1).

X2.3.1.2 **M**—Buckling or shattering causes medium-severity ride quality (Fig. X2.2).

X2.3.1.3 **H**—Buckling or shattering causes high-severity ride quality (Fig. X2.3).

X2.3.2 *How to Count*—At a crack, a blowup is counted as being in one slab; however, if the blowup occurs at a joint and affects two slabs, the distress should be recorded as occurring in two slabs. When a blowup renders the pavement impassable, it should be repaired immediately.

### CORNER BREAK

X2.4 *Description*—A corner break is a crack that intersects the joints at a distance less than or equal to one-half the slab length on both sides, measured from the corner of the slab. For example, a slab measuring 3.5 by 6.0 m (11.5 by 20.0 ft) that has a crack 1.5 m (5 ft) on one side and 3.5 m (11.5 ft) on the other side is not considered a corner break; it is a diagonal crack. However, a crack that intersects 0.5 m (4 ft) on one side and 2.5 m (8 ft) on the other is considered a corner break. A



FIG. X2.1 Low Severity Blowup/Buckling



FIG. X2.2 Medium Severity Blowup/Buckling



FIG. X2.3 High-Severity Blowup/Buckling



FIG. X2.4 Low-Severity Corner Break



FIG. X2.5 Medium-Severity Corner Break

corner break differs from a corner spall in that the crack extends vertically through the entire slab thickness, whereas a corner spall intersects the joint at an angle. Load repetition combined with loss of support and curling stresses usually cause corner breaks.

#### X2.4.1 Severity Levels—

X2.4.1.1 **L**—Break is defined by a low-severity<sup>4</sup> crack. A low severity crack is < 13 mm (½ in.), cracks of any width with satisfactory filler; no faulting. The area between the break and the joints is not cracked or may be lightly cracked (Fig. X2.4).

X2.4.1.2 **M**—Break is defined by a medium-severity<sup>4</sup> crack, or the area between the break and the joints, or both, has a medium crack. A medium severity crack is a nonfilled crack > 13 mm and < 50 mm (>½ in. and < 2 in.), a nonfilled crack < 50 mm (2 in.) with faulting < 10 mm (¾ in.), or a any filled crack with faulting < 10 mm (¾ in.) (Fig. X2.5).

X2.4.1.3 **H**—Break is defined by a high-severity<sup>4</sup> crack, or the area between the break and the joints, or both, is highly

cracked. A high severity crack is a nonfilled crack >50 mm (2 in.) wide, or any filled or nonfilled crack with faulting >10 mm (¾ in.) (Fig. X2.6).

X2.4.2 *How to Count*—Distressed slab is recorded as one slab if it:

X2.4.2.1 A single corner break.

X2.4.2.2 More than one break of a particular severity.

X2.4.2.3 Two or more breaks of different severities. For two or more breaks, the highest level of severity should be recorded. For example, a slab containing both low- and medium-severity corner breaks should be counted as one slab with a medium corner break.

### DIVIDED SLAB

X2.5 *Description*—Slab is divided by cracks into four or more pieces due to overloading, or inadequate support, or both.

<sup>4</sup>The above crack severity definitions are for nonreinforced slabs. For reinforced slabs, see *linear cracking*.



FIG. X2.6 High-Severity Corner Break



FIG. X2.7 Low-Severity Divided Slab

If all pieces or cracks are contained within a corner break, the distress is categorized as a severe corner break.

X2.5.1 *Severity Levels*—Table X2.1 lists severity levels for divided slabs. Examples are shown in Figs. X2.7-X2.9.

X2.5.2 *How to Count*—If the divided slab is medium- or high-severity, no other distress is counted for that slab.

#### DURABILITY (“D”) CRACKING

X2.6 *Description*—“D” cracking is caused by freeze-thaw expansion of the large aggregate, which, over time, gradually breaks down the concrete. This distress usually appears as a pattern of cracks running parallel and close to a joint or linear crack. Since the concrete becomes saturated near joints and cracks, a dark-colored deposit can usually be found around fine “D” cracks. This type of distress may eventually lead to disintegration of the entire slab.

##### X2.6.1 Severity Levels:

X2.6.1.1 **L**—“D” cracks cover less than 15 % of slab area. Most of the cracks are tight, but a few pieces may be loose and or missing (Fig. X2.10).

X2.6.1.2 **M**—One of the following conditions exists (Fig. X2.11): “D” cracks cover less than 15 % of the area and most of the pieces are loose and or missing, or “D” cracks cover more than 15 % of the area. Most of the cracks are tight, but a few pieces may be loose and or missing.

X2.6.1.3 **H**—“D” cracks cover more than 15 % of the area and most of the pieces have come out or could be removed easily (Fig. X2.12).

X2.6.2 *How to Count*—When the distress is located and rated at one severity, it is counted as one slab. If more than one severity level exists, the slab is counted as having the higher



FIG. X2.8 Medium-Severity Divided Slab



FIG. X2.9 High-Severity Divided Slab

TABLE X2.1 Levels of Severity for Faulting

Severity Level	Difference of Elevation
L	>3 and <10 mm (>1/8 and <3/8 in.)
M	>10 and <20 mm (>3/8 and <3/4 in.)
H	>20 mm (>3/4 in.)

severity distress. For example, if low and medium “D” cracking are on the same slab, the slab is counted as medium-severity cracking only.

#### FAULTING

##### X2.7 Description:

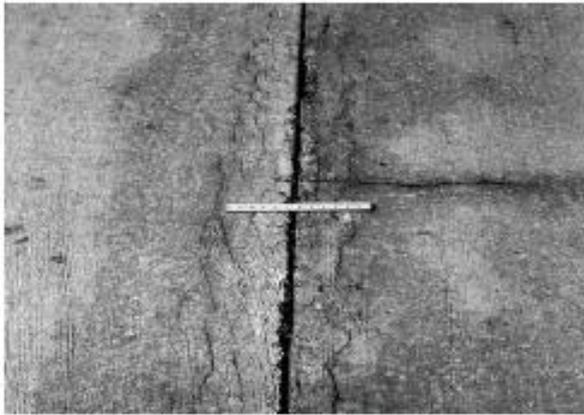


FIG. X2.10 Low-Severity Durability Cracking



FIG. X2.11 Medium-Severity Durability Cracking



FIG. X2.12 High-Severity Durability Cracking

X2.7.1 Faulting is the difference in elevation across a joint. Some common causes of faulting are as follows:  
 X2.7.1.1 Settlement because of soft foundation.  
 X2.7.1.2 Pumping or eroding of material from under the slab.

X2.7.1.3 Curling of the slab edges due to temperature and moisture changes.

X2.7.2 *Severity Levels*—Severity levels are defined by the difference in elevation across the joint as indicated in Table X2.2. Figs. X2.13-X2.15 show examples of the different severity levels.

X2.7.3 *How to Count*—Faulting across a joint is counted as one slab. Only affected slabs are counted. Faults across a crack are not counted as distress but are considered when defining crack severity.

**JOINT SEAL DAMAGE**

X2.8 *Description:*

X2.8.1 Joint seal damage is any condition that enables soil or rocks to accumulate in the joints or allows significant water infiltration. Accumulation of incompressible materials prevents the slab from expanding and may result in buckling, shattering, or spalling. A pliable joint filler bonded to the edges of the slabs protects the joints from material accumulation and prevents water from seeping down and softening the foundation supporting the slab. Typical types of joint seal damage are as follows:

- X2.8.1.1 Stripping of joint sealant.
- X2.8.1.2 Extrusion of joint sealant.
- X2.8.1.3 Weed growth.
- X2.8.1.4 Hardening of the filler (oxidation).
- X2.8.1.5 Loss of bond to the slab edges.
- X2.8.1.6 Lack or absence of sealant in the joint.

X2.8.2 *Severity Levels:*

X2.8.2.1 **L**—Joint sealant is in generally good condition throughout section (Fig. X2.16). Sealant is performing well, with only minor damage (see X2.8.1.1 – X2.8.1.6). Joint seal damage is at low severity if a few of the joints have sealer, which has debonded from, but is still in contact with, the joint edge. This condition exists if a knife blade can be inserted between sealer and joint face without resistance.

X2.8.2.2 **M**—Joint sealant is in generally fair condition over the entire section, with one or more of the above types of damage occurring to a moderate degree. Sealant needs replacement within two years (Fig. X2.17). Joint seal damage is at medium severity if a few of the joints have any of the following conditions: joint sealer is in place, but water access is possible through visible openings no more than 3 mm (1/8 in.) wide. If a knife blade cannot be inserted easily between sealer and joint face, this condition does not exist; pumping debris are evident at the joint; joint sealer is oxidized and “lifeless” but pliable (like a rope), and generally fills the joint opening; or, vegetation in the joint is obvious but does not obscure the joint opening.

TABLE X2.2 Levels of Severity for Punchouts

Severity of the Majority of Cracks	Number of Pieces		
	2 to 3	4 to 5	>5
L	L	L	M
M	L	M	H
H	M	H	H



FIG. X2.13 Low-Severity Faulting



FIG. X2.16 Low-Severity Joint Seal Damage



FIG. X2.14 Medium-Severity Faulting

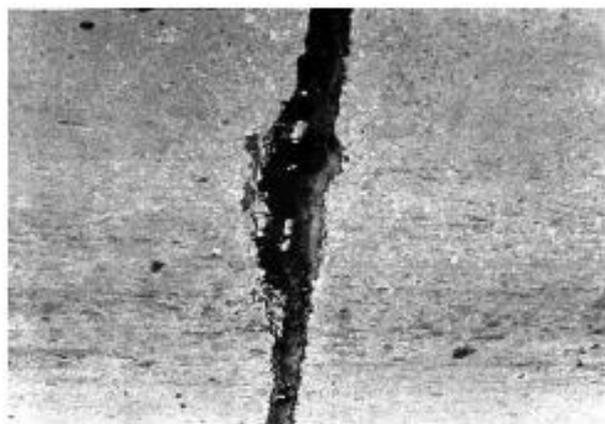


FIG. X2.17 Medium-Severity Joint Seal Damage



FIG. X2.15 High-Severity Faulting



FIG. X2.18 High-Severity Joint Seal Damage

X2.8.2.3 **H**—Joint sealant is in generally poor condition over the entire section, with one or more of the above types of damage occurring to a severe degree. Sealant needs immediate replacement (Fig. X2.18). Joint seal damage is at high severity if 10 % or more of the joint sealer exceeds limiting criteria listed above or if 10 % or more of sealer is missing.

X2.8.3 *How to Count*—Joint seal damage is not counted on a slab-by-slab basis but is rated based on the overall condition of the sealant over the entire area.

#### LANE/SHOULDER DROP-OFF

X2.9 *Description*—Lane/shoulder drop-off is the difference between the settlement or erosion of the shoulder and the

pavement travel-lane edge. The elevation difference can be a safety hazard, and it also can cause increased water infiltration.

**X2.9.1 Severity Levels:**

X2.9.1.1 **L**—The difference between the pavement edge and shoulder is  $>25$  and  $\leq 50$  mm ( $>1$  and  $\leq 2$  in.) (Fig. X2.19).

X2.9.1.2 **M**—The difference in elevation is  $>50$  and  $\leq 100$  mm ( $>2$  and  $\leq 4$  in.) (Fig. X2.20).

X2.9.1.3 **H**—The difference in elevation is  $>100$  mm ( $>4$  in.) (Fig. X2.21).

X2.9.2 *How to Count*—The mean lane/shoulder drop-off is computed by averaging the maximum and minimum drop along the slab. Each slab exhibiting distress is measured separately and counted as one slab with the appropriate severity level.

**LINEAR CRACKING**

**(Longitudinal, Transverse, and Diagonal Cracks)**

X2.10 *Description*—These cracks, which divide the slab into two or three pieces, usually are caused by a combination of repeated traffic loading, thermal gradient curling, and repeated moisture loading. (Slabs divided into four or more pieces are counted as divided slabs.) Hairline cracks that are only a few feet long and do not extend across the entire slab, are counted as shrinkage cracks.

**X2.10.1 Severity Levels (Nonreinforced Slabs):**

X2.10.1.1 **L**—Nonfilled\* cracks  $\leq 13$  mm ( $\leq 1/2$  in.) or filled cracks of any width with the filler in satisfactory condition. No faulting exists (Fig. X2.22).

X2.10.1.2 **M**—One of the following conditions exists: non-filled crack with a width  $>13$  and  $\leq 50$  mm ( $>1/2$  and  $\leq 2$  in.); nonfilled crack of any width  $\leq 50$  mm (2 in.) with faulting of  $<10$  mm ( $3/8$  in.), or filled crack of any width with faulting  $<10$  mm ( $3/8$  in.) (Fig. X2.23).

X2.10.1.3 **H**—One of the following conditions exists: non-filled crack with a width  $>50$  mm (2 in.), or filled or nonfilled crack of any width with faulting  $>10$  mm ( $3/8$  in.) (Fig. X2.24).

**X2.10.2 Reinforced Slabs:**

X2.10.2.1 **L**—Nonfilled cracks  $\geq 3$  and  $< 25$  mm ( $\geq 1/8$  to  $< 1$  in.) wide; filled crack of any width with the filler in satisfactory condition. No faulting exists.



FIG. X2.19 Low-Severity Lane/Shoulder Drop-Off

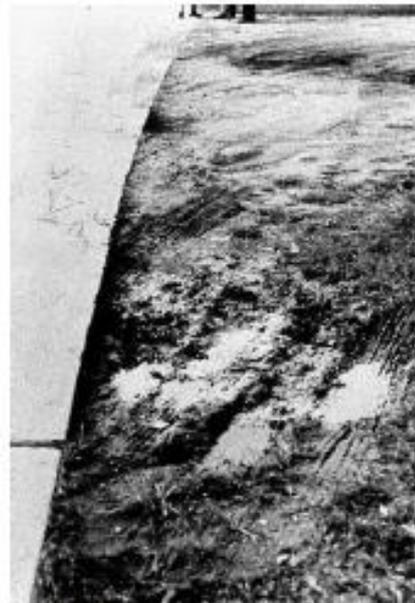


FIG. X2.20 Medium-Severity Lane/Shoulder Drop-Off



FIG. X2.21 High-Severity Lane/Shoulder Drop-Off

X2.10.2.2 **M**—One of the following conditions exists: non-filled cracks with a width  $\geq 25$  and  $< 75$  mm ( $\geq 1$  and  $< 3$  in.) and no faulting; nonfilled crack of any width  $\leq 75$  mm (3 in.) with  $\leq 10$  mm ( $3/8$  in.) of faulting, or filled crack of any width with  $\leq 10$  mm ( $3/8$  in.) faulting.

X2.10.2.3 **H**—Once of the following conditions exists: nonfilled crack  $>75$  mm (3 in.) wide, or filled or nonfilled crack of any width with faulting  $>10$  mm ( $3/8$  in.).

X2.10.3 *How to Count*—Once the severity has been identified, the distress is recorded as one slab. If two medium



FIG. X2.22 Low-Severity Linear Cracking



FIG. X2.24 High-Severity Linear Cracking



FIG. X2.23 Medium-Severity Linear Cracking

severity cracks are within one slab, the slab is counted as having one high-severity crack. Slabs divided into four or more pieces are counted as divided slabs. In reinforced slabs, cracks <3 mm (1/8 in.) wide are counted as shrinkage cracks. Slabs longer than 9 m (29.5 ft) are divided into approximately equal length "slabs" having imaginary joints assumed to be in perfect condition.

**PATCHING, LARGE (MORE THAN 0.5 M<sup>2</sup> [5.5 FT<sup>2</sup>]) AND UTILITY CUTS**

X2.11 *Description*—A patch is an area where the original pavement has been removed and replaced by filler material. A utility cut is a patch that has replaced the original pavement to allow the installation or maintenance of underground utilities. The severity levels of a utility cut are assessed according to the same criteria as large patching.

- X2.11.1 *Severity Levels:*
- X2.11.1.1 **L**—Patch is functioning well, with little or no deterioration (Fig. X2.25).
  - X2.11.1.2 **M**—Patch is moderately deteriorated, or moderate spalling can be seen around the edges, or both. Patch material can be dislodged with considerable effort (Fig. X2.26).
  - X2.11.1.3 **H**—Patch is badly deteriorated. The extent of the deterioration warrants replacement (Fig. X2.27).
- X2.11.2 *How to Count*—If a single slab has one or more patches with the same severity level, it is counted as one slab containing that distress. If a single slab has more than one severity level, it is counted as one slab with the higher severity level.

**PATCHING, SMALL (LESS THAN 0.5 M<sup>2</sup> [5.5 FT<sup>2</sup>])**

- X2.12 *Description*—A patch is an area where the original pavement has been removed and replaced by a filler material.
- X2.12.1 *Severity Levels:*
- X2.12.1.1 **L**—Patch is functioning well with little or no deterioration (Fig. X2.28).
  - X2.12.1.2 **M**—Patch is moderately deteriorated. Patch material can be dislodged with considerable effort (Fig. X2.29).



FIG. X2.25 Low-Severity Patching, Large and Utility Cuts



FIG. X2.26 Medium-Severity Patching, Large and Utility Cuts



FIG. X2.29 Medium-Severity Patching, Small



FIG. X2.27 High-Severity Patching, Large and Utility Cuts



FIG. X2.30 High-Severity Patching, Small



FIG. X2.28 Low-Severity Patching, Small

X2.12.1.3 **H**—Patch is badly deteriorated. The extent of deterioration warrants replacement (Fig. X2.30).

X2.12.2 *How to Count*—If a single slab has one or more patches with the same severity level, it is counted as one slab containing that distress. If a single slab has more than one severity level, it is counted as one slab with the higher severity level.

### POLISHED AGGREGATE

X2.13 *Description*—This distress is caused by repeated traffic applications. Polished aggregate is present when close examination of a pavement reveals that the portion of aggregate extending above the asphalt is either very small, or there are no rough or angular aggregate particles to provide good skid resistance.

X2.13.1 *Severity Levels*—No degrees of severity are defined; however, the degree of polishing should be significant before it is included in the condition survey and rated as a defect (Fig. X2.31).

X2.13.2 *How to Count*—A slab with polished aggregate is counted as one slab.

### POPOUTS

X2.14 *Description*—A popout is a small piece of pavement that breaks loose from the surface due to freeze-thaw action, combined with expansive aggregates. Popouts usually range in diameter from approximately 25 to 100 mm (1 to 4 in.) and in depth from 13 to 50 mm (½ to 2 in.).

X2.14.1 *Severity Levels*—No degrees of severity are defined for popouts; however, popouts must be extensive before they

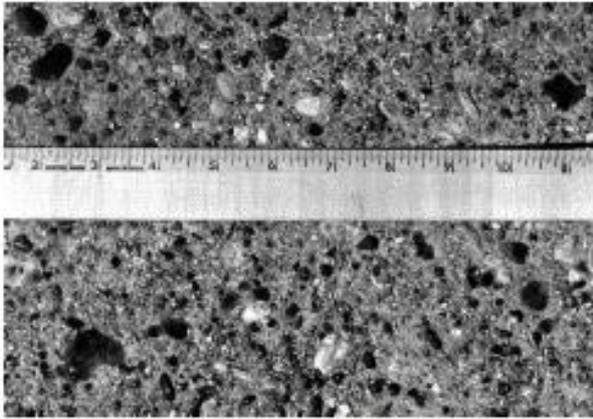


FIG. X2.31 Polished Aggregate

are counted as a distress. Average popout density must exceed approximately three popouts/m<sup>2</sup> over the entire slab area (Fig. X2.32).

X2.14.2 *How to Count*—The density of the distress must be measured. If there is any doubt that the average is greater than three popouts per square yard, at least three random 1 m<sup>2</sup> (11 ft<sup>2</sup>) areas should be checked. When the average is greater than this density, the slab should be counted.

#### PUMPING

X2.15 *Description*—Pumping is the ejection of material from the slab foundation through joints or cracks. This is caused by deflection of the slab with passing loads. As a load moves across the joint between the slabs, water is first forced under the leading slab, and then forced back under the trailing slab. This action erodes and eventually removes soil particles resulting in progressive loss of pavement support. Pumping can be identified by surface stains and evidence of base or subgrade material on the pavement close to joints or cracks. Pumping near joints is caused by poor joint sealer and indicates loss of support; repeated loading eventually will produce cracks. Pumping also can occur along the slab edge causing loss of support.



FIG. X2.32 Popouts

X2.15.1 *Severity Levels*—No degrees of severity are defined. It is enough to indicate that pumping exists (Fig. X2.33 and Fig. X2.34).

X2.15.2 *How to Count*—One pumping joint between two slabs is counted as two slabs; however, if the remaining joints around the slab are also pumping, one slab is added per additional pumping joint.

#### PUNCHOUT

X2.16 *Description*—This distress is a localized area of the slab that is broken into pieces. The punchout can take many different shapes and forms, but it is usually defined by a crack and a joint. The distance between the joint and the crack or two closely spaced cracks is  $\leq 1.5$  m (5 ft) wide. This distress is caused by heavy repeated loads, inadequate slab thickness, loss of foundation support, or a localized concrete construction deficiency, for example, honeycombing.

X2.16.1 *Severity Levels*—Table X2.2 lists the severity levels for punchouts, and Figs. X2.35-X2.37 show examples.

X2.16.2 *How to Count*—If a slab contains more than one punchout or a punchout and a crack, it is counted as shattered.

#### RAILROAD CROSSING

X2.17 *Description*—Railroad crossing distress is characterized by depressions or bumps around the tracks.

X2.17.1 *Severity Levels:*

X2.17.1.1 **L**—Railroad crossing causes low-severity ride quality (Fig. X2.38).

X2.17.1.2 **M**—Railroad crossing causes medium-severity ride quality (Fig. X2.39).

X2.17.1.3 **H**—Railroad crossing causes high-severity ride quality (Fig. X2.40).



FIG. X2.33 Pumping



FIG. X2.34 Pumping



FIG. X2.36 Medium-Severity Punchout



FIG. X2.35 Low-Severity Punchout



FIG. X2.37 High-Severity Punchout



FIG. X2.38 Low-Severity Railroad Crossing

X2.17.2 *How to Count*—The number of slabs crossed by the railroad tracks is counted. Any large bump created by the tracks should be counted as part of the crossing.

#### SCALING, MAP CRACKING, AND CRAZING

X2.18 *Description*—Map cracking or crazing refers to a network of shallow, fine, or hairline cracks that extend only through the upper surface of the concrete. The cracks tend to intersect at angles of 120°. Map cracking or crazing usually is caused by concrete over-finishing and may lead to surface scaling, which is the breakdown of the slab surface to a depth of approximately 6 to 13 mm ( $\frac{1}{4}$  to  $\frac{1}{2}$  in.). Scaling also may be caused by deicing salts, improper construction, freeze-thaw cycles and poor aggregate. The type of scaling defined here is not caused by "D" cracking. If scaling is caused by "D" cracking, it should be counted under that distress only.

X2.18.1 *Severity Levels:*

X2.18.1.1 **L**—Crazing or map cracking exists over most of the slab area; the surface is in good condition, with only minor scaling present (Fig. X2.41).

X2.18.1.2 **M**—Slab is scaled but less than 15 % of the slab is affected (Fig. X2.42).

X2.18.1.3 **H**—Slab is scaled over more than 15 % of its area (Fig. X2.43).



FIG. X2.39 Medium-Severity Railroad Crossing

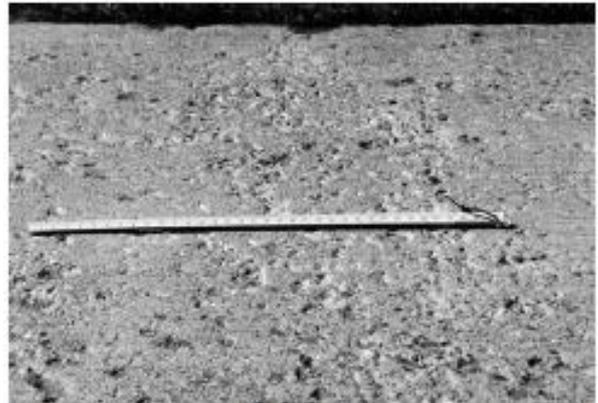


FIG. X2.42 Medium-Severity Scaling, Map Cracking, and Cracking



FIG. X2.40 High-Severity Railroad Crossing

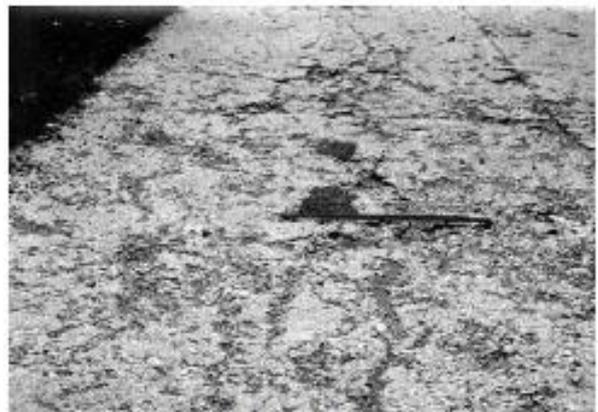


FIG. X2.43 High-Severity Scaling, Map Cracking, and Cracking



FIG. X2.41 Low-Severity Scaling, Map Cracking, and Cracking

X2.18.2 *How to Count*—A scaled slab is counted as one slab. Low-severity crazing only should be counted if the potential for scaling appears to be imminent or a few small pieces come out.

### SHRINKAGE CRACKS

X2.19 *Description*—Shrinkage cracks are hairline cracks that usually are less than 2-m long and do not extend across the entire slab. They are formed during the setting and curing of the concrete and usually do not extend through the depth of the slab.

X2.19.1 *Severity Levels*—No degrees of severity are defined. It is enough to indicate that shrinkage cracks are present (Fig. X2.44).

X2.19.2 *How to Count*—If any shrinkage cracks exist on a particular slab, the slab is counted as one slab with shrinkage cracks.

### SPALLING, CORNER

X2.20 *Description*—Corner spalling is the breakdown of the slab within approximately 0.5 m (1.5 ft) of the corner. A corner spall differs from a corner break in that the spall usually angles downward to intersect the joint, whereas a break extends vertically through the slab corner. Spalls less than 130



FIG. X2.44 Shrinkage Cracks

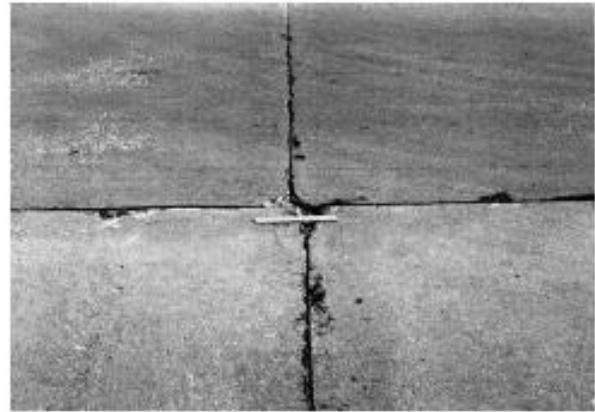


FIG. X2.45 Low-Severity Spalling, Corner

mm (5 in.) from the crack to the corner on both sides should not be counted.

**X2.20.1 Severity Levels**—Table X2.3 lists the levels of severity for corner spalling. Figs. X2.45-X2.47 show examples. Corner spalling with an area of less than 650 cm<sup>2</sup> (10 in.<sup>2</sup>) from the crack to the corner on both sides should not be counted.

**X2.20.2 How to Count**—If one or more corner spalls with the same severity level are in a slab, the slab is counted as one slab with corner spalling. If more than one severity level occurs, it is counted as one slab with the higher severity level.

**SPALLING, JOINT**

**X2.21 Description:**

**X2.21.1 Joint spalling** is the breakdown of the slab edges within 0.5 m (1.5 ft) of the joint. A joint spall usually does not extend vertically through the slab, but intersects the joint at an angle. Spalling results from:

X2.21.1.1 Excessive stresses at the joint caused by traffic loading or by infiltration of incompressible materials.

X2.21.1.2 Weak concrete at the joint caused by overworking.

X2.21.1.3 Water accumulation in the joint and freeze-thaw action.

**X2.21.2 Severity Levels**—Table X2.4 and Figs. X2.48-X2.50 show the severity levels of joint spalling. A frayed joint where the concrete has been worn away along the entire joint is rated as low severity.



FIG. X2.46 Medium-Severity Spalling, Corner

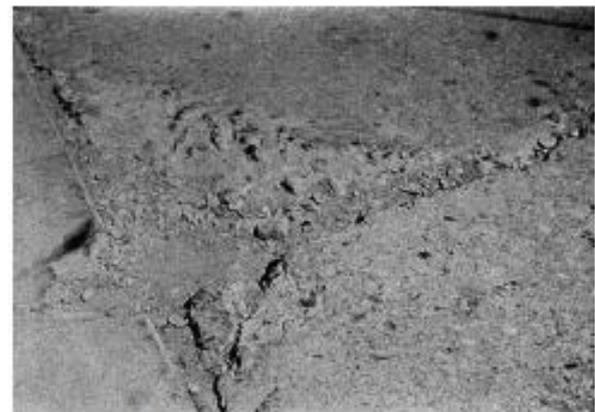


FIG. X2.47 High-Severity Spalling, Corner

TABLE X2.3 Levels of Severity for Corner Spalling

Depth of Spall	Dimensions of Sides of Spall	
	130 x 130 mm to 300 x 300 mm (5 x 5 in.) to (12 x 12 in.)	300 x 300 mm (>12 x 12 in.)
<25 mm (1 in.)	L	L
>25 to 50 mm (1 to 2 in.)	L	M
>50 mm (2 in.)	M	H

**X2.21.3 How to Count**—If spall is along the edge of one slab, it is counted as one slab with joint spalling. If spalling is on more than one edge of the same slab, the edge having the highest severity is counted and recorded as one slab. Joint spalling also can occur along the edges of two adjacent slabs. If this is the case, each slab is counted as having joint spalling.

**TABLE X2.4 Levels of Severity for Joint Spalling**

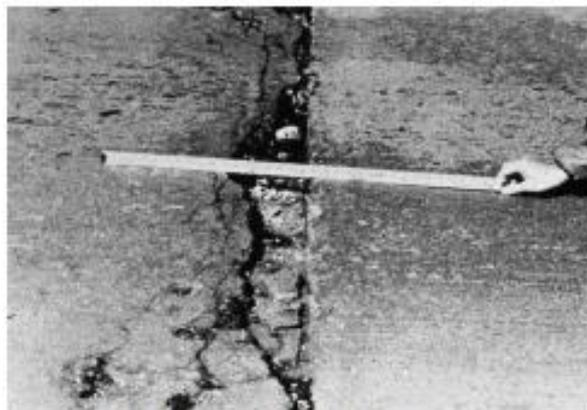
Spall Pieces	Width of Spall	Length of Spall	
		<0.5 m (1.5 ft)	>0.5 m (1.5 ft)
Tight—cannot be removed easily (maybe a few pieces missing).	<100 mm (4 in.)	L	L
	>100 mm	L	L
Loose—can be removed and some pieces are missing; if most or all pieces are missing, spall is shallow, less than 25 mm (1 in.).	<100 mm	L	M
	>100 mm	L	M
Missing—most or all pieces have been removed.	<100 mm	L	M
	>100 mm	M	H



**FIG. X2.49 Medium-Severity Spalling, Joint**



**FIG. X2.48 Low-Severity Spalling, Joint**



**FIG. X2.50 High-Severity Spalling, Joint**

X3. DEDUCT VALUE CURVES FOR ASPHALT

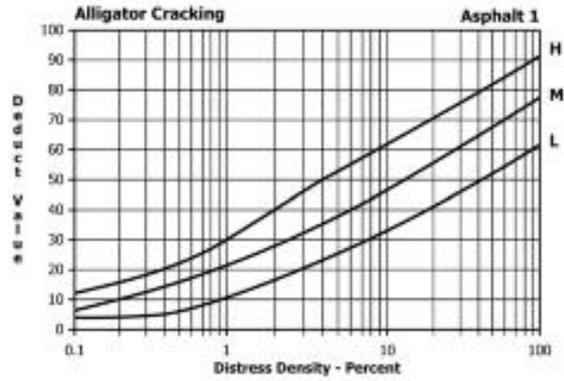


FIG. X3.1 Alligator Cracking

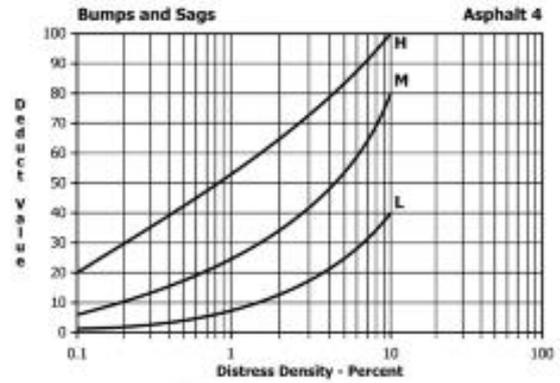


FIG. X3.4 Bumps and Sags

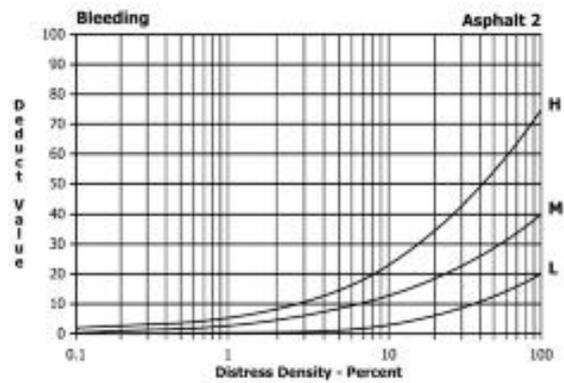


FIG. X3.2 Bleeding

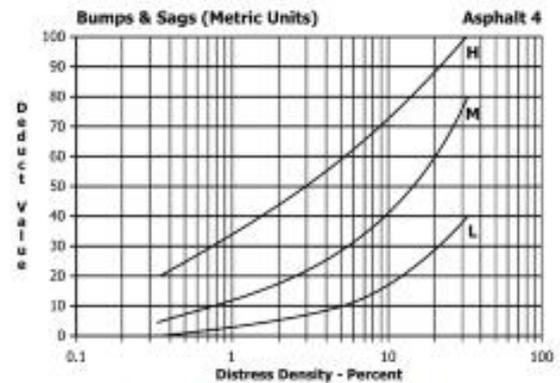


FIG. X3.5 Bumps and Sags (Metric units)

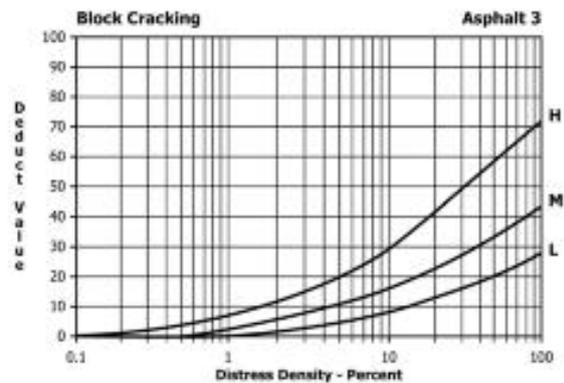


FIG. X3.3 Block Cracking

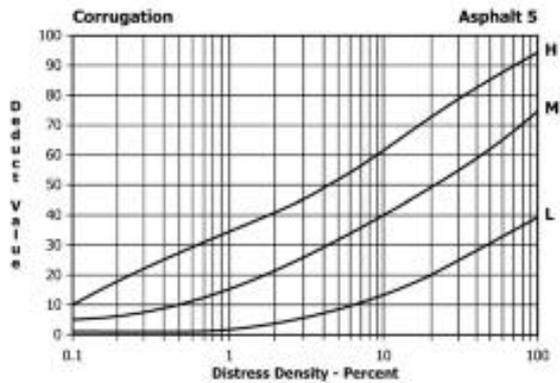


FIG. X3.6 Corrugation

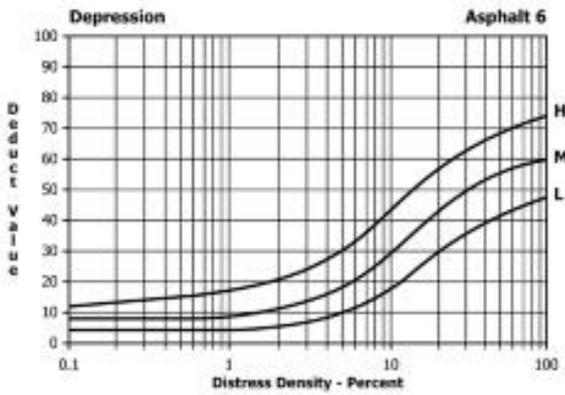


FIG. X3.7 Depression

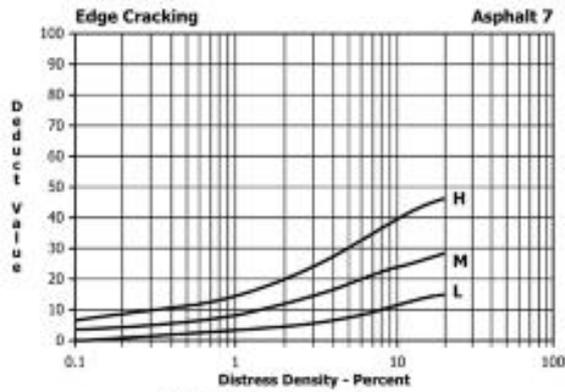


FIG. X3.8 Edge Cracking

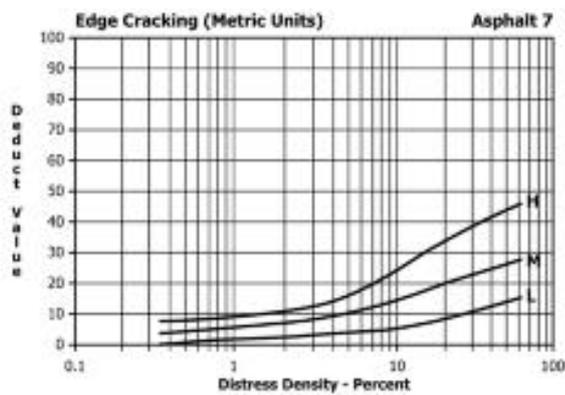


FIG. X3.9 Edge Cracking (metric units)

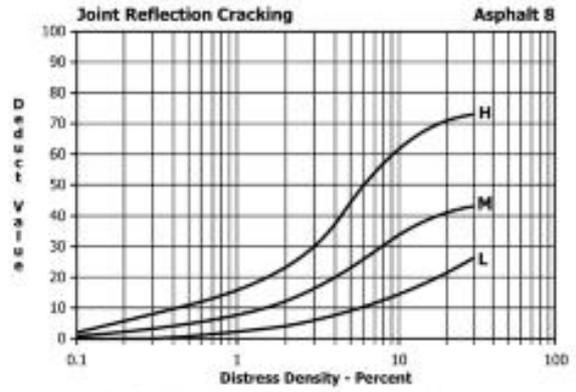


FIG. X3.10 Joint Reflection Cracking

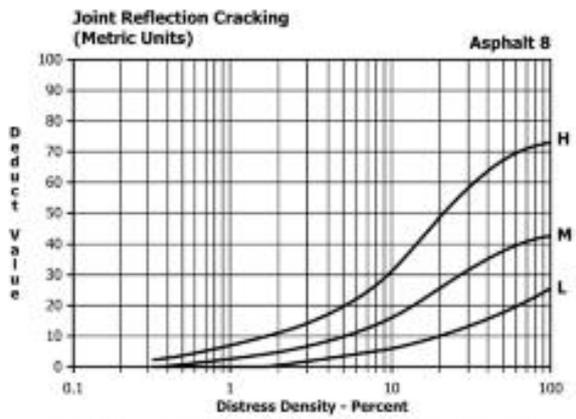


FIG. X3.11 Joint Reflection Cracking (metric units)

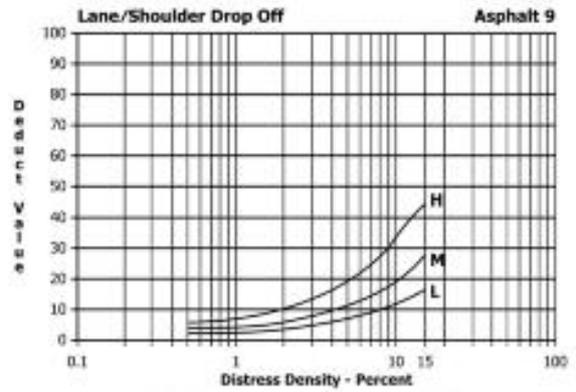


FIG. X3.12 Lane/Shoulder Drop-Off

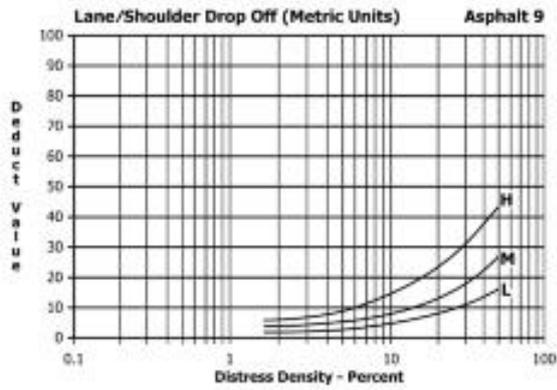


FIG. X3.13 Lane/Shoulder Drop-Off (metric units)

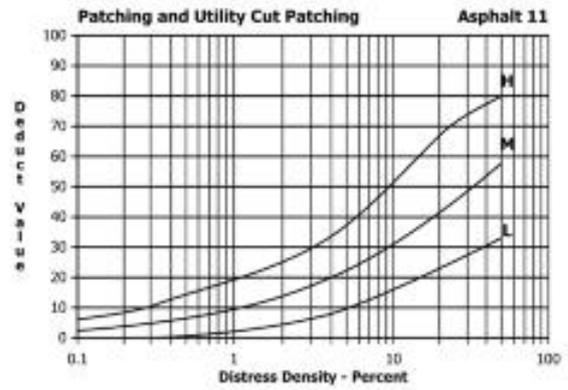


FIG. X3.16 Patching and Utility Cut Patching

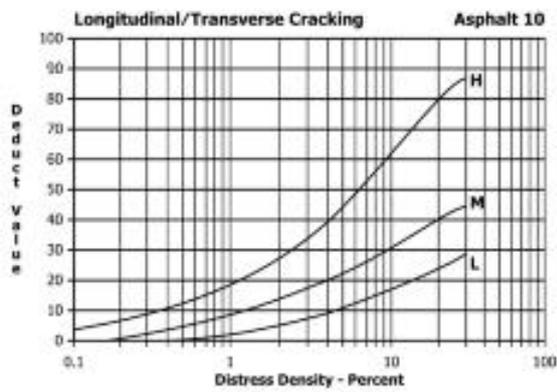


FIG. X3.14 Longitudinal/Transverse Cracking

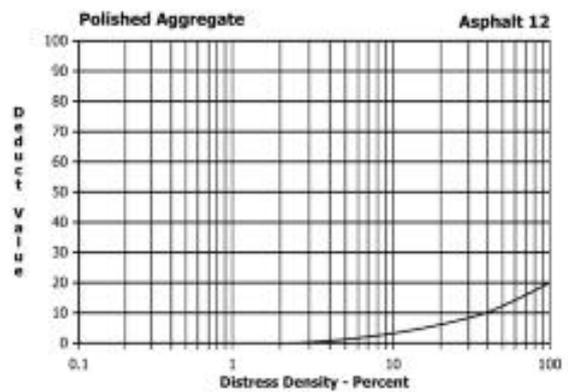


FIG. X3.17 Polished Aggregate

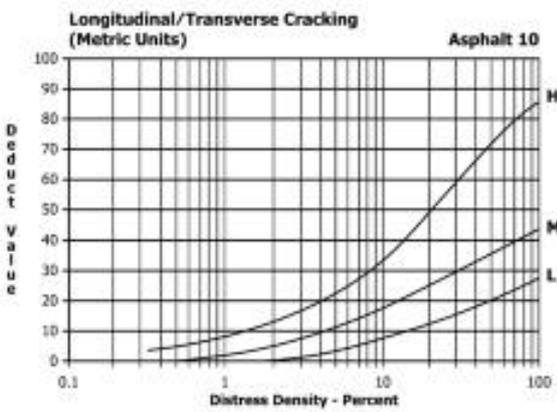


FIG. X3.15 Longitudinal/Transverse Cracking (metric units)

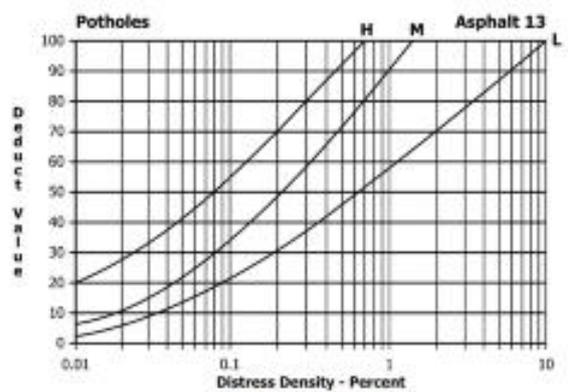


FIG. X3.18 Potholes

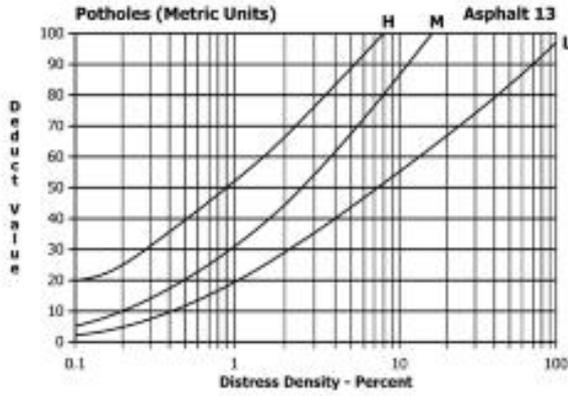


FIG. X3.19 Potholes (metric units)

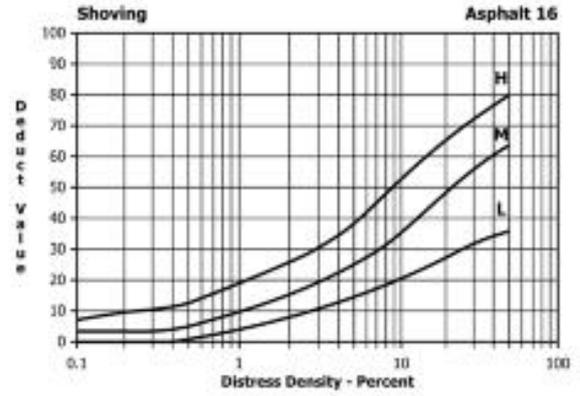


FIG. X3.22 Shoving

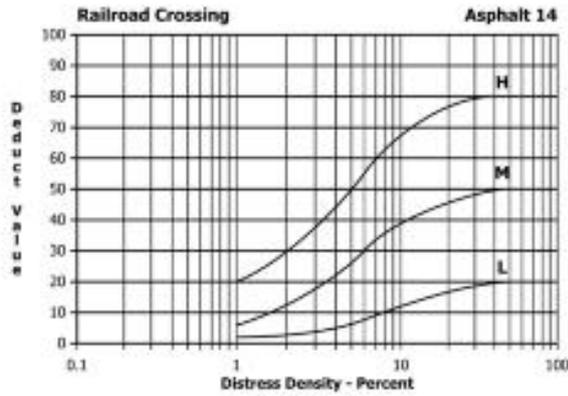


FIG. X3.20 Railroad Crossing

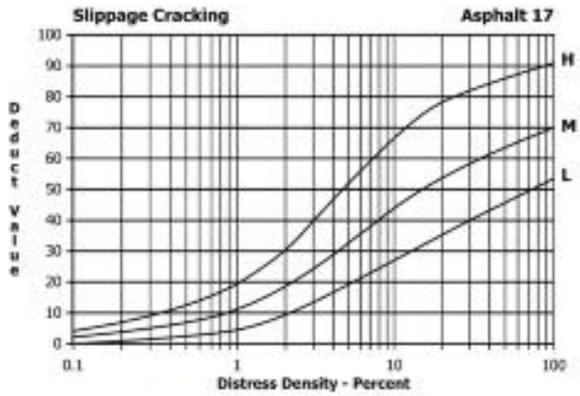


FIG. X3.23 Slippage Cracking

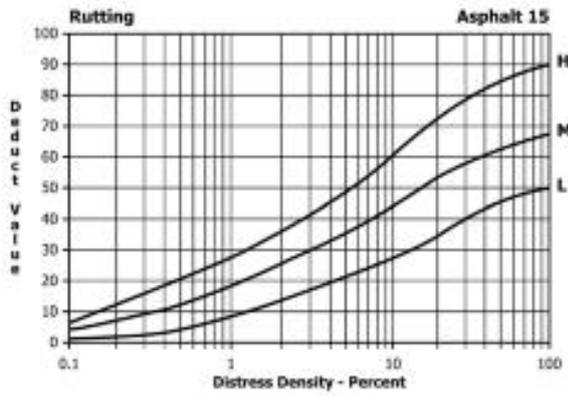


FIG. X3.21 Rutting

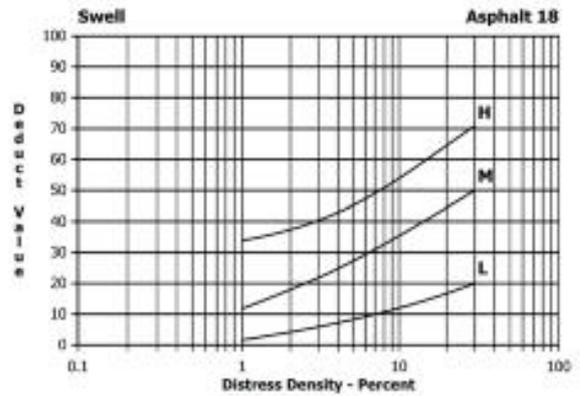


FIG. X3.24 Swell

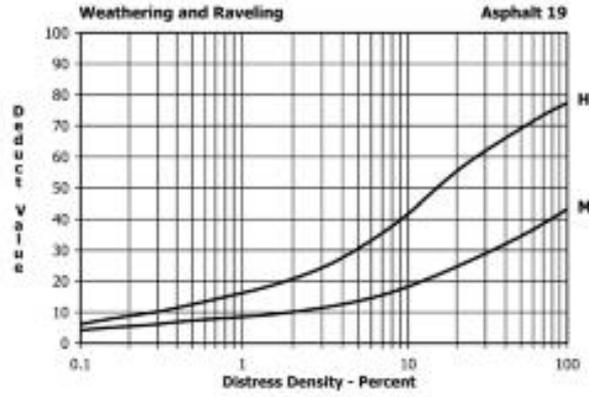


FIG. X3.25 Ravelling

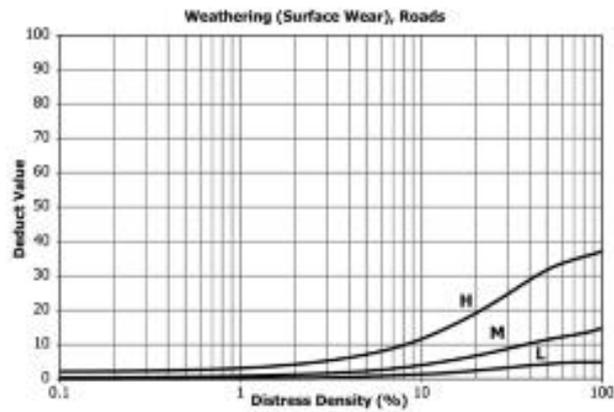


FIG. X3.26 Weathering

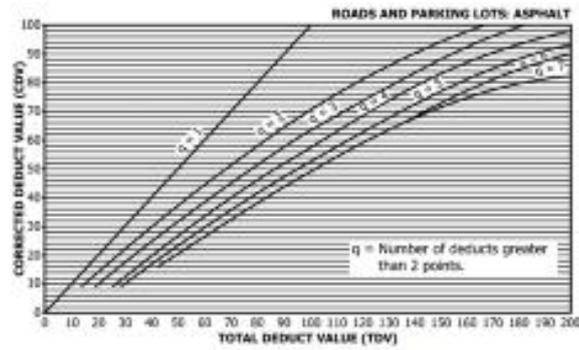


FIG. X3.27 Total Deduct Value

X4. DEDUCT VALUE CURVES FOR CONCRETE

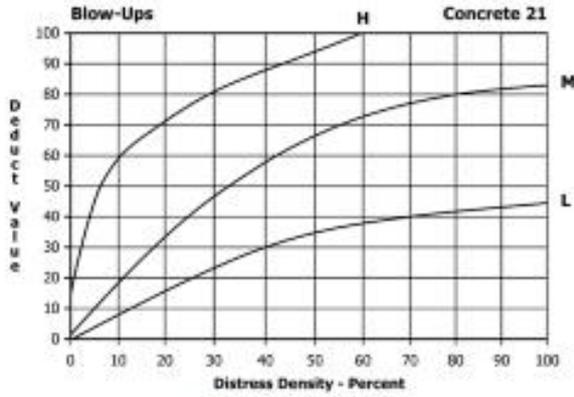


FIG. X4.1 Blowups

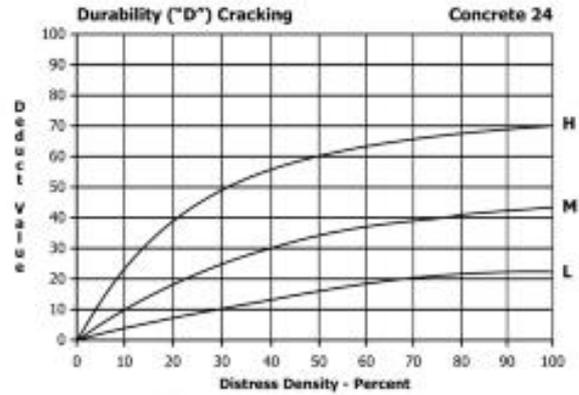


FIG. X4.4 Durability ("D") Cracking

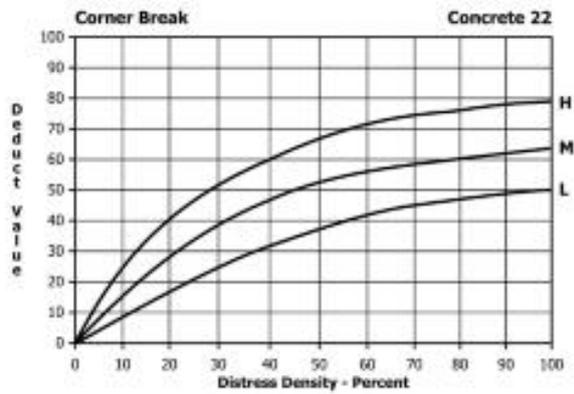


FIG. X4.2 Corner Break

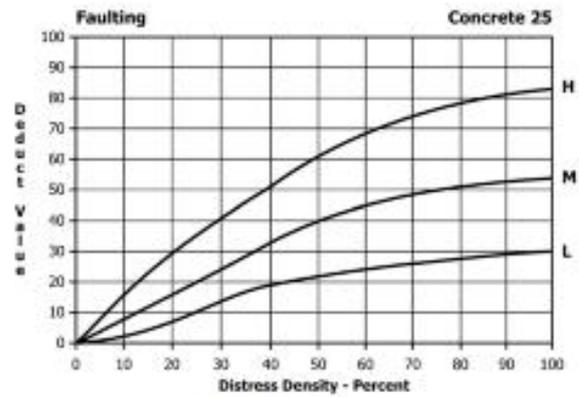


FIG. X4.5 Faulting

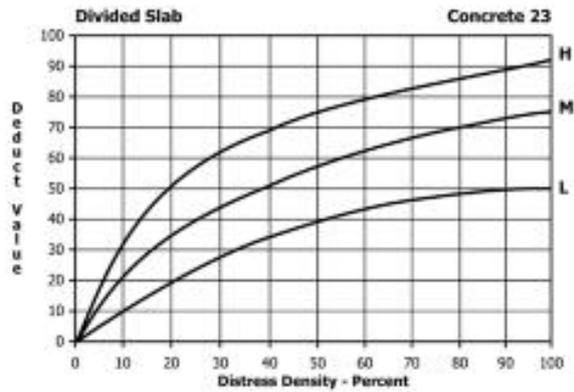


FIG. X4.3 Divided Slab

Joint Seal Damage

Concrete 26

Joint seal damage is not rated by density. The severity of the distress is determined by the sealant's overall condition for a particular sample unit.

The deduct values for the three levels of severity are:

- LOW            3 points
- MEDIUM      4 points
- HIGH           8 points

FIG. X4.6 Rigid Pavement Deduct Values, Distress 26, joint seal damage

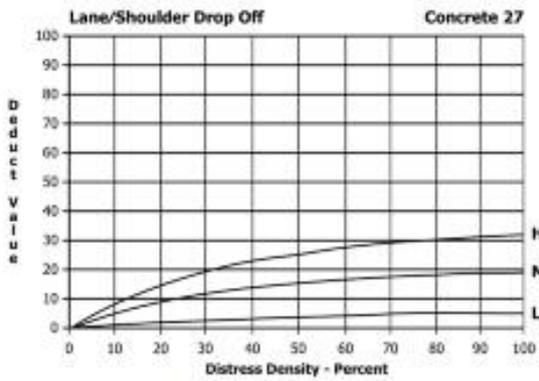


FIG. X4.7 Lane/Shoulder Drop-Off

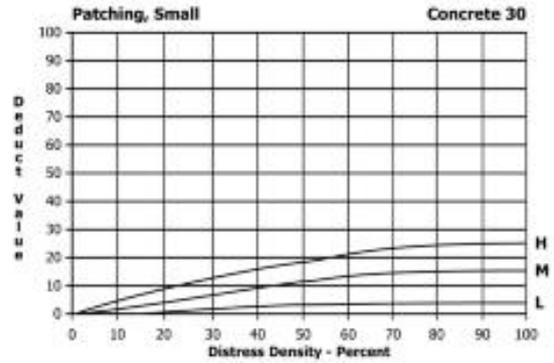


FIG. X4.10 Patching, Small

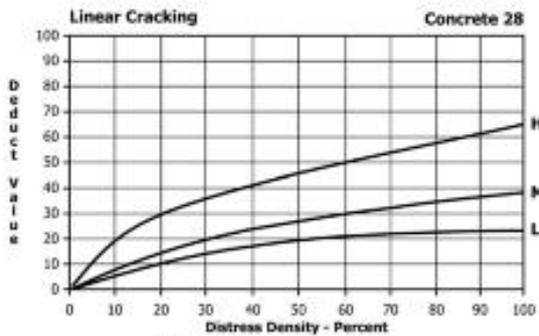


FIG. X4.8 Linear Cracking

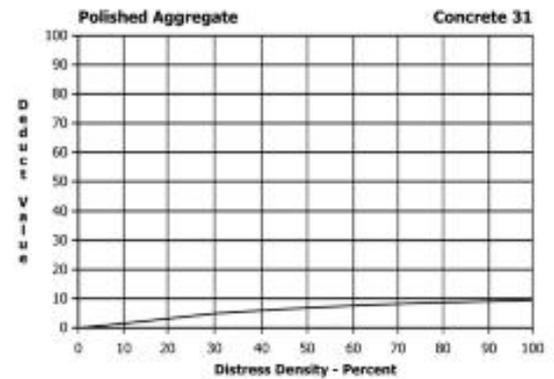


FIG. X4.11 Polished Aggregate

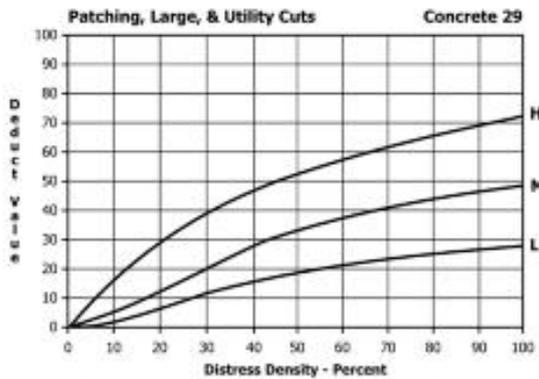


FIG. X4.9 Patching, Large, and Utility Cuts

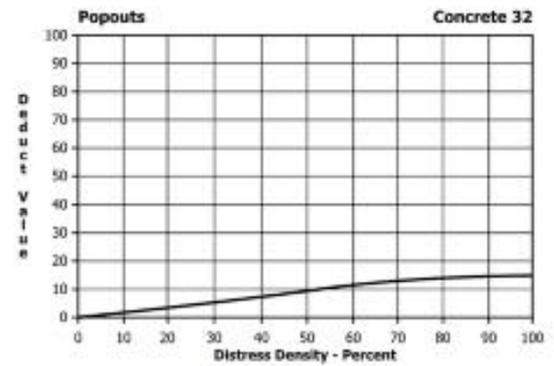


FIG. X4.12 Popouts

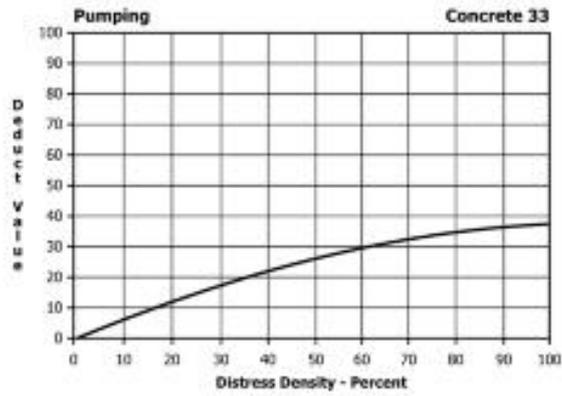


FIG. X4.13 Pumping

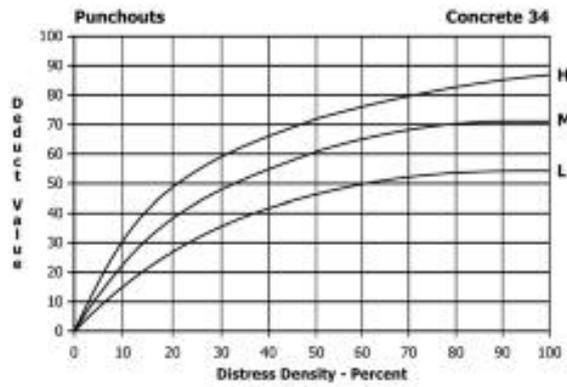


FIG. X4.14 Punchouts

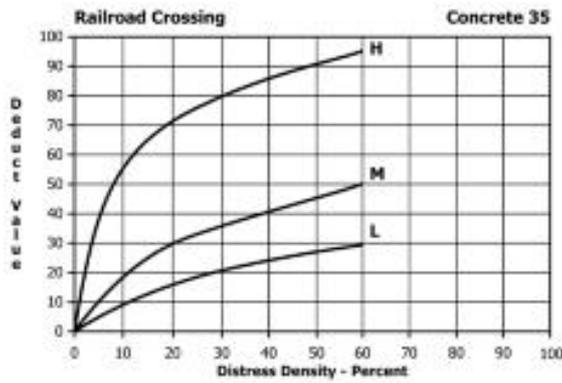


FIG. X4.15 Railroad Crossing

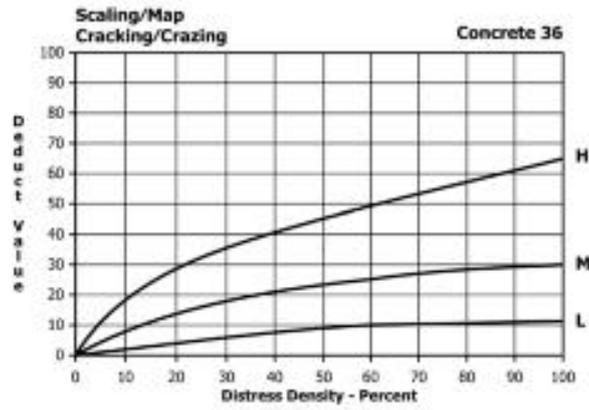


FIG. X4.16 Scaling/Map Cracking/Crazing

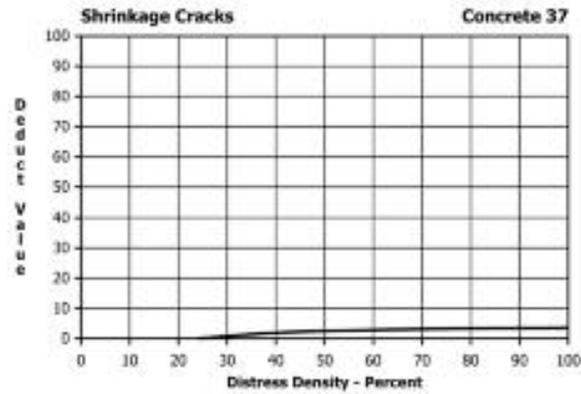


FIG. X4.17 Shrinkage Cracks

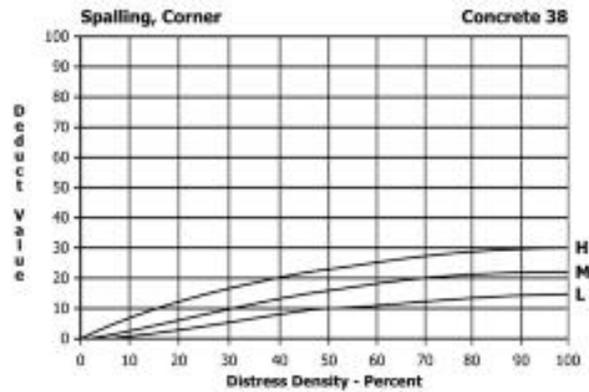


FIG. X4.18 Spalling, Corner

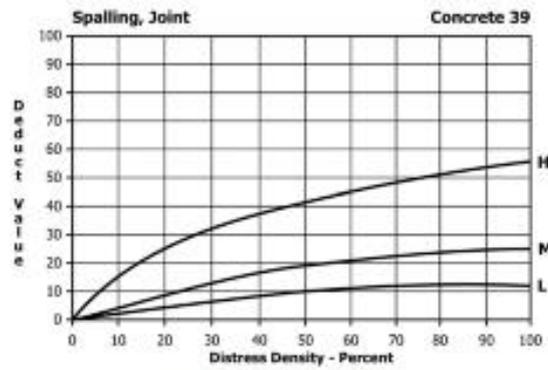
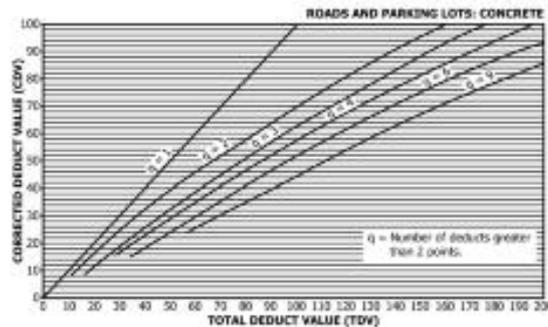


FIG. X4.19 Spalling, Joint



Corrected deduct values for jointed concrete pavement.  
 FIG. X4.20 Corrected Deduct Values for Jointed Concrete Pavement

REFERENCES

- (1) PAVER Asphalt Distress Manual, US Army Construction Engineering Laboratories, TR 97/104, June 1997.
- (2) PAVER Asphalt Distress Manual, US Army Construction Engineering Laboratories, TR 97/105, June 1997.
- (3) Carey, W.N., Jr. and Irick, P.E., "The Pavement Serviceability-Performance Concept," *HRB Bulletin* 250, 1960.
- (4) Sayers, M. W., Gillespie, T. D., and Queiroz, C. A. V., "The International Road Roughness Experiment: Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements," World Bank Technical Paper No. 45, the International Bank for Reconstruction and Development/the World Bank, Washington, DC, 1986.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 010-832-9583 (phone), 010-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/