

Un Informe de investigación de la **IPRF**
Fundación de Investigaciones de Pavimentos Innovadores
Programa de Tecnología de Pavimentos de Concreto para Aeropuertos

Informe IPRF-01-G-002-1

Mejores prácticas para la construcción de pavimentos de concreto de cemento Pórtland (Pavimento rígido para aeropuertos)



Oficina de Gestión de Programas
1010 Massachusetts Avenue, N.W.
Suite 200
Washington, DC 20001

Abril de 2003

Documento ACPA N° JP007P

Un Informe de investigación de la ***IPRF***
Fundación de Investigaciones de Pavimentos Innovadores
Programa de Tecnología de Pavimentos de Concreto para Aeropuertos

Informe IPRF-01-G-002-1

**Mejores prácticas para la
construcción de pavimentos de
concreto con cemento Pórtland
(Pavimento rígido para
aeropuertos)**

Investigadores principales

Dr. Starr D. Kohn, P.E., Soil and Materials Engineers, Inc.
Dr. Shiraz Tayabji, P.E., Construction Technology Laboratories, Inc.

Autores colaboradores

Paul Okamoto, P.E.
Dr. Ray Rollings, P.E.
Dra. Rachel Detwiller, P.E.
Dr. Rohan Perera, P.E.
Dr. Ernest Barenberg, P.E.
Dr. John Anderson, P.E.
Marie Torres
Hassan Barzegar, P.E.
Dr. Marshall Thompson, P.E.
John Naughton, P.E.

Oficina de Gestión de Programas
1010 Massachusetts Avenue, N.W.
Suite 200
Washington, DC 20001

Abril de 2003

Este informe ha sido preparado por la Fundación de Investigaciones de Pavimentos Innovadores (IPRF, Innovative Pavement Research Foundation) como parte del Programa de Tecnologías de Pavimentos de Concreto para Aeropuertos. Los fondos son aportados por la Administración Federal de Aviación de EE.UU. (FAA) conforme al Acuerdo Cooperativo Número 01-G-002. El Dr. Satish Agrawal es el Gerente de la División de Investigación y Desarrollo de Tecnología para Aeropuertos de la FAA y el Gerente Técnico del Acuerdo Cooperativo. Jim Lafrenz es el Gerente del Programa de Acuerdo Cooperativo de la IPRF.

La IPRF y la FAA agradecen a los integrantes del Panel Técnico que generosamente brindaron su experiencia profesional y tiempo para la elaboración de este informe. Este equipo tuvo a su cargo la dirección técnica y la supervisión. A continuación presentamos los nombres de los integrantes del Panel Técnico.

Terry Ruhl, P.E.
Gary Fuselier

Gary Fick
Jeffrey Rapol

CH2M Hill
Autoridad de Aeropuertos del Área Metropolitana de Washington
Duit Construction Company, Inc.
Asesor Técnico de Proyectos de la FAA

El contenido de este informe refleja las opiniones de los autores, quienes son responsables de los hechos y la exactitud de los datos presentados. El contenido no refleja necesariamente las opiniones y políticas oficiales de la Administración Federal de Aviación. Este informe no constituye una norma, especificación ni regulación.

AGRADECIMIENTOS

El manual fue preparado por los siguientes miembros del equipo de proyecto:

Investigadores principales

Dr. Starr D. Kohn, P.E., Soil and Materials Engineers, Inc.
Dr. Shiraz Tayabji, P.E., Construction Technology Laboratories, Inc.

Autores colaboradores

Paul Okamoto, P.E.
Dr. Ray Rollings, P.E.
Dra. Rachel Detwiller, P.E.
Dr. Rohan Perera, P.E.
Dr. Ernest Barenberg, P.E.
Dr. John Anderson, P.E.
Marie Torres
Hassan Barzegar, P.E.
Dr. Marshall Thompson, P.E.
John Naughton, P.E.

Los integrantes del equipo de proyecto desean reconocer las colaboraciones de las siguientes personas:

- Terry Sherman, Gene Gutiérrez y Richard Donovan, Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU., quienes brindaron valiosos comentarios en diferentes etapas del desarrollo del manual.
- El personal de la Autoridad de Puertos de Nueva York y Nueva Jersey, Autoridad del Aeropuerto del Condado de Memphis-Shelby y el Departamento de Servicios Públicos del Condado Wayne quienes brindaron su tiempo y organizaron visitas de obra y reuniones con contratistas, proveedores de materiales y personal de ensayos.
- El personal de los siguientes contratistas de pavimentación y proveedores de equipos:
 - Interstate Highway Construction, Inc., Englewood, Colorado
 - Ajax Paving Industries, Inc., Madison Heights, Michigan
 - Gunthert & Zimmerman Construction Division, Inc., Ripon, California
 - Gomaco Corporation, Ida Grove, Iowa.

El equipo de proyecto también desea mencionar que el manual incorpora la experiencia colectiva de una amplia gama de expertos que, a través de los años, han contribuido enormemente a los desarrollos en la tecnología para la construcción de pavimentos de concreto para aeropuertos. Gracias a sus contribuciones, que han producido pavimentos de concreto de larga duración, Estados Unidos goza de uno de los mejores sistemas de aviación del mundo.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO DE LA IPRF/FAA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
NOTAS PARA EL LECTOR.....	x
RESUMEN EJECUTIVO	xi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo.....	2
1.2 Alcance.....	2
1.3 Limitación de responsabilidad.....	2
1.4 Calidad en proyectos construidos	3
2. CONSIDERACIÓN DE CUESTIONES DE DISEÑO.....	4
2.1 Introducción.....	4
2.2 Variabilidad de la construcción	8
2.3 Resumen.....	8
3. ACTIVIDADES PREVIAS A LA CONSTRUCCIÓN	10
3.1 Cuestiones de las especificaciones para construcción	10
3.1.1 Especificaciones para construcción civil (sector privado)	10
3.1.2 Especificaciones para construcciones militares	11
3.2 Planificación de la logística de construcción	12
3.3 Construcción para habilitación temprana y apertura del pavimento al tránsito ...	12
3.3.1 Apertura del pavimento al tránsito.....	13
3.4 Reuniones previas a la licitación	15
3.5 Reuniones previas a la adjudicación.....	16
3.6 Reuniones previas al inicio de obra.....	16
3.7 Materiales de construcción aptos.....	17
3.7.1 Evaluación de agregados locales.....	17
3.7.2 Disponibilidad y certificación de materiales cementicios	21
3.7.3 Disponibilidad y certificación de aditivos y compuestos de curado	24

3.8	Especificación de los requisitos del plan de gestión de calidad (QMP) y del control de calidad por parte del contratista (CQC).....	27
3.8.1	Definiciones básicas de QMP/CQC.....	27
3.8.2	Aspectos generales.....	28
3.8.3	Plan de Gestión de Calidad.....	28
3.8.4	Responsabilidades de los ensayos de QA (o para aceptación) del organismo o QC del contratista	30
3.9	Construcción de la faja de prueba	30
3.9.1	Detalles de la faja de prueba.....	31
3.9.2	Aceptación de la faja de prueba.....	36
3.9.3	Consideración de cambios en las operaciones de QMP/CQC y del contratista.....	36
4.	PREPARACIÓN DE LA RASANTE	37
4.1	Introducción.....	37
4.2	Nivelación y compactación de la subrasante.....	37
4.2.1	Actividades previas a la nivelación.....	37
4.2.2	Extracción de materiales no aptos de la subrasante	38
4.2.3	Protección de la rasante.....	38
4.2.4	Operaciones de construcción de la rasante.....	38
4.2.5	Requisitos para la compactación.....	39
4.3	Estabilización de la subrasante.....	41
4.3.1	Estabilización con cal.....	41
4.3.2	Estabilización con cemento	43
4.3.3	Contingencias para áreas localizadas	44
4.4	Apisonado de prueba	44
4.5	Recepción de la subrasante	45
4.6	Protección de la rasante.....	45
4.7	Condiciones climáticas adversas	46
4.8	Guía para la solución de problemas.....	46
5.	CONSTRUCCIÓN DE BASES Y SUBBASES.....	47
5.1	Introducción.....	47
5.2	Subbase	47
5.3	Base estabilizada mecánicamente.....	48
5.4	Bases estabilizadas químicamente.....	49
5.4.1	Base tratada con cemento	49

5.4.2	Concreto económico (econocreto)	51
5.4.3	Base tratada con asfalto	52
5.5	Capas drenantes	52
5.6	Cuestiones relacionadas con las bases estabilizadas	53
5.7	Guía de solución de problemas.....	54
6.	PREPARACIÓN PARA LA PAVIMENTACIÓN CON CONCRETO.....	55
6.1	Aprobación de la rasante.....	55
6.2	Funcionamiento de la planta de concreto.....	56
6.2.1	Manejo de los acopios de agregados.....	57
6.2.2	Ensayo de uniformidad del concreto.....	59
6.3	Cuestiones relacionadas con el equipo de pavimentación	59
6.4	Cuestiones relacionadas con la cuerda de guía	60
7.	MEZCLA DE CONCRETO	62
7.1	Introducción.....	62
7.1.1	Requisitos para una mezcla de concreto.....	63
7.1.2	Proceso de diseño de la mezcla en laboratorio	64
7.2	Cuestiones relacionadas con el diseño de la mezcla de concreto.....	65
7.2.1	Trabajabilidad	65
7.2.2	Resistencia	66
7.2.3	Resistencia a los sulfatos.....	69
7.2.4	Incorporación de aire.....	69
7.3	Cementos combinados y materiales suplementarios	70
7.4	Incompatibilidad entre materiales	71
7.5	Requisitos para los agregados	73
7.5.1	Granulometría de los agregados.....	73
7.5.2	El caso de los agregados de escorias.....	75
7.5.3	El caso de los agregados de concreto reciclado	75
7.6	Ajustes en obra del diseño de mezcla de concreto	75
7.7	Guía para la solución de problemas.....	78
8.	COLOCACIÓN, TERMINACIÓN, TEXTURIZADO Y CURADO DEL CONCRETO	79
8.1	Introducción.....	79

8.2	Entrega del concreto en el sitio	82
8.3	Colocación del concreto.....	83
8.4	Colocación del acero empotrado y las barras de unión	84
8.5	Instalación de pasadores.....	85
8.5.1	Pasadores en juntas de construcción	87
8.6	Consolidación del concreto	88
8.7	Terminación del concreto.....	91
8.8	Texturizado del concreto.....	92
8.9	Estriado del concreto	94
8.10	Curado del concreto	94
8.11	Minimización del asentamiento de los bordes	95
8.12	Pavimentación con moldes fijos	96
8.13	Pavimentación y estructuras empotradas en el pavimento.....	97
8.14	Pavimentación en empalmes con pavimentos flexibles.....	99
8.15	Colocación del concreto con tiempo caluroso.....	100
8.16	Colocación del concreto con tiempo frío	103
8.17	Protección del concreto contra daños ocasionados por la lluvia	104
8.18	Guía para la solución de problemas.....	107
9.	ASERRADO Y SELLADO DE JUNTAS	112
9.1	Prácticas para la distribución de juntas	112
9.2	Los tiempos para el aserrado de juntas	118
9.3	Aserrado de juntas	121
9.4	Limpieza de la junta previa a su sellado	126
9.5	Cuestiones relacionadas con el sellado de juntas	127
9.5.1	Material de sellado vertido en caliente.....	127
9.5.2	Material de sellado vertido en frío	128
9.5.3	Sellador de juntas preforma	129
9.6	Guía para la solución de problemas.....	129
10.	IMPLEMENTACIÓN DE LOS REQUISITOS DE QMP/CQC	131
10.1	Planes de ensayos y producción QMP/CQC	131
10.2	Diagramas de control.....	132
10.3	Proceso de ensayo	133
10.3.1	Ensayo de la subrasante, subbase y base	134
10.3.2	Ensayo del concreto fresco	135
10.3.3	Ensayos de espesor.....	136
10.3.4	Ensayos de los agregados (granulometría y contenido de humedad)	137
10.3.5	Ensayos de resistencia	138

10.3.6	Ensayos de asentamiento de bordes, deformación de las caras de las juntas y ensayo del perfil y sus tolerancias.....	142
10.3.7	Alineación e inspección de los pasadores.....	145
11.	REPARACIÓN DE DETERIOROS TEMPRANOS.....	146
11.1	Agrietamiento por retracción plástica.....	146
11.2	Asentamiento de bordes.....	147
11.3	Astillamientos en las juntas.....	148
11.4	Agrietamiento en todo el espesor.....	148
	BIBLIOGRAFÍA.....	150
	CONTACTOS/SITIOS WEB DE INFORMACIÓN.....	152
	APÉNDICES	
	A – Normas de ensayos a las que se hace referencia en el manual.....	154
	B – Lista de control de revisión antes de la construcción.....	159
	C – Lista de control de inspección y ensayos.....	163
	D – Lista de control para el aserrado de juntas.....	167
	E – Árbol para la toma de decisiones sobre agrietamiento en edad temprana.....	168

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
3.1 Lista de ítems de la AC de la FAA: 150/5370-10A.....	11
3.2 Cambios en las actividades del proyecto para reducir el tiempo de construcción del pavimento	13
9.1 Distancias máximas entre juntas sobre base con agregados (granular).....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
4.1 Curvas humedad-densidad típicas que muestran el efecto del contenido de humedad en la densidad.....	40
6.1 Distribución habitual de una planta de concreto.....	56
6.2 Trabajando en el acopio de agregados.....	59
6.3 Un acopio excesivamente alto	59
7.0 Factor de trabajabilidad de los agregados	74
8.1 Operación típica de una pavimentadora de tablero de puente.....	80
8.2 Una construcción típica de una curva de enlace.....	81
8.3 Colocación del concreto frente a la pavimentadora.....	84
8.4 Instalación de pasadores a lo largo de una junta de construcción longitudinal	88
8.5 Distribución y posición de los vibradores.....	89
8.6 Concreto con “nidios de abeja”	90
8.7 Pantalla de un sistema de vibrado inteligente mostrando la frecuencia de cada vibrador.....	91
8.8 Tareas de terminación	92
8.9 Método con moldes de exclusión	97
8.10 Técnica de extracción de testigos para caja en dos partes	98
8.11 Velocidad de evaporación afectada por las condiciones ambientales	102
9.1 Tipos de juntas para pavimentos de concreto para aeropuertos.....	114
9.2 Distancias entre juntas típicas para pavimentos sobre bases estabilizadas	117
9.3 Ventana (Intervalo) de oportunidad para el aserrado de juntas	119
9.4 Temperatura superficial de la losa a edad temprana	119
9.5 Ensayo con el medidor de madurez	121
9.6 Opciones de diseño de reservorio para el sellador para pavimentos de concreto para aeropuertos.....	123
10.1 Ejemplo de diagrama de control.....	133
10.2 Laboratorio en obra para fabricación y curado de vigas	140
10.3 Medición del asentamiento de borde	143
10.4 Ensayo en curso con perfilógrafo	144
11.1 Agrietamiento por retracción plástica.....	146

11.2	Desprendimientos superficiales debidos a una reparación de asentamiento de borde inapropiada.....	147
------	---	-----

NOTAS PARA EL LECTOR

Recuadros de información destacada

Este manual incluye recuadros de información destacada que proporcionan alertas especiales. Estos recuadros destacan elementos del proceso de pavimentación con concreto que influyen directamente en el producto final.

ALERTA DE CALIDAD:

Destaca los puntos clave relacionados con la obtención de calidad en el proceso de pavimentación.

ALERTA DE PAVIMENTACIÓN

Advierte sobre puntos que probablemente tengan un impacto negativo en el proceso de construcción o en el desempeño del pavimento.

Normas de ensayo

Las normas de ensayos mencionadas son, en general, las normas de la Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales (ASTM). En el texto, las normas están designadas por números únicamente. El título completo de cada norma a la que se hace referencia se encuentra en el apéndice A. Salvo que se indique lo contrario, las referencias a las normas corresponden a la última versión.

Acrónimos

En el manual se usan lo siguientes acrónimos de organizaciones:

ACI: Instituto Norteamericano del Concreto

AASHTO: Asociación Norteamericana de Agentes de Transporte y Carreteras Federales

ACI: Instituto Norteamericano del Concreto

ACPA: Asociación Norteamericana de Pavimentos de Concreto

ASTM: Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales

DOD: Departamento de Defensa de Estados Unidos

DOT: Departamento de Transporte de Estados Unidos

FAA: Administración Federal de Aviación

PCA: Asociación del Cemento Pórtland

UFGS: Especificaciones de la Guía de Instalaciones Unificadas (utilizada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU., el Comando de Ingeniería de Instalaciones Navales y el Departamento de la Fuerza Aérea)

Referencias

En este manual no se mencionan las referencias, excepto a los efectos del copyright. Este manual es un documento de las mejores prácticas y la información presentada aquí fue compilada de

numerosas fuentes, tanto publicadas como no publicadas. Al final del presente se puede encontrar una lista de los documentos de fuente primaria que se usaron.

RESUMEN EJECUTIVO

Puede esperarse que los pavimentos de concreto para aeropuertos bien diseñados y bien construidos para pistas, calles de rodaje y plataformas de estacionamiento brinden un desempeño prolongado en diferentes condiciones operacionales y relacionadas con el emplazamiento. Dado que la mayoría de los principales aeropuertos civiles operan al límite de su capacidad, los aeropuertos no pueden tener pavimentos con bajo desempeño y arriesgarse a sufrir cierres de puertas de embarque o una menor capacidad de aterrizaje y despegue debido a las frecuentes actividades de mantenimiento y reparación. Lo mismo sucede en el caso de aeródromos militares, donde la necesidad de mantener óptimas condiciones operacionales obliga a que los pavimentos brinden un desempeño satisfactorio más allá de su vida útil anticipada. Es ampliamente reconocido que, aun cuando un pavimento esté diseñado con la más alta calidad, no tendrá un desempeño adecuado si no está construido correctamente. En pocas palabras, la calidad se incorpora al pavimento en la construcción.

Con respecto a la construcción de pavimentos de concreto para aeropuertos, a través de los años se han desarrollado diversas formas de pautas para las mejores prácticas o las prácticas estándar. Algunas pautas se han traducido a especificaciones constructivas que imponen ciertos requisitos para distintas actividades de construcción. En los últimos años, muchos organismos han solicitado control de calidad por parte del contratista y, en consecuencia, las especificaciones de construcción en esas situaciones no ofrecen una orientación valiosa para la construcción de pavimentos de concreto. La falta de un documento actualizado de las mejores normas para las prácticas constructivas y la necesidad de capacitar en forma continua a una nueva generación de personal de diseño, construcción e inspección hacen que sea crucial disponer de un manual integral de las mejores prácticas para la construcción de pavimentos para aeropuertos de concreto de cemento Pórtland (PCC), que sea aceptado e implementado por todos los segmentos de la industria.

La información que aquí se presenta es un compendio, preparado en un formato fácil de usar, de las prácticas de construcción e inspección que, cuando se las emplea, dan como resultado un desempeño prolongado del pavimento. Debería alentarse el uso de mejores equipos y materiales mientras se cumplan los requisitos básicos de una buena construcción, a condición de que la calidad del producto terminado sea comparable o mejor. Sin embargo, a pesar de las mejoras en los equipos y materiales, una construcción exitosa sólo puede lograrse si, en todos los aspectos de la construcción, participan profesionales calificados y dedicados. La calidad de un pavimento de concreto recién construido es el reflejo directo de la habilidad profesional.

La implementación de las mejores prácticas para la construcción de pavimentos de concreto para aeropuertos puede tener implicancias de costos, y éstos variarán de una región a otra debido a la disponibilidad de materiales locales de calidad para pavimento. En consecuencia, los propietarios de aeropuertos, los ingenieros proyectistas y los contratistas deben trabajar en conjunto para lograr un correcto equilibrio entre el costo del proyecto y el desempeño esperado del pavimento.

Se recomienda a los organismos aeroportuarios y contratistas implementar una revisión de las ***mejores prácticas constructivas*** por medio de un taller de capacitación de ½ día que se base en la información presentada en este manual. Dicho taller, que incorporará requisitos específicos del proyecto en cuestión, puede asegurar que todas las partes involucradas en el proyecto de construcción posean un entendimiento similar, y por ende, expectativas similares, de cómo lograr un proyecto exitoso.

1. INTRODUCCIÓN

El primer pavimento de concreto para uso en aeropuertos se construyó durante 1927 y 1928 en la Terminal Ford en Dearborn, estado de Michigan. Desde entonces, los pavimentos de concreto se han utilizado ampliamente para construir pistas, calles de rodaje y plataformas de estacionamiento en aeropuertos. Los procedimientos de diseño y construcción empleados en pavimentos de aeropuertos han evolucionado con la experiencia, la práctica, las pruebas de campo y la aplicación de las consideraciones teóricas. Los pavimentos de concreto poseen un largo y exitoso historial de uso en aeropuertos civiles y en aeródromos militares en Estados Unidos.

El transporte aéreo es una de las industrias clave de Estados Unidos. El alto costo de los cierres por mantenimiento y rehabilitación de pavimentos en los aeropuertos tiene un impacto significativo en las economías locales y regionales, además de las innecesarias demoras para los viajeros. Una preocupación similar existe en los aeródromos militares donde las condiciones operacionales óptimas pueden verse afectadas por pavimentos deficientes. Para que los pavimentos de aeropuertos den buenos resultados, es fundamental que estén diseñados y construidos con un alto grado de calidad. Un pavimento de concreto bien diseñado y construido resistirá las cargas anticipadas de aviones en las condiciones climáticas propias del lugar durante el período de tiempo deseado con actividades mínimas de mantenimiento y reparación.

El desempeño deseable de un pavimento de concreto puede obtenerse al asegurarse de que se minimicen los casos de deterioro que pueden desarrollarse. Los deterioros que pueden desarrollarse en pavimentos de concreto para aeropuertos incluyen los siguientes:

- Fisuración (en esquinas, longitudinal, transversal, relacionada con la durabilidad o los materiales)
- Relacionados con las juntas (desprendimiento, bombeo, daños en el sellado de juntas)
- Defectos en la superficie (descascarado, protuberancia, fisuración en bloque).

Para minimizar el desarrollo de deterioros en el pavimento de concreto se debe:

1. Seleccionar el espesor adecuado de pavimento
2. Proporcionar un adecuado soporte fundacional que incluya una base no erosionable y con drenaje libre.
3. Efectuar una adecuada distribución e instalación de las juntas
4. Diseñar e instalar una adecuada transferencia de carga en las juntas
5. Seleccionar componentes apropiados para el concreto
6. Asegurar una consolidación adecuada del concreto
7. Proporcionar una terminación correcta a la superficie del concreto
8. Mantener el sellador de juntas en buenas condiciones

Otro aspecto importante en la construcción de pavimentos de concreto es minimizar la probabilidad de deterioro temprano, que en general ocurre como fisuración y desprendimiento. Esto se logra mediante el uso de principios de diseño sólidos y mediante la implementación de técnicas constructivas adecuadas.

1.1 OBJETIVO

La información que aquí se presenta es un compendio de buenas prácticas de construcción e inspección que dan como resultado un desempeño prolongado del pavimento. Además de destacar las buenas prácticas de construcción, este manual también incluye un análisis de las prácticas que se sabe que originan un desempeño deficiente del pavimento. Dicho en términos sencillos, las buenas prácticas de construcción implican la aplicación sistemática del *know-how* colectivo derivado de años de experiencia de campo y de implementación del conocimiento técnico.

Este manual no trata directamente las cuestiones relacionadas con el diseño de pavimentos de concreto. Sin embargo, se hace hincapié en que los elementos de un diseño estructural y un diseño geométrico adecuados son críticos para un obtener un desempeño temprano exitoso y prolongado en pavimentos de concreto para aeropuertos. Sólo se alcanzarán pavimentos con resultados esperados cuando los buenos diseños se implementen a través de buenas prácticas de construcción.

1.2 ALCANCE

Este manual presenta prácticas de construcción que son aceptadas por la industria como prácticas que producen pavimentos de concreto de calidad. Específicamente, este manual abarca lo siguiente:

1. Documentación de las técnicas y prácticas constructivas adecuadas.
2. Análisis de las ventajas y desventajas de las técnicas o prácticas en los casos en que se dispone de más de un método.
3. Identificación de las prácticas que dan como resultado un desempeño prolongado de los pavimentos de concreto de cemento Pórtland para aeropuertos.
4. Identificación de las prácticas que dan como resultado fallas prematuras o tempranas y un desempeño deficiente a largo plazo; y análisis de cómo mitigar los problemas cuando efectivamente ocurren.
5. Análisis de los problemas que se presentan comúnmente para cumplir con las especificaciones del proyecto.

1.3 LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Este manual no constituye una guía de especificaciones para la construcción ni tampoco proporciona instrucciones detalladas para la realización de actividades específicas relacionadas con la construcción. No constituye una norma, especificación ni regulación. Este manual no debe usarse como sustituto de una especificación de proyecto.

Los requisitos específicos de los planes y especificaciones para un proyecto tienen prioridad ante el contenido de este manual.

1.4 CALIDAD EN PROYECTOS CONSTRUIDOS

Para la preparación de este manual, se partió de un supuesto fundamental: un pavimento de calidad tiene un buen desempeño. La calidad es una propiedad inherente de un pavimento bien construido. La calidad no es un tema de fallas o aciertos. Según lo define la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles (ASCE),

“La calidad nunca es un accidente. Siempre es el resultado de las mejores intenciones, una dirección inteligente y una ejecución calificada. Representa una sabia elección entre muchas alternativas”.

La construcción de calidad exige dedicación, desde la gerencia del proyecto hasta la ejecución por parte de la mano de obra. La gerencia, al igual que el personal de trabajo de campo, debe participar en el concepto de calidad de la construcción, no necesariamente porque sea obligatorio, sino porque esto constituye un enfoque correcto. Es necesario que el contratista ponga énfasis en el trabajo en equipo y la responsabilidad colectiva para la construcción de pavimentos duraderos.

Los buenos materiales y las buenas prácticas de construcción son vitales para producir pavimentos de concreto duraderos y de alta calidad para aeródromos. Aun cuando un pavimento esté diseñado con la más alta calidad, no tendrá un desempeño adecuado si no está construido correctamente. Un pavimento que está bien construido requiere menos mantenimiento y reparaciones con el transcurso del tiempo. Para lograrlo, es necesario que los requisitos y especificaciones de construcción estén correctamente definidos, que se puedan medir y que no sean arbitrarios. Las especificaciones del proyecto deben tener la suficiente flexibilidad para permitir innovaciones por parte del contratista.

2. CONSIDERACIÓN DE CUESTIONES DE DISEÑO

2.1 INTRODUCCIÓN

Los factores que afectan el desempeño prolongado de un pavimento para aeropuertos pueden dividirse en las siguientes categorías generales:

1. Diseño adecuado de la estructura del pavimento
2. Uso de materiales de calidad
3. Uso de procedimientos constructivos apropiados
4. Mantenimiento y reparaciones oportunos

Los aeropuertos de Estados Unidos son aeropuertos civiles o aeropuertos militares. Las pautas para el diseño de pavimentos en aeropuertos civiles se proporcionan en las Circulares Consultivas 150/5320-6D de la FAA: *Airport Pavement Design and Evaluation* y la 150/5320-16: *Airport Pavement Design for the Boeing 777 Airplane*. Los procedimientos de diseño para aeropuertos militares se describen en el Documento de Criterios de Instalaciones Unificados 3-260-02: *Pavement Design for Airfields*.

El proceso general de diseñar un pavimento de concreto en un aeropuerto incluye los siguientes pasos:

1. Investigación de suelo: Se hacen perforaciones del suelo para determinar las propiedades de los estratos subsuperficiales y obtener la profundidad hasta el agua del subsuelo. Se obtienen muestras de suelo para realizar ensayos de laboratorio y clasificación del suelo.
2. Evaluación del soporte de la subrasante en la rasante de diseño: La información obtenida de la investigación de suelo se usa para evaluar las condiciones de la subrasante en la rasante de diseño y por debajo de ella.
3. Diseño del tramo de pavimento: Se determinan el tipo de base apropiado (es decir, estabilizada o no estabilizada) y el espesor. Luego se emplea el procedimiento de diseño apropiado para obtener el espesor del pavimento de concreto de cemento Pórtland.
4. Selección de un plan de construcción de juntas: Se debe seleccionar un tamaño de losa y desarrollar un plan de construcción de juntas. Deben desarrollarse detalles apropiados de juntas longitudinales y transversales. También se requieren detalles adecuados para las juntas y losas de transición en las barras de unión a los pavimentos existentes.
5. Desarrollo de planes y especificaciones: Los detalles de diseño se expresan en planes y especificaciones.

BASE VERSUS SUBBASE:

Los vocablos base y subbase a menudo se usan para denominar a la capa directamente debajo de la losa de concreto. En el caso de este manual, base hace referencia a la capa inmediatamente debajo de la losa. Subbase hace referencia a la capa entre la base y la subrasante.

Las características de diseño críticas que influyen en el desempeño prolongado de los pavimentos de concreto son:

1. Uniformidad y estabilidad del soporte de la subrasante.
2. Uniformidad (tipo y espesor) de la base y la subbase, incluidas las provisiones de drenaje.
3. Espesor del pavimento.
4. Propiedades del concreto, según se especifique.
 - a. Uniformidad (capacidad del concreto para producir propiedades consistentes).
 - b. Trabajabilidad (capacidad del concreto para su colocación, consolidación y terminación).
 - c. Resistencia (capacidad del concreto para soportar el tránsito y las condiciones ambientales).
 - d. Durabilidad (capacidad del concreto para proporcionar un servicio de largo plazo).
5. Detalles de la construcción de juntas
 - a. Dimensiones de las losas.
 - b. Transferencia de carga en juntas.
 - c. Provisiones de sellado de juntas.

Para cada proyecto, el ingeniero proyectista establece los parámetros aceptables para cada una de las variables de diseño. Es así como luego se espera que, durante la construcción, la calidad del diseño se ajuste a lo esperado (en cuanto a las especificaciones) o sea aun mejor. Comúnmente, cuando diversas características marginales se incorporan a un pavimento en la construcción —ya sea debido a una falencia en el diseño o debido a una mala construcción o una combinación de ambos—, el pavimento presentará fallas prematuras o brindará un desempeño inferior a lo esperado en el largo plazo.

FUNCIÓN DEFINIDA DEL PAVIMENTO:

Una importante función del pavimento es brindar un servicio aceptable durante su vida de diseño con un bajo nivel de mantenimiento y rehabilitación (M y R). La función del pavimento para aeropuertos generalmente se define en relación con las características funcionales [lisura, seguridad, generador de objetos extraños (FOG), daño por objeto extraño (FOD) y estructurales (deterioro, respuesta estructural). Las características que afectan la función de un pavimento incluyen las siguientes:

1. Condición inicial: se atribuye directamente a las prácticas constructivas y a la calidad en la construcción.
2. Deterioro prematuro
 - a. Dentro de los 90 días aproximadamente luego de la colocación del concreto y que se debe principalmente a los materiales o las prácticas constructivas.
 - b. Dentro de los 3 a 5 años desde la apertura al tránsito, y puede deberse a características de diseño deficientes y propiedades marginales del pavimento conforme a obra.
3. Deterioro por fatiga: se desarrolla gradualmente durante un período de tiempo debido a la fatiga producida por cargas de aviones constantes y condiciones ambientales; se trata de deterioros que se anticipan. El deterioro por fatiga ocurre al final de la vida del pavimento.
4. Deterioro relacionado con la durabilidad: el deterioro puede desarrollarse debido al uso de materiales marginales (por ejemplo, reactividad sílice-álcalis, grietas por fallas en la durabilidad [*d-cracking*]).

Se presentan diversos ejemplos que ilustran el carácter crítico de distintas operaciones constructivas:

1. Granulometría: una granulometría adecuada es un elemento importante de la construcción. Una granulometría apropiada facilita el drenaje y la colocación de las sucesivas capas. En los capítulos 4, 5 y 6 se analizan los temas relacionados con la granulometría.
2. Construcción de juntas: se realiza la construcción de juntas para controlar la fisuración de las losas. Esto minimiza las probabilidades de que ocurra una fisuración aleatoria. La fisuración aleatoria es un tema de mantenimiento y puede afectar la capacidad de carga del pavimento. Un aserrado poco profundo de juntas y un aserrado tardío son algunas de las causas de la fisuración aleatoria. Si los pasadores están mal alineados o adheridos al concreto, las juntas no funcionarán y pueden desarrollarse fisuras aleatorias en paneles de losas adyacentes. Las prácticas de aserrado de juntas, transferencia de carga y sellado de juntas se analizan en el capítulo 9.
3. Calidad de la subrasante y de la subbase/base: si la compactación de la subrasante, subbase y base se encuentra comprometida, el pavimento puede curvarse demasiado bajo la carga de los aviones y pueden producirse fisuras de esquinas. Las prácticas de

- construcción de subrasante y base/subbase se tratan en los capítulos 4 y 5, respectivamente.
4. Resistencia del concreto: una baja resistencia del concreto dará como resultado una fisuración temprana por fatiga del pavimento. La resistencia a la flexión del concreto a los 28 días correspondiente a pavimentos para aeropuertos es, normalmente, de 42 a 53 kgf/cm² (4100 a 5200 kPa). Para construcción de habilitación temprana, estos niveles de resistencia pueden ser requeridos en una etapa más temprana. Las prácticas relacionadas con el concreto que incluyen requisitos de resistencia se analizan en los capítulos 6 y 7.
 5. Durabilidad del concreto: el concreto que no es duradero (debido a materiales reactivos o de mala calidad, un sistema deficiente de vacío por aire o a una terminación excesiva) puede deteriorarse prematuramente. Los temas relacionados con la durabilidad del concreto se analizan en los capítulos 7 y 8.
 6. Curado del concreto: el concreto que no ha curado adecuadamente puede deteriorarse prematuramente. Un concreto mal curado también puede derivar en un desprendimiento temprano. Las prácticas de curado del concreto se analizan en el capítulo 8.
 7. Facilidad de terminación del concreto: el concreto que tiene una terminación excesiva o requiere una excesiva manipulación para lograr facilidad de terminación se deteriorará prematuramente. Un concreto mal terminado puede dar como resultado una mala condición de la superficie. Las prácticas de terminación del concreto se analizan en el capítulo 8.
 8. Operación de la pavimentadora: la operación de la pavimentadora tiene un impacto significativo en la lisura y la calidad in situ del concreto. Las prácticas de operación de la pavimentadora se analizan en el capítulo 8.

CURVADO DE LOSAS:

Las losas de concreto se curvan y deforman. Las dimensiones de las losas por lo general las selecciona el ingeniero proyectista para minimizar los efectos de curvado y deformación. Sin embargo, si se produce un excesivo curvado y deformación prematuramente (por ejemplo, dentro de las 72 horas de la colocación del concreto), la resistencia del concreto en ese momento puede no ser suficiente como para evitar las fisuras. Esto es especialmente crítico para los pavimentos de concreto de menor espesor en aeropuertos de aviación general. El curvado y la deformación excesivos y prematuros pueden desarrollarse si una o más de las siguientes condiciones ocurre:

1. Las dimensiones de las losas son excesivas.
2. El curado no es adecuado o no se aplica en forma oportuna.
3. Grandes cambios de temperaturas ocurren dentro de las 72 horas aproximadamente de la colocación del concreto.
4. El concreto es susceptible a una contracción diferencial temprana.
5. El pavimento de concreto se construye sobre una base rígida.
6. La operación de aserrado de juntas se lleva a cabo fuera de la ventana de oportunidad.

Los pavimentos de concreto para aeropuertos en general son pavimentos de concreto simple con juntas. Muy pocos organismos especifican pavimentos de concreto con juntas que incorporen armadura continua o de acero para la pavimentación de producción. Este manual se centra en los pavimentos de concreto simple con juntas.

Los pavimentos de concreto para aeropuertos generalmente se diseñan sobre la base de cargas mixtas de aeronaves para proporcionar un servicio con bajo mantenimiento durante 20 a 30 años. Los pavimentos, en general pavimentos de concreto simple con juntas, se diseñan sobre la base de repeticiones de aeronaves durante el período de diseño. Para aeropuertos comerciales más grandes que reciben aeronaves de cabina ancha, el espesor del pavimento puede oscilar entre 40 y aproximadamente 50 cm (16" y aproximadamente 20") y el espaciado de juntas transversales puede oscilar entre 4,6 y 7,6 m (15 y 25 pies). El espaciado de juntas longitudinales puede oscilar entre 3,8 y 7,6 m (12,5 y 25 pies). Además, la mayoría de los proyectistas ahora especifican pasadores para las juntas de construcción longitudinal. Para los aeropuertos de aviación general, el espesor de las losas puede oscilar entre 12,5 y 30 cm (5 y 12") y el espaciado de juntas transversales y longitudinales puede oscilar entre 2,4 y 4,6 m (8 y 15 pies).

2.2 VARIABILIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN

El desempeño del pavimento se ve afectado significativamente por la variabilidad en las propiedades de las características clave del diseño. Si bien un cierto grado de variabilidad es inevitable, la variabilidad excesiva en el proceso constructivo puede conducir a un desempeño aleatorio de los pavimentos y generar un mayor costo para el contratista. La variabilidad en la construcción puede controlarse mediante un uso eficaz de los planes de gestión de la calidad.

2.3 RESUMEN

Un proyecto exitoso para un pavimento de concreto para aeropuertos depende de asegurarse de que el proceso de diseño (planes y especificaciones) haya sido optimizado y que se haya implementado la calidad en la construcción. El ingeniero proyectista necesita asegurarse de que los diseños del pavimento y las especificaciones constructivas asociadas sean prácticos, y que los requisitos de calidad sean alcanzables y necesarios. También es necesario que los métodos para medir los requisitos específicos estén claramente definidos. Por último, es recomendable que, en proyectos de mayor envergadura o en los cuales los plazos de tiempo sean un factor delicado, el ingeniero proyectista o su representante esté disponible en obra regularmente para resolver aquellos problemas de diseño que se puedan presentar durante el desarrollo del plano maestro y la construcción.

PAUTAS SOBRE LA VARIABILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN:

La variabilidad es una característica inherente a todos los procedimientos constructivos. Aunque comúnmente se supone que la variabilidad en los resultados de los ensayos indica materiales variables, la causa pueden ser otras fuentes de variabilidad. Las fuentes de la variabilidad en la construcción incluyen:

- Variabilidad en los materiales
- Variabilidad en los procesos
- Variabilidad en los ensayos (precisión y desvío).

Casi todas las fuentes de variabilidad tienen un impacto negativo sobre la propiedad que se está midiendo. Es importante que el ingeniero proyectista y el contratista comprendan la magnitud de sus diferentes fuentes e intenten reducir las magnitudes medias de variabilidad. A continuación se enumeran los niveles esperados de variabilidad en términos de desviación normal para algunas de las medidas importantes de construcción:

Propiedad	Valor bajo	Valor alto	Precisión del ensayo
Densidad de la subrasante (ensayo Proctor estándar), kg/m ³ (lb/pie ³)	16 (1)	48 (3)	ND
Densidad de la base/subbase (ensayo Proctor modificado), kg/m ³ (lb/pie ³)	16 (1)	48 (3)	ND
Espesor del concreto, cm (pulg.)	0,6 (0,25)	0,13 (0,50)	ND
Resistencia a la flexión del concreto, (kPa (concreto de 4.500 kPa), psi (concreto de 650 psi))	280 (40)	420 (60)	280 (SO) (40)
Resistencia a la compresión del concreto, (Mpa (concreto de 27 Mpa), psi (concreto de 4.000 psi))	2,1 (300)	3,4 (500)	0,7(SO) (100)
Aire atrapado en el concreto, % (concreto con 7% de aire atrapado)	0,50	1,00	0,28 (MO)
Lisura del pavimento (Perfilógrafo), mm (pulg.)	5 (0,2)	13 (0,5)	ND
Planeidad/regla, mm (pulg.)	5 (0,2)	8 (0,3)	ND

Nota: Los valores anteriores están basados sobre una amplia experiencia. Los niveles más altos de variabilidad pueden indicar que el proceso de construcción está fuera de control o que los procedimientos de ensayo son deficientes. Los valores de precisión se refieren a una desviación normal para un operador único (designado como SO) o para múltiples operadores (designados como MO).

3. ACTIVIDADES PREVIAS A LA CONSTRUCCIÓN

3.1 CUESTIONES DE LAS ESPECIFICACIONES PARA CONSTRUCCIÓN

El objetivo de las especificaciones para la construcción de pavimentos es brindar orientación y establecer los requisitos mínimos que, cuando se los cumple, permiten construir un pavimento de calidad. A continuación se describe una calidad buscada razonable para pavimentos de concreto para aeropuertos.

El pavimento de concreto para aeropuertos presentará las características de superficie deseables y una superficie sin generadores de objetos extraños (FOG) durante la vida útil del pavimento.

Los FOG son el resultado de los deterioros que pueden producirse en el pavimento de concreto. Un FOG que posteriormente puede derivar en un daño por objeto extraño (FOD) constituye un punto muy crítico para los pavimentos de aeropuertos. Sin embargo, buenas características de diseño, planes y especificaciones correctamente desarrollados y una construcción de calidad pueden garantizar la eliminación o minimización significativa del desarrollo de FOG (y FOD). Por lo tanto, es importante contar con especificaciones constructivas bien desarrolladas que definan claramente los requisitos que producen un desempeño prolongado del pavimento de concreto y que no incorporen requisitos arbitrarios.

3.1.1 Especificaciones para construcción civil (sector privado)

La mayoría de las obras de construcción de pavimento para aeropuertos civiles en Estados Unidos se ejecutan en conformidad con la Circular Consultiva de la FAA N° AC: 150/5370-10A: *Standards for Specifying Construction of Airports*. Los ítems comprendidos por la circular consultiva se relacionan con los materiales y métodos para el movimiento de suelos, el drenaje, la pavimentación, recubrimiento con suelo vegetal y sembrado de césped, iluminación y construcciones accesorias. Los proyectos de pavimentos financiados por el Programa Federal de Renovación de Aeropuertos (AIP) se elaboran, por lo general, de acuerdo con los requisitos incluidos en la circular consultiva en combinación con las necesidades específicas del proyecto y las prácticas locales y complementadas por ellas.

Los ítems significativos aplicables a la construcción de pavimentos de concreto para aeropuertos civiles se enumeran en la tabla 3.1. Estos ítems brindan orientación sobre lo siguiente, según corresponda:

1. Materiales (incluidos los Requisitos de composición y materiales)
2. Métodos de construcción
3. Método de medición (para conformidad con las especificaciones)
4. Base de pago
5. Requisitos de ensayos.

Este manual brinda orientación sobre la mejor manera de cumplir con los requisitos de las especificaciones de proyecto sobre la base de lo estipulado en la circular AC 150/5370-10A.

Cabe observar que varios organismos y oficinas regionales de la FAA modificarán lo estipulado en la AC: 150/5370-10A, específicamente en el Ítem P-501, a fin de elaborar especificaciones que traten cuestiones relacionadas con la disponibilidad local de materiales y asuntos regionales o geográficos. Los ingenieros proyectistas y los contratistas deben asegurarse de conocer las diferencias existentes entre una localidad y otra en cuanto a las especificaciones de proyecto implementadas.

Asimismo, los organismos aeroportuarios, como entidades, generalmente realizan ensayos para aceptación y no realizan ensayos de aseguramiento de la calidad (QA). El QA se usa para verificar el ensayo de control de calidad (QC) por parte del contratista.

Tabla 3.1 – Lista de ítems de la AC de la FAA: 150/5370-10A

Denominación	Ítem
Sección 100	Programa de control de calidad por parte del contratista
Sección 110	Método de estimación del porcentaje de materiales dentro de los límites de las especificaciones (PWL)
Ítem P-151	Limpieza y desmonte del terreno
Ítem P-152	Excavación y terraplenamiento
Ítem P-154	Subbase
Ítem P-155	Subrasante tratada con cal
Ítem P-208	Base de agregados
Ítem P-209	Base de agregados triturados
Ítem P-210	Base de caliche
Ítem P-211	Base de piedra caliza
Ítem P-212	Base de conchas
Ítem P-213	Base de arena-arcilla
Ítem P-301	Base de suelo de cemento
Ítem P-304	Base tratada con cemento
Ítem P-306	Subbase de econocreto
Ítem P-501	Pavimento de concreto de cemento Pórtland
Ítem P-605	Material de relleno para sellado de juntas

Nota: Los organismos pueden usar diferentes denominaciones para los ítems enumerados en la tabla.

3.1.2 Especificaciones para construcciones militares

La *Guide Specification for PCC Pavements for Airfields and Other Heavy Duty Pavements* (UFGS-02753) (Especificación guía para pavimentos de concreto de cemento Pórtland para aeródromos y otros pavimentos de servicio pesado), publicada durante 2003, reúne las especificaciones anteriores emitidas por cada división del Ejército. Las especificaciones son detalladas y abarcan todos los aspectos de la pavimentación con concreto, incluidas las cuestiones relacionadas con materiales y el diseño de la mezcla y las técnicas de construcción exigidas, y los requisitos de inspección. Las especificaciones en general son similares a las cláusulas de la circular consultiva de la FAA: AC 150/3750-10A. Sin embargo, existen diferencias entre los documentos militares y los de la FAA. Es importante que el encargado de

las especificaciones y el contratista revisen las especificaciones militares minuciosamente si no han trabajado en un proyecto militar o no poseen experiencia militar reciente.

3.2 PLANIFICACIÓN DE LA LOGÍSTICA DE CONSTRUCCIÓN

Un proyecto de construcción exitoso requiere que toda la logística esté planificada y que se preste atención hasta al más mínimo detalle. Los puntos clave a tomar en cuenta incluyen:

1. Asegurar el estado de preparación de todas las operaciones, incluido el control de rasante
2. Montaje de la planta de concreto y flujo de tránsito
3. Capacidad de la planta de concreto y velocidad de producción
4. Disponibilidad y factibilidad de uso de las calles de acarreo
5. Requisitos de seguridad y de acceso a obra
6. Disponibilidad del personal
7. Disponibilidad de equipos y materiales
8. Manejo del tránsito de construcción y del aeropuerto (tanto en aire como en tierra)
9. Necesidades de colocación del concreto (velocidad de colocación)
10. Estructuras embutidas en el pavimento
11. Adquisición de componentes eléctricos embutidos en el pavimento (afecta la construcción para habilitación temprana)
12. Requisitos de inspección y ensayos
13. Estado de preparación de subcontratistas (disponibilidad de personal y equipos)
14. Definición de las fases del proyecto, si corresponde
15. Laboratorio de ensayos en obra
16. Otras necesidades relacionadas específicamente con la pavimentación para habilitación temprana.

Todas las partes involucradas en el proyecto de construcción deben estar incluidas y formar parte de la red de comunicación. Incluso en aeropuertos más pequeños, la construcción del pavimento es un trabajo de equipo, el cual incluye a los operadores fijos. En el caso de aeropuertos comerciales, es necesario hacer participar a las aerolíneas inquilinas, incluidas las de carga.

3.3 CONSTRUCCIÓN PARA HABILITACIÓN TEMPRANA Y APERTURA DEL PAVIMENTO AL TRÁNSITO

En ocasiones, los proyectos de pavimentación deben llevarse a cabo en la modalidad de “habilitación temprana” debido a la necesidad de reabrir las instalaciones a las operaciones de las aeronaves lo antes posible. Los proyectos para habilitación temprana pueden implicar una nueva construcción o reconstrucción, o una refacción importante. La construcción para habilitación temprana suele involucrar muchas técnicas que acortan el tiempo de construcción. Estas técnicas incluyen desde incentivos o falta de incentivos al contratista hasta el empleo de materiales modificados como el concreto de alta resistencia temprana. La construcción para habilitación temprana requiere un alto grado de detalle en la planificación, la optimización de las

especificaciones constructivas y un trabajo en equipo entre todas las partes involucradas en el proyecto.

Los posibles cambios en las actividades del proyecto que tienen como fin reducir el tiempo de construcción del pavimento se enumeran en la tabla 3.2. La construcción para habilitación temprana puede suponer el empleo de concreto de alta resistencia temprana. Los temas específicos del diseño de la mezcla de concreto relacionados con la pavimentación para habilitación temprana se analizan en el capítulo 6.

3.3.1 Apertura del pavimento al tránsito

La mayoría de las especificaciones constructivas incluyen un requisito que define cuándo un pavimento de concreto puede abrirse al tránsito de construcción o al tránsito de aeronaves. Este requisito puede estar basado en el tiempo (por ejemplo, la cantidad de días luego de la colocación del concreto) o en la resistencia mínima. Generalmente, la mayoría de los organismos exigen que el pavimento no se abra al tránsito hasta que las muestras para ensayos colocadas en moldes y curadas en conformidad con la norma ASTM C 31 hayan alcanzado una resistencia a la flexión de 39 kgf/cm² (3800 kPa) cuando se las ensaya en conformidad con la norma ASTM C 78. Si no se efectúa el ensayo de flexión, entonces con frecuencia se usa la edad de 14 días.

Tabla 3.2 – Cambios en las actividades del proyecto para reducir el tiempo de construcción del pavimento (cortesía de ACPA)

Componente del proyecto	Posibles cambios
Planificación	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar una gestión de proyecto basada en la colaboración. • Considerar la construcción nocturna o programar cierres ampliados. • Permitir al contratista el uso de equipos o procedimientos novedosos para acelerar la construcción. • Especificar más de una mezcla de concreto para el desarrollo de resistencia variada. • Desarrollar tramos de diseño alternativos que incorporen una losa de mayor espesor y una base más fuerte sin requerir concreto de muy alta resistencia temprana. • Brindar opciones a los contratistas, en lugar de procedimientos detallados paso por paso. • Investigar el uso de incentivos y falta de incentivos para el plazo de finalización.
Materiales del concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar el uso de diferentes aditivos y materiales cementicios. • Usar granulometría controlada de agregados. • Mantener la relación agua-material cementicio por debajo de 0,43.

Construcción de juntas y sellado	<ul style="list-style-type: none"> • Considerar el uso de aserrado en concreto fresco con sierras ultralivianas. • Utilizar hojas de aserrado en seco. • Usar hojas para cortes escalonados para aserrado de juntas en una sola pasada. (Nota: esta práctica no está permitida en proyectos militares). • Utilizar un sellador compatible con alta humedad y que no sea sensible al estado de limpieza del reservorio.
Temperatura y curado del concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Especificar curado con manta para facilitar la ganancia en resistencia cuando las temperaturas ambiente sean algo bajas. • Realizar un seguimiento de la temperatura del concreto y entender la relación de la temperatura ambiente, de la subrasante y la mezcla sobre la ganancia en resistencia. • Elevar la temperatura del concreto antes de la colocación.
Ensayos de resistencia	<ul style="list-style-type: none"> • Emplear métodos no destructivos para complementar las vigas y probetas cilíndricas para los ensayos de resistencia. • Utilizar ensayos de maduración del concreto o pulso-velocidad para predecir la resistencia.
Criterios para la apertura	<ul style="list-style-type: none"> • Permitir el uso de criterios referentes a la resistencia del concreto sin restricciones en cuanto a la edad del concreto. • Canalizar las cargas iniciales de tráfico lejos de los bordes de la losa.

CUESTIONES RELACIONADAS CON LA APERTURA AL TRÁNSITO

La apertura de un pavimento al tránsito en general gira en torno del tránsito de construcción y no de aviones. Se recomienda considerar lo siguiente:

1. Desarrollar criterios específicos para equipos de construcción típicos para diferentes espesores de pavimento de concreto y para carga interior y en bordes. Por ejemplo, para grandes instalaciones militares o comerciales con espesor de pavimento de concreto de 400 mm (16”) o superior, el tránsito de construcción puede inducir resistencias a la flexión en el rango de 7 a 10,55 kgf/cm² (700 a 1000 kPa). Sin embargo, equipos de construcción similares pueden inducir resistencias mayores sobre pavimentos de menor espesor para aviación general o pavimentos que tienen 300 mm (12”) o menos de espesor.
2. Considerar equilibrios entre un requisito de mayor resistencia y espesor adicional para áreas críticas que requieren construcción para habilitación temprana. Desarrollar diseños alternativos para áreas de habilitación temprana —por ejemplo, una losa de mayor espesor y una base estabilizada con cemento sin mayor resistencia del concreto versus uso de una base bituminosa o una base granular y concreto de mayor resistencia.

Otra consideración para los niveles de resistencia a edad temprana es la perforación para la instalación de pasadores a lo largo de la cara de la junta longitudinal de las fajas piloto. Por lo general, la perforación no se inicia hasta que el concreto haya alcanzado la resistencia suficiente para reducir o eliminar las microfisuras y el desprendimiento excesivo alrededor de los orificios perforados.

3.4 REUNIONES PREVIAS A LA LICITACIÓN

Las reuniones previas a la licitación brindan al propietario una oportunidad para revisar los requisitos del proyecto con los contratistas que pueden llegar a tener un interés en presentar una oferta. Si bien las reuniones previas a la licitación tienden a ser, mayormente, una revisión de los asuntos contractuales y administrativos, es importante utilizarlas para destacar las modificaciones de las especificaciones guía implementadas en los planes y especificaciones. También deben tratarse las cuestiones referidas a la disponibilidad o el suministro de materiales críticos, el cronograma y los requisitos de ensayos específicos para aceptación. Se recomienda a los contratistas asistir a las reuniones previas a la licitación. Las actas de la reunión deben distribuirse a todos los licitadores potenciales (aquellos que han solicitado pliegos de licitación) ya sea que asistan o no. Los puntos a analizar relacionados con la pavimentación incluyen:

1. Jerarquía organizacional del propietario y el contratista
2. Cuestiones relativas a la ingeniería de valor
3. Descripción general del proyecto
 - a. Plan en fases
 - b. Criterios para la preparación de cronogramas, que incluyan a qué áreas se tiene acceso y cuándo

- c. Hitos del cronograma con incentivos o falta de incentivos
- d. Resolución de demoras previstas e imprevistas
- e. Ítems alternativos de la licitación
- f. Restricciones del acceso a obra y horarios de trabajo
- g. Ubicaciones de la planta y el área de concentración
- h. Secuencia de pavimentación para áreas de calles de rodaje que cruzan pistas
- i. Ubicaciones de acceso y egreso, ubicaciones de las calles de acarreo y control del tránsito de construcción
- j. Requisitos de QA, ensayos para aceptación y QC
- k. Ubicaciones de las conexiones de agua, teléfono y electricidad
- l. Emisión de los cambios en las especificaciones y el diseño
- m. Disposiciones para la protección de capas estabilizadas contra las heladas
- n. Cambios para habilitación temprana (losa de mayor espesor o base más endurecida versus mayor resistencia del concreto)
- o. Fisuración temprana, desprendimiento de juntas y asentamiento en los bordes (¿qué es aceptable?) Establecer pautas para las medidas correctivas
- p. Verificación y resolución de pasadores mal alineados
- q. Criterios para aceptación y requisitos de construcción de la faja de prueba

3.5 REUNIONES PREVIAS A LA ADJUDICACIÓN

Algunos organismos aeroportuarios mantienen una reunión previa a la adjudicación con el contratista seleccionado. Como parte de estas reuniones, el organismo aeroportuario puede realizar un relevamiento in situ de las instalaciones o proyectos anteriores del contratista. El relevamiento permite verificar los datos y declaraciones presentadas con los pliegos de licitación, y determinar si el contratista entiende y posee las aptitudes para cumplir adecuadamente con los requisitos del contrato.

Una reunión previa a la adjudicación también constituye una oportunidad para que el organismo aeroportuario y el contratista revisen los incisos del contrato. Basándose en las conversaciones con los representantes del propietario, el contratista tiene la oportunidad de retirar su oferta si se determina que ésta puede haber incluido una cotización errónea.

3.6 REUNIONES PREVIAS AL INICIO DE OBRA

El propietario mantendrá reuniones previas al inicio de obra para revisar los requisitos específicos del proyecto y la planificación del proyecto con el contratista seleccionado. El propietario debería repasar los siguientes puntos con el contratista:

1. Jerarquía para la resolución de problemas
2. Logística de la construcción
3. Lista de control de las cuestiones relativas a la disponibilidad y el suministro de materiales críticos
4. Especificaciones del proyecto

5. Aprobación de materiales
6. Cronograma
7. Requisitos de inspección y ensayos
8. Plan de gestión de la calidad (o control de calidad por parte del contratista).

Los ítems relacionados con el pavimento de concreto deben analizarse en las reuniones previas al inicio de obra, como tema a tratar por separado. La reunión previa al inicio de obra sobre la pavimentación con concreto representa la última oportunidad para tratar cuestiones relativas al proceso de pavimentación con concreto antes de que los equipos comiencen a moverse. Si los puntos se conversan con anticipación antes del inicio de la construcción, las partes podrán repasar los posibles problemas y preparar soluciones que sirvan para todos los involucrados en el proyecto. Las actas de las reuniones deben distribuirse a todas las partes. Los puntos a tratar en la reunión referente al pavimento se presentan en forma más detallada en el apéndice B.

En aquellos proyectos que impliquen más de 46.000 m² (50.000 yd²) de pavimentación con concreto, se recomienda llevar a cabo un taller de construcción de pavimentos de concreto de ½ día de duración utilizando este manual, y los planes y especificaciones particulares del proyecto. Quienes concurren a este taller pueden ser el personal clave perteneciente a la cuadrilla de campo del contratista, y de las plantillas de inspección y ensayos. Un taller de este tipo asegurará que todas las partes involucradas posean el mismo entendimiento de los requisitos del proyecto y que todas las partes estén comprometidas con un proyecto exitoso.

3.7 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN APTOS

Para la mayoría de las localidades, el Departamento de Transporte (DOT) de cada estado puede tener la información necesaria sobre los materiales aprobados para la construcción de pavimentos de concreto. Se recomienda consultar los registros de los DOT de cada estado para evaluar la certificación y el historial de desempeño. Las certificaciones de los DOT estatales, junto con otra documentación, pueden facilitar el proceso de revisión para la aprobación de materiales.

La disponibilidad y el costo de los materiales deben ser analizados por el ingeniero proyectista antes del llamado a licitación. Si se ha de proponer el uso de materiales alternativos en lugar de los especificados, el contratista necesita asegurarse de que se cumplan los requisitos de ensayos de la especificación. Los requisitos de ensayos para los agregados del concreto pueden tener períodos extensos de tiempo de demora y podrían surgir conflictos de programación si los materiales no se estipulan previamente en forma oportuna. Los tiempos de demora para los ensayos de agregados se analizan más adelante en este capítulo.

3.7.1 Evaluación de agregados locales

Los agregados finos y gruesos deben reunir los requisitos de la norma ASTM C 33. Los puntos clave son:

1. El tamaño máximo más grande que se ajusta a los requisitos para la colocación del concreto producirá el concreto de menor costo con la menor tendencia a desarrollar fisuras debido a efectos térmicos o a retracción autógena, plástica o por desecación.
2. El tamaño máximo no debe exceder un $\frac{1}{4}$ del espesor del pavimento o los 6,4 cm ($2\frac{1}{2}$ "), lo que sea menor.
3. En aquellas áreas donde se sabe que las grietas por fallas en la durabilidad en los pavimentos constituyen un problema, debería usarse un tamaño menor.
4. Los agregados no deben contener porcentajes mayores que lo especificado de los materiales nocivos enumerados en la ASTM C 33. Para obras militares, deben respetarse los límites para materiales nocivos enumerados en UFGS 02753A.

Reactividad sílice-álcalis

La reacción sílice-álcalis es una reacción química nociva entre los componentes silíceos reactivos en los agregados y el álcali en el cemento. El producto de esta reacción a menudo produce una considerable expansión y fisuración del concreto. La metodología para determinar tanto la susceptibilidad del agregado a la reactividad sílice-álcalis (ASR) como la efectividad de las medidas de mitigación se basa en la *Guide Specification for Concrete Subject to ASR* (1998) de la Asociación del Cemento Pórtland.

La mejor información disponible sobre la susceptibilidad de un agregado a la reacción sílice-álcalis es un historial del desempeño. Al evaluar el historial de servicio, deben determinarse los siguientes puntos:

1. ¿Son el contenido de cemento del concreto, el contenido de álcali del cemento y la relación agua-cemento (a/c) del concreto iguales o mayores que los propuestos?
2. ¿Tiene el concreto elaborado en obra al menos 15 años?
3. ¿Son las condiciones de exposición del concreto elaborado en obra al menos tan duras como las propuestas?
4. ¿Las puzolonas (de clase y contenido comparables) usadas en el concreto fueron consideradas para un registro histórico?
5. ¿Es el suministro actual del agregado representativo del que se utilizó?

Si no se dispone de un historial adecuado del desempeño en obra, tanto los agregados finos como los gruesos deben ser sometidos a los siguientes ensayos:

1. ASTM C 1260
 - Expansión media de la barra de mortero a los 14 días menor o igual que 0,10 por ciento: el agregado es aceptable y puede usarse para la producción de concreto.
 - Expansión media a los 14 días mayor que 0,10 por ciento: el agregado es sospechoso y se justifica la realización de ensayos adicionales antes de permitir su uso.
2. ASTM C 295 (para complementar los resultados de la ASTM C 1260)

- Para identificar y cuantificar los componentes minerales reactivos en el agregado. Los componentes reactivos incluyen cuarzo microcristalino o deformado, chert, ópalo y cristal volcánico natural en rocas volcánicas.
3. ASTM C 1293 (opcional; usado para verificar resultados de ASTM C 1260)
 - Un agregado que produce una expansión media al año superior al 0,04 por ciento es considerado potencialmente reactivo. Aunque el tiempo requerido para este ensayo en general lo haría poco práctico para su uso en un trabajo específico, algunos proveedores de agregados pueden suministrar resultados de ensayos específicos de sus agregados. Los proveedores deben demostrar que los resultados de los ensayos corresponden al agregado que actualmente se produce en su cantera.

En general no se emplea la norma ASTM C 227 debido a que no se la considera un ensayo fiable. El ensayo puede pasar agregados que son reactivos.

Si se demuestra que el agregado es potencialmente reactivo por medio de ASTM C 295, ASTM C 1260, ASTM C 1293 o por el desempeño anterior en obra, aun así se puede usar siempre que se considere una medida apropiada de mitigación. Entre las posibles medidas de mitigación podemos mencionar:

1. Uso de ceniza volátil con bajo contenido de calcio (normalmente Clase F), escoria, humo de sílice o puzolana natural en combinación con cemento Pórtland. El material cementicio complementario puede agregarse por separado o incluirse como componente de cemento mezclado.
2. Uso de cementos mezclados en combinación con material cementicio complementario adicional del mismo tipo o diferente. (Nota: para los proyectos militares, el uso de cemento mezclado no está permitido como mitigación para la ASR debido a la preocupante variabilidad vinculada con el uso de ceniza volátil).
3. Uso de cemento con bajo contenido de álcali. Estos cementos no siempre resultan eficaces para controlar la reacción sílice-álcalis. Algunos agregados reactivos aún así presentan demasiada expansión incluso cuando se los utiliza con cemento de bajo contenido de álcali.
4. Uso de nitrato de litio como aditivo. Se trata de una técnica nueva y aún no se encuentran disponibles datos de desempeño que permitan evaluar la relación entre el costo y la eficacia de esta técnica.

Se sugiere especificar, y por ende ensayar, varias combinaciones de materiales cementicios a fin de permitir al contratista toda la flexibilidad que sea posible para cumplir con los demás requisitos del proyecto. Cualquier combinación que produzca una expansión media a los 14 días del 0,10 por ciento o menos cuando se ensaye de acuerdo con ASTM C 1260 puede considerarse un método aceptable para controlar la expansión generada por la ASR. El cemento utilizado para el ensayo debe ser del mismo tipo y marca de aquel que se usará en el proyecto.

Grietas por fallas en la durabilidad (*d-cracking*)

Grietas por fallas en la durabilidad, o *d-cracking*, es la denominación que se utiliza para describir el deterioro en el concreto que se origina por la desintegración de los agregados gruesos luego de haberse saturado y de haber sido sometidos a ciclos repetidos de congelación y descongelación. Para los pavimentos que estarán sometidos a condiciones de congelación en servicio, el agregado que es susceptible a este tipo de agrietamiento debe ser rechazado o reducido de manera que se eliminen las partículas de tamaño susceptible. Generalmente, éstas son las partículas más grandes.

La mayoría de los tipos de piedras asociadas con grietas por fallas en la durabilidad son de origen sedimentario. Si se desconoce el historial de desempeño de un agregado propuesto y el pavimento será sometido a numerosos ciclos de congelación durante una temporada, el agregado debe ser ensayado. Pueden considerarse los siguientes ensayos:

1. ASTM C 666 (ya sea Procedimiento A o Procedimiento B). Este método ensaya la durabilidad del concreto sometido a ciclos de congelación y descongelación en condiciones que probablemente saturan el concreto. Las modificaciones para el objetivo de ensayar agregados para detectar grietas por falla en la durabilidad incluyen aumentar el número de ciclos a 350 y calcular el índice de durabilidad a partir de la expansión de las muestras.

TIEMPO DE DEMORA REQUERIDO PARA ENSAYOS DE ASR Y CONGELACIÓN-DESCONGELACIÓN

ASTM C 1260: 16 días para el ensayo.

ASTM C 1293: 1 año para ensayar el agregado en busca de una posible reactividad; 2 años para ensayar la eficacia de las medidas de mitigación.

ASTM C 666: 2 a 3 meses.

Notas:

1. Generalmente, se dispone de un tiempo de demora de alrededor de 60 días desde la adjudicación del contrato hasta el inicio de obra, por lo tanto la aprobación de los agregados debe realizarse dentro de ese lapso o antes de la adjudicación.
2. Los ingenieros proyectistas deben especificar la norma ASTM C 1260 si se requiere ensayo de ASR. Los ingenieros proyectistas también deben hacer hincapié en los requisitos en materia de tiempo de ensayo si se necesitan ensayos para la calificación de agregados.
3. ASTM C 1260 puede usarse para ensayar la eficacia de las medidas de mitigación, según se describe en este manual. Varias combinaciones de materiales cementicios pueden ensayarse simultáneamente a fin de ahorrar tiempo y otorgar flexibilidad para el cumplimiento de los demás requisitos del trabajo.

2. Ensayo de índice de porosidad de Iowa. Se sella el agregado en el recipiente del medidor de aire ASTM C 231. Se agrega agua hasta un determinado nivel en el tubo transparente en la parte superior del recipiente. Luego se aplica presión de aire para hacer ingresar el agua en los poros del agregado. La disminución en el volumen se denomina índice de porosidad. Un índice de porosidad alto indica un agregado no duradero.

3.7.2 Disponibilidad y certificación de materiales cementicios

Materiales cementicios

Los cementos deben ajustarse a una de las siguientes normas ASTM:

1. ASTM C 150 (cemento Pórtland)
2. ASTM C 595 (cemento mezclado)
3. ASTM C 1157 (cemento hidráulico).

La norma ASTM C 150 especifica cinco tipos de cemento, de los cuales no todos están disponibles en todas las regiones de Estados Unidos y Canadá. Los tipos de cemento son:

1. El Tipo I, el más fácil de conseguir, se usa cuando no se requieren las propiedades especiales de los demás tipos.
2. El Tipo II se destina a uso general, pero en particular cuando se requiere resistencia moderada a los sulfatos o calor moderado de hidratación. Algunos cementos reúnen los requisitos correspondientes a ambos tipos y se denominan Tipo I/II.
3. El cemento Tipo III se usa para obtener alta resistencia temprana.
4. El Tipo IV se usa cuando se requiere bajo calor de hidratación.
5. El Tipo V se usa para obtener alta resistencia a los sulfatos.

La ASTM C 150 también especifica requisitos químicos opcionales, como límites en el contenido máximo de álcalis, y requisitos físicos opcionales, como el calor de hidratación. Es necesario especificar estos requisitos con criterio, dado que a menudo aumentan los costos o restringen las opciones disponibles. Con frecuencia existen alternativas igualmente aceptables o incluso preferibles. Por ejemplo, las expansiones nocivas producidas por una reacción sílice-álcalis pueden controlarse mediante una combinación de cemento con ceniza volátil Clase F y/o escoria igual o mejor que mediante cemento de bajo contenido de álcalis. En general no se aconseja especificar un límite máximo para el contenido de álcalis del cemento. Quizá esto no sea suficiente para controlar las expansiones nocivas. En algunos casos, un mayor contenido de álcalis puede resultar recomendable para aumentar la velocidad de hidratación durante tiempo fresco o cuando se están utilizando materiales cementicios complementarios.

La resistencia a los sulfatos puede obtenerse mediante el uso de cantidades suficientes de escoria o de una ceniza volátil apropiada al igual que (o mejor que) un cemento de Tipo II o Tipo V. El calor de hidratación puede reducirse mediante el uso de alguna combinación de escoria, ceniza volátil Clase F y/o puzolana natural con cemento Pórtland. Si el cemento será usado solo (es decir, sin materiales cementicios complementarios), puede ser aconsejable especificar el

requisito opcional de fraguado falso. Sin embargo, las características de fraguado deben evaluarse sobre el concreto.

La norma ASTM C 595 especifica los cementos mezclados de la siguiente manera:

1. El cemento Tipo IS contiene un 25 a 70 por ciento de escoria de alto horno.
2. Los cementos de Tipos IP y P contienen entre un 15 y un 40 por ciento de puzolana (ceniza volátil o puzolana natural). El cemento Tipo P se usa cuando no se requieren resistencias más altas en edades tempranas.
3. El cemento de Tipo I (PM) contiene menos del 15 por ciento de puzolana.
4. El cemento de Tipo I (SM) contiene menos del 25 por ciento de escoria.
5. Los Tipos I (PM) y I (SM) no deberían usarse cuando se desean las propiedades especiales conferidas por la puzolana o la escoria, respectivamente, ya que dichos tipos no contienen cantidades suficientes para producir estas propiedades.
6. El cemento Tipo S contiene al menos un 70 por ciento de escoria y no produciría las resistencias requeridas para pavimentos a menos que se combine con cemento Pórtland.

SUMINISTRO DE MATERIALES DURANTE TEMPORADA PICO DE LA CONSTRUCCIÓN:

Deben asegurarse los suministros de cemento para garantizar el abastecimiento durante la temporada pico de construcción. Si se cambia la fuente de cemento, se requieren otro diseño de mezcla y ensayos de compatibilidad adicionales.

Entre las combinaciones problemáticas se cuentan los cementos con contenidos relativamente bajos de sulfato y con sulfatos disponibles sólo en formas que no son fácilmente solubles. Si bien estos cementos pueden desempeñarse satisfactoriamente solos, pueden presentar una propensión al endurecimiento temprano si se los usa con aditivos reductores de agua que contienen lignosulfonatos o trietanolamina. Las combinaciones de estos cementos con cenizas volátiles Clase C que contengan altos contenidos de alúmina también pueden originar un endurecimiento temprano. En tiempo caluroso, estos efectos son más pronunciados.

Es recomendable precalificar los diseños de mezclas usando diferentes materiales cementicios de manera que, si es necesario realizar una sustitución, los datos del diseño de mezcla ya estén disponibles y los materiales nuevos puedan ser ubicados sin demora.

Todos los cementos denominados Tipo I según la norma ASTM C 595 poseen requisitos de resistencia a edades tempranas comparables a los especificados por la ASTM C 150 para el cemento Tipo I. Sin embargo, las resistencias reales en edades tempranas suelen ser algo menores debido a que la escoria y las puzolanas incluidas en los cementos mezclados reaccionan más lentamente que el cemento solo. Los cementos mezclados están disponibles en muchas partes de Estados Unidos.

La norma ASTM C 1157 es una norma de desempeño que incluye seis tipos de cemento Pórtland y cemento mezclado, a saber:

1. El Tipo GU se destina para uso general.
2. El Tipo HE se usa si se desea alta resistencia en edad temprana.
3. El Tipo MS se usa si se desea resistencia moderada a los sulfatos.
4. El Tipo HS se usa si se desea alta resistencia a los sulfatos.
5. El Tipo MH se usa para obtener calor moderado de hidratación.
6. El Tipo LH se usa para obtener bajo calor de hidratación.

Los materiales cementicios complementarios ofrecen el potencial de lograr un mejor desempeño del concreto o un menor costo. Brindan algunos beneficios a un menor costo y, en algunos casos, con mayor eficacia que la adecuada elección de cemento ASTM C 150. Los beneficios incluyen:

1. Control de expansiones producidas por reacción sílice-álcalis.
2. Resistencia a los sulfatos.
3. Menos calor de hidratación.

Puzolanas

Las cenizas volátiles y las puzolanas naturales deben cumplir los requisitos de la norma ASTM C 618. Sin embargo, se debe tener cuidado al implementar esta norma, ya que es bastante amplia. La ceniza volátil Clase F es la opción preferida para controlar la reactividad sílice-álcalis y, además, brinda resistencia a los sulfatos.

Los puntos clave relacionados con el uso de puzolana son:

1. Las dosis típicas para la ceniza volátil Clase F generalmente serían del 15 al 25 por ciento por masa de materiales cementicios. Se debe evaluar en las fuentes las tasas típicas de uso.
2. En tiempo fresco, el concreto con ceniza volátil Clase F probablemente no gane resistencia lo suficientemente rápido como para permitir el aserrado de juntas antes de que comiencen a formarse fisuras de retracción.
3. Algunas cenizas volátiles Clase C se desempeñan muy bien, mientras que otras han resultado problemáticas. Las fuentes deben evaluarse en forma independiente.
4. Si la ceniza volátil se ha de usar para controlar las expansiones producidas por la reactividad sílice-álcalis, cuanto más bajo sea el contenido de CaO más efectiva será ésta. Lo ideal es que el contenido de CaO no exceda el 8 por ciento. Los requisitos de dosificación y eficacia de la ceniza volátil deben verificarse mediante ensayos.
5. Las cenizas volátiles Clase C con altos contenidos de Al_2O_3 pueden ocasionar problemas con el endurecimiento prematuro, en especial en tiempo caluroso.
6. Las puzolanas naturales se consiguen como componentes de cemento Tipo IP o como aditivos. Pueden resultar eficaces para controlar las expansiones producidas por la reacción sílice-álcalis y para reducir el calor de hidratación.

Escorias

Las escorias granuladas de alto horno molidas fino (GGBFS) deben reunir los requisitos de la norma ASTM C 989. Los siguientes tres grados se basan en su índice de actividad:

1. Grado 80: es el menos reactivo y en general no se usa para proyectos en aeropuertos.
2. Grado 100: es moderadamente reactivo.
3. Grado 120: es el más reactivo, pero la diferencia se obtiene principalmente con un molido más fino. En algunas regiones de EE.UU. y Canadá suele ser difícil obtener el Grado 120.

Las dosis típicas de escoria serían del 25 al 50 por ciento de los materiales cementicios. Es necesario observar que la resistencia del concreto en edades tempranas (hasta 28 días) puede presentar una tendencia a ser menor cuando se usan combinaciones escoria-cemento, especialmente en bajas temperaturas o con altos porcentajes de escoria. Las propiedades deseadas del concreto deben establecerse teniendo en cuenta la importancia de las resistencias tempranas; las temperaturas de curado; y las propiedades de la escoria, el cemento y otros materiales del concreto.

3.7.3 Disponibilidad y certificación de aditivos y compuestos de curado

Aditivos

Los aditivos químicos son ingredientes que se usan comúnmente en concretos de pavimentación y su uso ya está establecido. Se usan para obtener o mejorar las propiedades específicas del concreto. Deben observarse los siguientes usos y prácticas relacionados con aditivos químicos:

1. Para concretos con múltiples aditivos, se deben comprar todos los aditivos al mismo fabricante. Los grandes fabricantes ensayan sus propios aditivos para detectar incompatibilidades y otras interacciones y pueden brindar útiles consejos para evitar reacciones no deseadas.
2. No todos los aditivos funcionan bien en todas las aplicaciones. Por ejemplo, los asentamientos bajos típicos del concreto de pavimentación hacen que ciertos aditivos para aire ocluido resulten menos eficaces.
3. Se recomienda al contratista solicitar el asesoramiento del fabricante sobre el modo de aplicación y uso de aditivos. Los requisitos para la elaboración, los procedimientos de mezclado y las dosis recomendadas deben solicitarse al fabricante. Las dosis exactas para el diseño de la mezcla de concreto en particular deben determinarse mediante el uso de pastones de prueba.
4. La temperatura de colocación afecta las dosis requeridas de aditivos químicos. Los pastones de prueba deben ser preparados en consecuencia.
5. Los aditivos nunca se usan para compensar las mezclas marginales de concreto. El encargado de las especificaciones y el contratista deben considerar si realizar ajustes en el diseño de la mezcla de concreto sería preferible a utilizar aditivos. Por ejemplo, los efectos de los aditivos acelerantes y retardantes pueden obtenerse regulando la cantidad y la composición de los materiales cementicios en la mezcla.
6. Los aditivos químicos deben reunir los requisitos de las normas ASTM C 260 o ASTM C 494. La norma ASTM C 260 especifica los requisitos para los aditivos para aire ocluido. Los tipos de aditivos especificados por la ASTM C 494 incluyen:
 - a. Tipo A, aditivos reductores de agua
 - b. Tipo B, aditivos retardantes

- c. Tipo C, aditivos acelerantes
 - d. Tipo D, aditivos reductores de agua y retardantes
 - e. Tipo E, aditivos reductores de agua y acelerantes
 - f. Tipo F, aditivos reductores de agua, de alto rango
 - g. Tipo G, aditivos reductores de agua, de alto rango y retardantes
7. Los aditivos deben añadirse al concreto por separado. No deben incorporarse directamente sobre el agregado seco o en el cemento seco, ya que pueden ser absorbidos y no estar disponibles para mezclarse fácilmente con el concreto
 8. Consultar con el fabricante para obtener información sobre posibles interacciones entre los aditivos.
 9. Algunos reductores de agua pueden retardar el fraguado o la ganancia en resistencia cuando se utilizan en dosis mayores.

Los aditivos para aire ocluido arrastran un sistema de burbujas de aire finamente divididas en la pasta de cemento. Constituyen una protección esencial para cualquier concreto que estará expuesto a la congelación, ya que brindan conductos de salidas para que el agua congelable se expanda y así no altere la estructura interna del concreto. Los aditivos para aire ocluido pueden usarse para mejorar la trabajabilidad del concreto fresco. Reducen la demanda de agua, la exudación y la segregación.

La elección de un aditivo debe ser adecuada para su uso en pavimentos; algunos aditivos sólo se usan en concretos con asentamientos permitidos mayores que los típicos para pavimentos de aeródromos.

PÉRDIDA DE RESISTENCIA CON CRECIENTE CONTENIDO DE AIRE:

Es de amplio conocimiento y está documentado que un mayor contenido de aire en el concreto produce una reducción en la resistencia. Si el contenido de aire del concreto de producción es mayor que el indicado en el diseño de mezcla aprobado, puede llegar a reducir la resistencia del concreto colocado y de las muestras de resistencia. Generalmente, un aumento de 1 por ciento en el aire puede significar una pérdida de alrededor del 5 por ciento en la resistencia a la compresión.

Los aditivos acelerantes se clasifican en Tipo C y Tipo E según la ASTM C 494. Aceleran el fraguado o la ganancia en resistencia temprana del concreto. Normalmente suelen usarse únicamente en tiempo frío o para reparaciones cuando la reducción de una o dos horas en el tiempo de fraguado es importante. También se usan cuando se requiere un cierto aumento en la resistencia temprana. Si durante el transcurso del trabajo se necesita cualquiera de estas propiedades, es preferible diseñar el concreto en consecuencia en lugar de confiar en los aditivos acelerantes.

Los aditivos acelerantes afectan principalmente el tiempo de fraguado, la evolución de calor y el desarrollo de resistencia. La resistencia en edades posteriores puede disminuir, y en ambientes agresivos la durabilidad también puede verse afectada negativamente. Entre los medios alternativos para obtener desarrollo de resistencia temprana se encuentran:

1. Uso de cemento Tipo III
2. Mayores contenidos de cemento
3. Calentamiento del agua o los agregados
4. Mejoramiento del curado y la protección
5. Alguna combinación de los puntos anteriores

Los aditivos retardantes demoran los tiempos de fraguado iniciales y finales. Sin embargo, no reducen la velocidad de pérdida de asentamiento. Afectan la velocidad de ganancia de resistencia en sólo 1 o 2 días, o hasta en 7 días, según cuál sea la dosis. Pueden usarse en tiempo caluroso, cuando los tiempos prolongados de acarreo son inevitables o para prevenir la formación de juntas frías. Los cambios en la temperatura pueden requerir ajustes en la dosis del aditivo para mantener el tiempo de fraguado deseado. En tiempo caluroso, la dosis puede aumentarse hasta el punto donde ocurre un retardo excesivo. En algunos casos, esto ha ocasionado la fisuración del pavimento debido a que el concreto comenzó a agrietarse por la desecación antes de que hubiera ganado la resistencia suficiente para que se pudieran aserrar las juntas.

Los aditivos reductores de agua (ASTM C 494 - Tipos A, D y E) pueden usarse para obtener lo siguiente:

1. Reducir la relación agua-cemento en un determinado grado de trabajabilidad.
2. Aumentar la trabajabilidad para un determinado contenido de agua.
3. Reducir los contenidos de agua y cemento correspondientes a una determinada trabajabilidad.

En dosis más altas, algunos aditivos reductores de agua Tipo A actúan como aditivos del Tipo D (reductores de agua y retardantes) Grandes cantidades de aditivos reductores de agua pueden originar un retardo excesivo. La velocidad de pérdida de asentamiento puede aumentarse cuando se usan aditivos reductores de agua. Algunos de estos aditivos mejoran la eficacia de los aditivos para aire ocluido de manera tal que una dosis menor logra el contenido de aire requerido. Los reductores de agua de alto rango en general no se usan en concretos para pavimentos.

Compuestos de curado

Los compuestos de curado (compuestos líquidos formadores de membrana) deben ajustarse a los requisitos de las normas ASTM C 309 y ASTM C 1315 (o CRD 300 en el caso de proyectos militares), según corresponda. La ASTM C 156 especifica un método para determinar la eficiencia de los compuestos de curado, papel a prueba de agua y láminas plásticas. Los compuestos de curado, aplicados correctamente, deben tener las siguientes propiedades:

1. Debe mantener la humedad relativa de la superficie de concreto por encima del 80 por ciento durante 7 días.
2. Debe ser uniforme y mantenerse fácilmente en una solución mezclada completamente.
3. No debe combarse, escurrirse ni acumularse en las estrías.
4. No debe formar una película dura para soportar el tránsito temprano de construcción.

Los compuestos de curado pigmentados se recomiendan porque facilitan la verificación de la aplicación correcta. Para colocación de concreto en días soleados y en tiempo caluroso, el compuesto de curado debe contener un pigmento blanco para que refleje el calor solar.

3.8 ESPECIFICACIÓN DE LOS REQUISITOS DEL PLAN DE GESTIÓN DE CALIDAD (QMP) Y DEL CONTROL DE CALIDAD POR PARTE DEL CONTRATISTA (CQC)

En esta sección se analiza el desarrollo de las especificaciones del control de calidad o gestión de calidad por parte del contratista (QMP/CQC). En una sección complementaria (capítulo 10), se presenta un análisis de la implementación de los requisitos de QMP/CQC específicos del proyecto.

3.8.1 Definiciones básicas de QMP/CQC

Aseguramiento de la Calidad (QA): comprende todas las acciones necesarias para brindar un nivel razonable de confianza en que el producto final cumplirá con el propósito del organismo patrocinante desde una perspectiva de mantenimiento y factibilidad de uso. El QA generalmente hace referencia a las funciones y responsabilidades del propietario u organismo patrocinante. El objetivo del programa de QA es verificar que los resultados obtenidos con el plan de QC del contratista sean verdaderamente representativos del material que se coloca y que el contratista esté “haciendo bien las cosas”. Si se emplea el proceso de QA, los representantes del propietario deben elaborar un plan de QA por escrito y distribuirlo a todo el personal del proyecto, incluido el contratista.

Control de Calidad (QC): el QC del contratista, que a veces se lo llama control del proceso, generalmente hace referencia a las funciones y responsabilidades del contratista. El objetivo del programa de QC es proporcionar ensayos, monitoreos y presentación de informes para documentar en forma adecuada que las tareas contratadas se están efectuando conforme a las especificaciones del proyecto y para permitir al contratista hacer ajustes oportunos en el proceso de construcción. El contratista debe elaborar un plan de QC por escrito que se encuentre disponible para su revisión y que esté aprobado por el propietario.

Ensayos para aceptación: describe aquellos ensayos que se llevan a cabo para determinar el grado de cumplimiento con los requisitos contractuales y, por lo general, están vinculados con los ítems de pagos. Los ensayos para aceptación pueden formar parte del plan de QA o de QC, o de ambos. Por ejemplo, el QC puede ser responsable de la confección y el curado en obra de muestras para ensayos de resistencia del concreto pero el QA se encarga del transporte, el curado en laboratorio y los ensayos. Todas las responsabilidades y los procedimientos para los ensayos de aceptación deben estar claramente definidos antes de comenzar cualquier trabajo.

Cuando el contratista tiene a su cargo los ensayos para aceptación, se hace referencia al proceso como control de calidad por parte del contratista (CQC). El proceso de CQC se usa en forma rutinaria para los proyectos de construcción militar. Para los proyectos de construcción en

aeropuertos civiles, los ensayos para aceptación en general los realiza el propietario, y éste puede, o no, efectuar ensayos de QA.

3.8.2 Aspectos generales

Los puntos importantes relacionados con la construcción de calidad de pavimentos de concreto para aeropuertos incluyen:

- Capacitación y certificación (generalmente certificación ACI) del personal a cargo de los ensayos
- Certificación del laboratorio de ensayos (según la norma ASTM C 1077)
- Certificación de la planta
- Certificación del operador de planta
- Calibración de los equipos para ensayos (calibración de la máquina para ensayos de resistencia a la flexión, etc.)
- Función del QA/Aceptación o verificación/Resolución de conflictos entre los resultados del control de QA y QC
- Uso de diagramas de control por parte de los contratistas
- Desarrollo de un Plan de Gestión de Calidad (QMP) (o Plan de CQC para proyectos militares)
- Gestión de los datos de QMP/CQC
- Revisión y procesamiento oportunos de los datos de QMP/CQC
- Capacidad del equipo de obra para tomar decisiones con celeridad ante los cambios en las condiciones del proyecto.

3.8.3 Plan de Gestión de Calidad

Una de las actividades más importantes de un proyecto de construcción de pavimentos de concreto en aeropuertos es el desarrollo de un plan integral de QMP o CQC por parte del contratista. Es necesario que se implemente y se respete el Plan de QMP/CQC durante todo el curso del proyecto de construcción. Los componentes de un Plan de QMP/CQC eficaz son los siguientes:

1. Introducción
 - Descripción del proyecto
 - Información de contacto clave (contratista, propietario y representante del propietario)
 - Aspectos destacados de los planes y especificaciones del contrato
2. Objetivo del QMP
3. Diagrama de la organización: delineación en forma clara del flujo de responsabilidad en forma completa hasta los más altos cargos directivos.
 - Funciones del QMP (laboratorio de ensayos, contratista, etc.)
 - Personal de proyecto
4. Tareas y responsabilidades
 - Gerente de QC

- Administrador de QA o Ensayos para Aceptación, según corresponda
 - Ingenieros de proyecto
 - Técnicos/Inspectores
5. Inspecciones (relacionadas con la pavimentación). (Incluyen ensayos requeridos y criterios de frecuencia y aceptación)
 - Inspecciones de materiales
 - Inspección de excavaciones y terraplenamiento
 - Inspección de la pavimentación con concreto
 - Demolición del pavimento existente
 6. Cronogramas de prueba de QC/Planes de ensayos
 - Envíos de informes
 7. Informes de falencias
 8. Solución de problemas
 9. Cambios en el QMP/ítems complementarios
 10. Formulario de acuerdo de colocación
 11. Apéndices (según sea necesario).

COLABORACIÓN QMP/CQC:

Una reunión conjunta entre representantes del QC y el QA (o Ensayos para Aceptación) antes de comenzar la construcción permitirá solucionar problemas e identificar vacíos en el proceso de inspección antes del inicio de obra.

Los Planes de QMP/CQC deben estar redactados en forma clara para minimizar las posibilidades de malentendidos. Los planes también deben revisarse para detectar ambigüedad con respecto a lugares de muestreo, cantidad de ensayos, procedimientos de ensayos, disposiciones especiales y límites de aceptación. Es importante que las copias de todos los procedimientos de ensayos mencionados en los planes estén fácilmente disponibles en obra o en el lugar de ensayos del proyecto.

Los siguientes son algunos de los puntos que deberían revisarse para los Planes de QMP/CQC:

- ¿Ya se han analizado todos los ensayos requeridos?
- ¿Se han incluido referencias a las normas correspondientes a cada ensayo?
- ¿Están todos los requisitos de ensayos claramente definidos y entendidos?
- ¿Están todos los procedimientos claramente definidos?
- ¿Qué ítems se ensayarán?
- ¿Qué medidas se tomarán cuando los resultados de un ensayo sean inadmisibles o se encuentren fuera de los límites de suspensión o de acción del proyecto?
- ¿Cuáles son los procedimientos de documentación y los plazos?
- ¿Cómo y a quién se deben informar los resultados de los ensayos?
- ¿Cómo se manejarán los resultados insatisfactorios de los ensayos?
- ¿El plan de pavimentación contempla las actividades de construcción en tiempo frío y caluroso?
- Si se prevé construcción nocturna, ¿el plan contempla adecuadamente los procedimientos para el uso y colocación de plantas iluminadoras portátiles?
- ¿Incluye el plan la cadena de mando para la toma de decisiones?

La gerencia de cada organización debe apoyar completamente el proceso de QMP/CQC. Sin el apoyo de la gerencia, los plazos de entrega urgentes y las presiones externas pueden dominar las actividades del proyecto, y la inspección y los ensayos de QMP/CQC podrían verse perjudicados. En el apéndice C se presenta una lista de control de inspección y ensayos.

3.8.4 Responsabilidades de los ensayos de QA (o para aceptación) del organismo o QC del contratista

Los contratistas y los inspectores deben conocer los requisitos de ensayos y cómo se utilizarán los resultados de los ensayos. Es frecuente que los ensayos del propietario se usen para aceptación y ajustes del pago mientras que los resultados de los ensayos del contratista se usen para el control del proceso. Esto puede crear situaciones conflictivas. Las probabilidades de conflictos entre el QA, Ensayos para Aceptación y QC pueden minimizarse mediante comunicaciones oportunas.

Una vez que los planes de QMP (o CQC) y QA se hayan creado, revisado y aprobado, el contratista y los equipos de inspección deben reunirse para examinar y resolver cualquier posible conflicto o vacíos en los planes. Por ejemplo, el plan de QC puede suponer que el propietario está haciendo muestras para ensayos de resistencia a la flexión con el objeto de abrir el pavimento al tránsito, mientras que el plan de QA supone que ésta es la responsabilidad del contratista. O bien el plan de QC puede disponer que las muestras para apertura al tránsito se almacenen en el lugar de pavimentación y el plan de QA, a su vez, dispone su almacenamiento en el laboratorio.

Un aspecto que a menudo se pasa por alto en cualquier proyecto de construcción es la gestión de datos de QMP/CQC. La gestión de datos incluye los ítems necesarios para documentar el proceso de construcción. Estos ítems incluyen los procedimientos y resultados de los ensayos, los formularios de envío, los diagramas de control de laboratorio y las solicitudes de información. Es importante llevar un seguimiento de los documentos y obtener cualquier información faltante lo antes posible. Si el equipo de proyecto espera hasta el final de éste, será difícil localizar los elementos que falten. Además de los tipos de documentos enviados, el cronograma para su envío y el proceso de revisión deben definirse antes del inicio de obra.

3.9 CONSTRUCCIÓN DE LA FAJA DE PRUEBA

Muchos organismos exigen la construcción de fajas de prueba antes de que la operación de pavimentación con concreto pueda proseguir. La faja de prueba se usa para evaluar los procesos de elaboración, transporte, colocación, terminación y curado del concreto. Si se especifica la construcción de una faja de prueba, el ingeniero debe identificar claramente los objetivos de la construcción de la faja de prueba y establecer el plan de monitoreo y aceptación de la construcción de la faja de prueba. El plan de aceptación debe ser preparado de acuerdo con los requisitos del proyecto. Las medidas para los ensayos deben estar claramente definidas y la ubicación para la construcción de la faja de prueba identificada.

REQUISITO DE FAJA DE PRUEBA:

La necesidad de construir una faja de prueba y la disposición de ésta actualmente se encuentra en discusión. Normalmente se consideran las siguientes opciones:

1. Construir la faja de prueba y quitarla
2. Considerar el primer día de pavimentación como una faja de prueba.
3. Considerar el primer día de pavimentación como faja de prueba y eliminar los primeros 60 m (200 pies).

Si no se proveen especificaciones respecto de la construcción de una faja de prueba, el primer día de colocación del concreto debe considerarse como faja de prueba por defecto. Todas las partes clave involucradas en el proyecto deberían observar las operaciones de colocación de concreto. Al final del primer día de pavimentación, se debe llevar a cabo una reunión informativa en la cual se analicen y resuelvan cuestiones relacionadas con la calidad y las especificaciones.

3.9.1 Detalles de la faja de prueba

Los detalles fundamentales de la faja de prueba son:

1. Pavimentar en el ancho de pavimentación anticipado para el proyecto.
2. Permitir una longitud suficiente (generalmente de 150 m [500 pies]) para que el contratista demuestre su operación de pavimentación.
3. Colocar en las condiciones anticipadas durante la construcción del pavimento.
4. Usar el mismo equipo y las mismas unidades de acarreo de concreto que se usarán durante la construcción.
5. Incluir moldes de exclusión para evaluar los procesos de pavimentación donde están ubicadas las cajas para luminarias y el acero embutido.
6. Incluir al menos una cabecera de construcción para evaluar el comienzo y la finalización.
7. Para proyectos grandes, la construcción de la faja de prueba también debería incluir colocación manual.

La faja de prueba deber ser construida utilizando los procedimientos que se implementarán para la pavimentación de producción. Los puntos que deben evaluarse en la construcción de la faja de prueba son:

1. Actividades de preparación e inspección previas a la pavimentación; se debe controlar lo siguiente:
 - a. Condición de la base (rasante y superficie)
 - b. Controles de rasante (montaje de la cuerda de guía, línea de pisado de la pavimentadora)
 - c. Ubicaciones de las juntas
 - d. Armazones con pasadores, acero embutido y barras de unión, si se usan
 - e. Moldes de exclusión
 - f. Agregado de concreto (para contenido de humedad y granulometría)

- g. Equipos para transporte, colocación, consolidación, terminación, texturado y curado.
 - h. Vibradores sobre las pavimentadoras (para frecuencia y amplitud).
2. Procesos de carga de la planta y de mezclado del concreto
- a. Velocidad de producción de la planta: mediante la elaboración a través de la planta a velocidades de producción esperadas se podrá evaluar si se requieren cargadores adicionales y si los planes de manejo de acopios son aceptables. Se deben establecer y usar tiempos de mezclado aprobados sobre la base de los ensayos de uniformidad de planta.
 - b. Uniformidad del concreto: dificultades en el mezclado del concreto con la relación agua-cemento de diseño, un concreto no uniforme entre la parte delantera y trasera del tambor durante la descarga y una pérdida excesiva en el asentamiento pueden indicar los siguientes posibles problemas:
 - Materiales que no fueron incorporados al tambor en la secuencia correcta
 - Tamaño del pastón demasiado grande en relación con la capacidad del tambor
 - Tiempos de mezclado inadecuados
 - Incompatibilidad del aditivo líquido con el cemento o los materiales cementicios complementarios
 - Sensibilidad a la temperatura inicial del concreto
 - Sensibilidad a los cambios de humedad de los acopios.

Si se presentan dificultades en la uniformidad del mezclado o del concreto, se recomienda considerar cambios en la planta, cambios en el proceso de mezclado, cambios en los diseños de la mezcla del concreto o ensayos adicionales de uniformidad de planta.

3. Proceso de entrega del concreto
- a. Se debe controlar el tiempo entre la incorporación del agua y el depósito del concreto en la rasante a fin de verificar que se pueda preparar, transportar y volcar el concreto en la rasante dentro de plazos especificados.
 - b. Se requieren transportadores de concreto adicionales si la pavimentadora tiene que detenerse y esperar la entrega del concreto.
 - c. Las cantidades de materiales en el pastón de concreto deben compararse con las cantidades del diseño de mezcla aprobado.
 - d. Es necesario que la entrega del concreto se realice con el mismo equipo que se usará en la producción (agitador, camiones volcadores con puerta trasera, etc.).
4. Colocación del concreto
- a. El concreto volcado desde los camiones, vertido desde los agitadores o esparcido utilizando esparcidora (distribuidor) de cinta no debe caer más de 1,5 m (5 pies).
 - b. El concreto volcado en la rasante o colocado al frente de la pavimentadora utilizando esparcidoras o colocadoras de cinta debe examinarse en busca de segregación de agregados. Si el concreto parece estar segregado, debe efectuarse un ensayo de uniformidad en el contenido de agregado grueso.

- c. La existencia de diferencias significativas en el contenido de agregados entre las muestras de concreto obtenidas de un mismo camión indica que los procesos de transporte o volcado probablemente deban modificarse.
 - d. Cuando el concreto se vuelca al frente de la pavimentadora o esparcidora y los armazones con pasadores se colocan durante el conformado del hormigón con moldes deslizantes, es necesario observar los procedimientos de alineación para asegurarse de que los armazones estén siendo ubicados e instalados correctamente.
5. Muestreo de concreto y aseguramiento de la calidad/control de calidad
- a. Las muestras de concreto deben ser obtenidas del frente de la pavimentadora; los ensayos en estas muestras deben examinar el asentamiento, el contenido de aire, la temperatura inicial del concreto y el peso unitario de concreto fresco en conformidad con los requisitos del proyecto. Debería controlarse el contenido de aire del concreto detrás de la pavimentadora. Deberían documentarse las temperaturas del aire ambiente.
 - b. El concreto para vigas o probetas cilíndricas debe transportarse correctamente si las vigas de concreto serán fabricadas y curadas inicialmente en un lugar central. Es necesario confeccionar muestras adicionales para ensayos a edades diferentes. Los ensayos de resistencia temprana luego pueden usarse para verificar la ganancia en resistencia en relación con el diseño de la mezcla y establecer los tiempos de apertura relativos para los equipos de construcción.
 - c. Las vigas o las probetas cilíndricas deben confeccionarse a intervalos más frecuentes que los límites del subsector. Esto posibilita una mejor indicación de variabilidad debido a cambios menores en las cantidades del pastón y los cambios durante el día.

Deben analizarse las falencias observadas en relación con la aceptación, el aseguramiento de la calidad y el control de calidad, el muestreo de concreto, el transporte, la confección de vigas, los procedimientos de curado inicial y final, y los ensayos posteriores; y luego deben implementarse medidas correctivas.

6. Consolidación y terminación del concreto
- a. La existencia de dificultades en la colocación, la consolidación, el mantenimiento de un pavimento liso, el mantenimiento de un asentamiento admisible de los bordes, el cierre de superficie y bordes y la rotura superficial indica problemas con el concreto, el diseño de la mezcla del concreto o la operación de la pavimentadora.
 - b. Probablemente se necesiten algunos ajustes en la frecuencia del vibrador, el espaciado y la cota si se presentan problemas con la consolidación. Pueden ser necesarios vibradores complementarios en juntas de construcción longitudinales si se observan vacíos excesivos de aire ocluido o formación de “nidios de abeja” a lo largo de los bordes verticales.
 - c. Si los problemas en la consolidación se atribuyen al concreto, es necesario realizar ensayos de asentamiento en la planta para establecer la pérdida de asentamiento. Si el concreto presenta una alta pérdida de asentamiento (en

general, considerada superior a 2,5 cm [1”]), es probable que exista una incompatibilidad entre el cemento, los aditivos líquidos y los materiales cementicios complementarios. Debe verificarse el monitoreo de la humedad de los agregados.

- d. Es necesario verificar las posiciones de los pasadores cuando el insertador de pasadores se usa para juntas transversales de contracción. Una cantidad excesiva de mortero y la falta de agregado grueso sobre los pasadores indican una vibración excesiva proveniente de las puntas del insertador. El oscurecimiento o la excesiva exudación de agua sobre los pasadores insertados luego de la colocación y terminación son indicios de asentamiento plástico (depresiones en la superficie), vibración excesiva (cantidad excesiva de mortero y de exudación de agua) o vibración inadecuada (superficie cerrada inadecuadamente).
- e. El espesor del pavimento puede verificarse realizando un sondeo o extendiendo una cuerda de piano de un lado a otro del pavimento sobre las estacas de la cuerda guía y utilizando una regla.
- f. Las estaciones de juntas transversales deben transferirse desde la base o los laterales de los moldes hasta la superficie del pavimento a fin de usarlas como referencias para el aserrado de juntas.
- g. La pavimentación en moldes de exclusión debe ser observada para detectar movimientos del molde de exclusión de la posición planeada. El acero embutido debe controlarse detrás de la pavimentadora para garantizar que esté bien asegurado a la base y que los vibradores de la pavimentadora no los hayan alterado.
- h. Es necesario examinar la superficie delante del reglón de la pavimentadora o, en operaciones manuales, examinar el fratas de tubo para asegurar que la superficie no esté desarrollando rasgaduras. Las rasgaduras en la superficie se asocian con pérdida excesiva de asentamiento del concreto, un asentamiento del concreto demasiado bajo, una máquina de pavimentación mal regulada o velocidad de pavimentadora demasiado alta. El cierre de las grietas por rasgaduras durante las operaciones de terminación puede no impedir que se reflejen en la superficie.
- i. También es necesario examinar la superficie detrás del reglón de la pavimentadora o aplanadora para asegurarse de que esté cerrada. La existencia de una dificultad en el cierre de la superficie es indicio de una o más de las siguientes condiciones:
 - Endurecimiento prematuro del concreto (posible incompatibilidad de los aditivos)
 - Contenido insuficiente de pasta de concreto o mortero
 - Frecuencias del vibrador demasiado altas
 - Alturas del vibrador demasiado bajas
 - Velocidad de pavimentación demasiado alta
 - Cantidades inadecuadas de mortero mantenidas en el cajón de grout (lechada de cemento).
- j. El asentamiento en bordes debe medirse a intervalos frecuentes. Se puede reducir el asentamiento de los bordes mediante el aumento del contenido de agregados gruesos, la disminución del contenido de agua o la disminución del contenido de mortero. En algunos casos se puede regular la pendiente del molde lateral de la

pavimentadora para compensar el asentamiento de los bordes. Reducir la velocidad de la pavimentadora también puede ayudar a atenuar el asentamiento de los bordes.

- k. El concreto, luego del alisado manual y la terminación pero antes de cualquier operación de texturado, debe examinarse con un borde derecho. Es necesario que la superficie esté cerrada. No es conveniente utilizar agua para facilitar la operación de terminación. Si se requiere agua adicional durante tiempo caluroso, una cantidad mínima de agregado de agua es tolerable sólo si se aplica en forma de vapor muy fino. Un exceso de lechada de cemento en la superficie luego de la terminación revela un acabado excesivo o una aplicación excesiva de agua. Las acciones de terminación deben ser sólo las suficientes para lograr una superficie lisa y cerrada. Una excesiva de terminación deriva en una superficie de concreto no duradera.
7. Texturado del pavimento: debe inspeccionarse el método de texturado buscando un aspecto de uniformidad. Si se usa arpillera, ésta debe estar lo suficientemente mojada como para otorgar una textura superficial rugosa sin exponer ni hacer rodar ningún agregado grueso. La formación de lagunas de lechada de cemento o el depósito de capas espesas de agua constituye un indicio de que la arpillera está demasiado mojada.
 8. Curado del concreto
 - a. Las velocidades de cobertura con compuesto de curado deben establecerse antes de la construcción de la faja de prueba. La velocidad de cobertura depende de la textura de superficie que se aplicará.
 - b. La aplicación del compuesto de curado debe ser uniforme a lo largo de la superficie y los bordes verticales del pavimento.
 - c. Una aplicación no uniforme indica que las boquillas del rociador están reguladas demasiado bajas o están obstruidas, la velocidad del equipo de curado es demasiado alta, el mezclado del compuesto de curado es inadecuado o el número de pasadas es insuficiente.
 9. Aserrado de juntas
 - a. La temperatura del concreto fresco debe monitorearse en forma periódica si, para establecer los tiempos de aserrado, se utilizan medidores de la madurez, pistolas infrarrojas o termómetros de superficie. Es necesario tomar muestras de las temperaturas cada 20 minutos hasta que las juntas estén listas para su aserrado.
 - b. Si la técnica de medidor de la madurez se utiliza para establecer los tiempos de aserrado, es necesario insertar termocuplas en el concreto plástico lo antes posible luego del texturado. Las termocuplas se insertan aproximadamente 6,4 cm (2”) por debajo de la superficie. Para obtener temperaturas representativas, las termocuplas deben estar colocadas al menos 0,6 m (2 pies) hacia adentro desde los bordes del pavimento.
 - c. Debería permitirse a los operadores de la sierra iniciar el corte cuando el concreto esté apenas demasiado fresco como para calibrar la temperatura o las mediciones de la madurez.

- d. Es necesario cortar varios metros (pies) para posibilitar una evaluación o cuantificación visual de los desprendimientos en las juntas. Este proceso debe repetirse hasta que los representantes del propietario, contratista y el inspector admitan que los cortes cumplen con los requisitos del proyecto.
- e. Las condiciones de los cortes deben documentarse y fotografiarse para evitar futuros conflictos referentes a un desprendimiento excesivo. La madurez y la temperatura de cuándo se pueden realizar cortes “aceptables” deben documentarse para su uso en la pavimentación de producción.
- f. Es necesario controlar las profundidades de los cortes para cada sierra utilizada en la faja de prueba. Los cortes transversales deben efectuarse a través de los bordes libres longitudinales o lo más cerca de los moldes que sea posible.

3.9.2 Aceptación de la faja de prueba

Es necesario llevar a cabo una inspección final luego de la construcción de la faja de prueba. Los puntos a inspeccionar son:

- 1. Condición de la superficie y los bordes con moldes deslizantes
- 2. Textura y cobertura con compuesto de curado
- 3. Cabeceras y juntas aserradas
- 4. Áreas de moldes de exclusión (penetración de las cajas para luminarias, etc.)
- 5. Asentamiento de bordes y perfil (borde derecho o ensayos de perfil)
- 6. Testigos (para comprobación del espesor y evaluación de la consolidación y segregación).

3.9.3 Consideración de cambios en las operaciones de QMP/CQC y del contratista

Debe documentarse y analizarse cualquier falencia observada durante la construcción de la faja de prueba o la inspección posconstrucción y en las técnicas de ensayo. Se recomienda mantener reuniones entre los representantes del propietario y el contratista para examinar los resultados de la faja de prueba. Las medidas para tratar y resolver las falencias deben acordarse antes de comenzar la construcción del pavimento de producción. También es el momento adecuado para revisar cualquier modificación que sea necesaria en las operaciones y el Plan de QMP/CQC

4. PREPARACIÓN DE LA RASANTE

4.1 INTRODUCCIÓN

La preparación de la rasante sienta las bases para todo el sistema de pavimento. La uniformidad y estabilidad de la subrasante afectan tanto al desempeño prolongado del pavimento como al proceso constructivo. La estabilidad de la subrasante es necesaria para proveer el soporte adecuado de la sección de pavimento y una plataforma constructiva aceptable. El diseño del pavimento comienza con la identificación de su fundación. La construcción comienza con la preparación de dicha fundación.

Entre los elementos importantes de la preparación de la subrasante se incluyen:

1. Evaluación de la estabilidad de la subrasante
2. Modificación de la subrasante para mejorar la estabilidad
3. Evaluación de las tolerancias superficiales.

Las siguientes son las áreas en las que se puede necesitar la ayuda de un ingeniero geotécnico experimentado en la preparación de subrasantes:

1. Variabilidad del estado del suelo
2. Suelo con baja capacidad portante (≤ 96 kPa) (≤ 1 t/pie²)
3. Suelo orgánico
4. Suelo expansivo/con capacidad de hinchamiento
5. Suelo susceptible a las heladas

4.2 NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE

4.2.1 Actividades previas a la nivelación

La primera fase de la preparación de la subrasante es su nivelación gruesa. Consiste en el corte de los puntos elevados y el relleno de las áreas bajas para conseguir la cota de terminación deseada. Los ítems de excavación/relleno se tratan en la fase de diseño del proyecto.

Los puntos importantes a tener en cuenta incluyen los siguientes:

1. El material de relleno se obtiene generalmente de las operaciones de corte (perfilado). Se debe utilizar el informe geotécnico para evaluar el uso posible de este material como relleno.

PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE:

- Revise y comprenda el informe geotécnico.
- Analice la necesidad de modificar la subrasante.
- Evalúe la sensibilidad a la humedad del material de la subrasante.
- Realice un apisonado (rodillado) de prueba de la rasante antes de las operaciones de relleno.
- Asegure la nivelación correcta de la subrasante.

2. Si el material in situ no alcanza, o sus propiedades son inadecuadas para un buen desempeño del pavimento, se deben identificar áreas de préstamo de donde extraer material de relleno apropiado.
3. El contratista debe conocer las condiciones de la subrasante local en lo referente al nivelado previo y otras actividades constructivas.

La segunda fase de la nivelación previa consiste en el proceso de estaqueo (replanteo) de obra. Es una buena práctica que el propietario/ingeniero verifique en forma independiente la precisión de las estacas. Comúnmente se usan equipos de nivelación automática con posicionamiento global para nivelar. Si se utilizan estos sistemas, se recomienda verificar periódicamente los resultados mediante métodos topográficos convencionales.

4.2.2 Extracción de materiales no aptos de la subrasante

Cuando se prepara la rasante, se pueden encontrar suelos no aptos. Los materiales tales como turba, sedimentos orgánicos, lodo y suelo con alto contenido orgánico están clasificados como no aptos. Con estos materiales se pueden tomar las siguientes medidas:

1. Extraerlos y reemplazarlos por suelo similar al de la subrasante circundante.
2. Extraerlos y reemplazarlos por material granular.
3. Alterar sus propiedades mediante su compactación o estabilización.

REQUISITOS OBLIGATORIOS:

Se deben prever medidas para controlar la contaminación del agua, la erosión del suelo y sedimentación que se muestran en los planos o son necesarias para la obra. Se deben respetar todas las leyes locales, estatales y federales pertinentes.

4.2.3 Protección de la rasante

Durante las operaciones de nivelado, proteja la rasante mediante dos actividades fundamentales:

1. Proporcione un drenaje temporal: zanjas, drenes o cunetas necesarias para desviar o interceptar el agua superficial. Si el agua aflora sobre la subrasante, el material se ablandará y puede dañarse debido al tránsito de obra. Esto se traduce en retrasos y en la necesidad de efectuar reparaciones.
2. Implemente procedimientos para dirigir el tránsito sobre la rasante. No use patrones canalizados de tránsito sobre una parte de la misma. Asegúrese de que el tránsito se distribuya uniformemente sobre toda la rasante.

4.2.4 Operaciones de construcción de la rasante

La construcción de la rasante para un pavimento de aeropuerto puede incluir la construcción de un terraplenamiento.

1. El terraplenamiento se construye colocando material en capas sucesivas en todo el ancho de la sección transversal.
2. La mayoría de las especificaciones incluyen un espesor máximo para el material suelto a colocarse por capa. El empleo de capas de relleno de un espesor mayor requiere que el contratista demuestre al ingeniero que dicha capa puede compactarse a la densidad especificada en todo su espesor.
3. Durante la construcción del terraplenamiento, el equipo de acarreo debe moverse uniformemente sobre todo el ancho del mismo. Si el tránsito de éste se halla canalizado, puede ocurrir una deformación permanente o una falla por esfuerzo de corte.
4. En la construcción de terraplenamientos, la colocación de capas debe comenzar en la parte más profunda del relleno. A medida que avanza la colocación de las capas, éstas deben construirse aproximadamente paralelas a la rasante terminada.
5. En áreas donde se producen transiciones de la subrasante, los materiales se mezclan mediante rastra de discos en el límite de la zona de transición. La mezcla de la subrasante se debe efectuar a lo largo de 30 m (100 pies) de la zona de transición (15 m [50 pies] a cada lado de la transición). Esta práctica reduce la posibilidad de asentamientos diferenciales o levantamiento debido a la acción de las heladas.

4.2.5 Requisitos para la compactación

La compactación de la subrasante es esencial para construir una plataforma de trabajo estable. Los requisitos de compactación típicos son:

1. Para pavimentos transitados por aeronaves mayores a los 27.000 kg (60.000 lb.), es necesario usar el procedimiento Proctor modificado (ASTM D 1557) para la determinación de la densidad máxima. El procedimiento Proctor Estándar (ASTM D 698) puede emplearse para pavimentos destinados a aeronaves livianas.
2. Suelos cohesivos usados en secciones de relleno o terraplenamiento: La totalidad del relleno debe compactarse al 90% de la densidad máxima.
3. Suelos cohesivos en secciones de excavación o desmonte: Los 15 cm (6") superiores deben compactarse al 90% de la densidad máxima.
4. Suelo no cohesivo usado en secciones de relleno o terraplenamiento: Los 15 cm (6") superiores se compactan al 100% de la densidad máxima, el resto del relleno al 95%.
5. Suelo no cohesivo usado en secciones de excavación o desmonte: Los 15 cm (6") superiores compactados al 100% de la densidad máxima y los siguientes 45 cm (18") al 95%.

COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE:

Debido al peso del equipamiento constructivo, es una buena práctica compactar todos los materiales de la subrasante a un 95% de la densidad máxima según el método Proctor modificado. Esto ayuda a proporcionar una plataforma de trabajo estable.

Si se utiliza el método Proctor estándar para controlar la compactación la subrasante, ésta se puede volver inestable.

El control de la humedad es esencial para obtener una subrasante estable. Se deben respetar los siguientes puntos:

1. Las especificaciones de compactación normalmente requieren que el contenido de humedad de la subrasante esté dentro del $\pm 2\%$ de la humedad óptima antes de apisonar (rodillar), para obtener la densidad prescrita.
2. Para los suelos expansivos, el contenido de humedad debe estar en 1 a 3% por encima del nivel óptimo antes de su compactación, a los efectos de reducir el potencial de hinchamiento.
3. Para suelos finos, que no muestran signos de hinchamiento, es mejor mantener la humedad entre el 1 y 2% por debajo del nivel óptimo.
4. Los suelos cohesivos compactados con exceso de humedad se pueden tornar inestables bajo el tránsito de obra, aun habiendo alcanzado la densidad especificada.

Las curvas de humedad-densidad de los suelos tipificados pueden dar una idea de su desempeño en el campo. En la Figura 4.1 la forma de la curva sugiere que el suelo de arena arcillosa es sensible a la humedad. Un pequeño cambio en el contenido de humedad puede dificultar su compactación. Otros puntos relacionados con la compactación incluyen:

1. Con suelos cohesivos, es necesario usar rodillos pata de cabra. Las uñas deben penetrar el 70% del espesor de la capa.
2. Se debe usar la rastra de discos si se necesita controlar la humedad.
3. Se pueden usar rodillos estáticos de cilindros de acero para alisar la superficie luego de su compactación.
4. Los rodillos de cilindros vibratorios se usan para suelos no cohesivos. Se debe usar la vibración con precaución si la napa freática se encuentra cerca de la superficie o si los suelos de la subrasante están saturados.

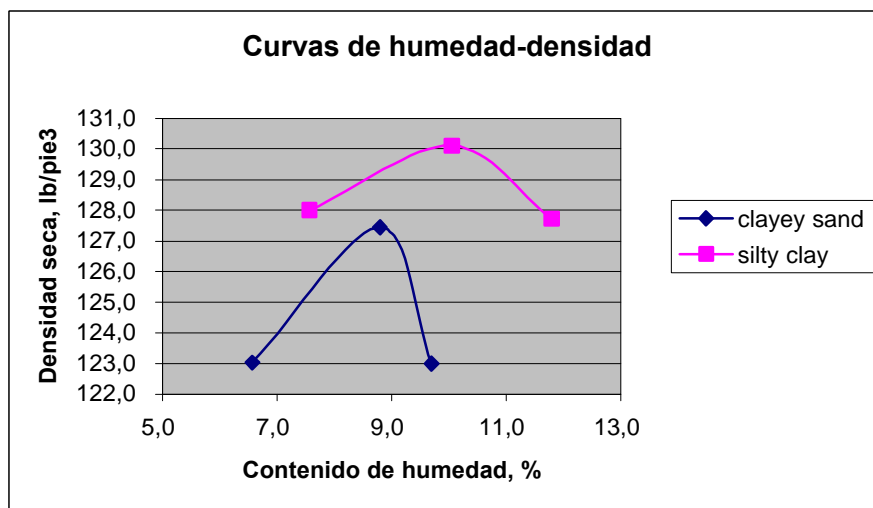


Figura 4.1 – Curvas humedad-densidad típicas que muestran el efecto del contenido de humedad en la densidad

Para verificar la densidad del suelo compactado, se puede usar el procedimiento de ensayo de la densidad nuclear. Se deben calibrar los indicadores para los materiales locales. Si surgen problemas en la obtención de la densidad, se pueden usar las siguientes técnicas para solucionarlos:

1. Realice un ensayo humedad-densidad adicional para asegurarse de que se esté usando el valor de densidad máxima correcto en el control de la compactación en obra.
2. Use el cono de arena o la medición de volumen para realizar los ensayos de densidad.
3. Use métodos tradicionales para determinar el contenido de humedad.
4. Examine la subrasante para determinar si existen capas sueltas debajo del área problemática.

El control de densidad en obra debe ser una tarea de tiempo completo. Esto permite la observación del material en el momento en que se coloca. Si el material cambia, se pueden usar ensayos Proctor de campo puntuales para verificar la densidad máxima.

4.3 ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE

Puede ser necesario estabilizar las subrasantes debido a diversas causas. Las razones principales son:

1. Para mejorar suelos de baja resistencia
2. Reducir el potencial de hinchamiento
3. Mejorar las condiciones constructivas.

Los estados de subrasante no aptos pueden retrasar la obra, por lo que se deben tomar las medidas necesarias para tratar tales áreas. Una subrasante estabilizada puede ayudar a cumplir con los plazos de obra. Esto puede ser de suma importancia en obras que requieren aperturas a tiempo de los pavimentos al tránsito.

PAVIMENTOS DE GRAN VOLUMEN Y PARA SERVICIO PESADO:

Se recomienda estabilizar la subrasante para obtener una condición de soporte estable y uniforme. En cualquier caso, debe estabilizarse el suelo de subrasante con un CBR menor o igual a 5 o se debe usar una capa granular para mejorar la constructabilidad.

4.3.1 Estabilización con cal

La estabilización con cal se usa frecuentemente para estabilizar subrasantes cohesivas (suelos arcillosos) con alto contenido de humedad. Se debe diseñar una mezcla a los efectos de determinar el contenido óptimo de cal. Para suelos arcillosos con un Índice Plástico (IP) mayor que 10, el rango de contenido de cal varía normalmente entre el 3% y el 5%.

El equipo necesario para llevar a cabo la estabilización con cal incluye un distribuidor para la cal o la lechada de cal, equipo de mezclado y pulverizado, equipo de riego y rodillos. Cuando se prescribe cal hidráulica hidratada como agente estabilizador, las especificaciones pueden permitir el uso ya sea de “colocación en seco” o “colocación como lechada”.

Para la colocación en seco, se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Se debe esparcir la cal en forma uniforme sobre la superficie de la subrasante mediante un camión equipado con una caja esparcidora.
2. La cantidad de cal esparcida, basada sobre la fórmula de la mezcla en obra, debe ser la necesaria para efectuar la mezcla en la profundidad especificada.
3. La colocación en seco se torna difícil en el ámbito de un aeropuerto. La condición del viento en áreas amplias y abiertas normalmente deriva en una gran nube de polvo. Esto puede llegar a convertirse en un asunto de seguridad y, normalmente, el viento requerirá el uso de una mayor cantidad de cal.

CUESTIONES RELACIONADAS CON LA ESTABILIZACIÓN CON CAL:

La estabilización de suelos que contienen sulfatos solubles puede causar un estado expansivo. Si el contenido de sulfatos es mayor al 0,3%, se requiere una mitigación. Consulte la ASTM D 516 para la determinación del contenido de sulfatos.

En el caso de suelos no expansivos, la compactación de la mezcla cal-suelo puede comenzar inmediatamente después de su mezclado.

Para el caso de suelos expansivos, se requieren períodos de maduración de 3 a 7 días.

También se puede usar polvo de calera, pero se necesita mayor cantidad, ya que consiste generalmente de un 20 a 25% de CaO, mientras que la cal viva rica en calcio tiene alrededor de 90% de CaO. Cuando se usa polvo de calera, se debe verificar regularmente su calidad.

Verifique la profundidad de la mezcla con fenoltaleína.

Para la colocación en forma de lechada, se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Es necesario mezclar la cal con agua dentro de camiones y distribuirla ya sea como una suspensión acuosa delgada o como una lechada mediante un distribuidor.
2. El camión distribuidor debe agitar constantemente la lechada para mantener la mezcla uniforme.
3. La cal se distribuye mediante sucesivas pasadas hasta que se haya esparcido la cantidad suficiente.
4. La cantidad de cal esparcida, basada sobre la fórmula de la mezcla en obra, debe ser la necesaria para efectuar la mezcla en la profundidad especificada.

Los procedimientos de mezclado in situ y compactación, ya sea para la colocación en seco o para la lechada, son similares. Las siguientes son consideraciones esenciales:

1. La mezcladora debe poder mezclar la totalidad de la profundidad de la subrasante tratada o, de lo contrario, se debe estabilizar el material de ésta por capas.

2. El material se debe mezclar inmediatamente después de la aplicación de la cal. El período entre la aplicación de la cal y el mezclado de la subrasante no debe exceder las 6 horas.
3. Se debe agregar agua a la subrasante durante el mezclado, para proporcionar humedad superior a la humedad óptima del material y para asegurar la acción química de la cal sobre la subrasante.
4. El mezclado final puede seguir al mezclado preliminar, excepto en el caso de algunas arcillas pesadas, que requieren un curado por humedad de entre 24 y 48 horas antes de su mezclado final.
5. Es importante que se compacte la mezcla dentro de los 30 minutos posteriores al mezclado final.
6. El material necesita estar dentro del ± 2 % del contenido de humedad óptima previo a su compactación, por lo que puede ser necesario airearlo o regarlo.
7. La mezcla suelo-cal necesita ser compactada entre el 93 y el 95% de la densidad máxima determinada en el diseño de la misma. La densidad de campo deberá verificarse in situ mediante un densímetro nuclear usando el modo de transmisión directa.
8. Si no se alcanza el nivel de compactación especificado y la subrasante muestra signos de movimiento durante la compactación, posiblemente se trate de una capa de subrasante débil debajo de la capa estabilizada.
 - a. Esta capa débil puede impedir la compactación adecuada de la capa estabilizada.
 - b. Si existe tal condición, quizá sea necesario aumentar la profundidad de la estabilización de la subrasante.
 - c. De ser así, es necesario efectuar una evaluación de la resistencia de los suelos subyacentes (por ejemplo mediante un ensayo de placa de carga o mediante ensayos con el penetrómetro de cono dinámico [DCP]).

Es necesario efectuar ensayos de verificación para comprobar la eficacia de la estabilización hasta la profundidad requerida. Para ello, se realiza un rápido ensayo en el campo usando una solución de fenoltaleína. Es necesario determinar el contenido de cal de la mezcla no curada de suelo-cal de acuerdo con ASTM D 3155, usando una muestra obtenida del centro de la capa modificada con cal.

Si la sección tratada con cal es una capa estructural, debe curarse como mínimo durante 7 días antes de que se agreguen otras capas o se permita cualquier clase de tránsito. El proceso de curado puede ser cualquiera de los siguientes:

1. Curado por humedad: consiste en mantener húmeda la superficie mediante el riego con agua.
2. Curado mediante membrana: consiste en la aplicación de una capa bituminosa sobre la subrasante preparada.

4.3.2 Estabilización con cemento

El cemento se usa generalmente para estabilizar suelo de grano grueso o suelo con alto contenido de limo. Para los suelos arcillosos, la estabilización con cal suele ser más económica que aquella con cemento. Para determinar la cantidad de cemento a agregar para la estabilización, es necesario diseñar una mezcla en laboratorio. El desempeño de la estabilización in situ con

cemento es similar a los procedimientos de estabilización con cal. La uniformidad de la mezcla y el porcentaje correcto de aplicación son los pasos clave para lograr una buena capa estabilizada con cemento. También es necesario curarla. Comúnmente se utiliza el método de curado mediante membrana de emulsión asfáltica.

La estabilización con cemento también se puede realizar usando un molino de paletas o una planta de mezclado. Éstos son los métodos preferidos cuando la subrasante estabilizada con cemento debe cumplir la función de subbase o base.

4.3.3 Contingencias para áreas localizadas

Si el sitio contiene suelos finos, es una buena práctica tener un plan de contingencia para estabilizar suelos no aptos encontrados en bolsones localizados. Generalmente, los suelos finos con resistencias a la compresión no confinadas de 190 kPa (2 t/pie²) o menores presentarán problemas de estabilidad. Se deben considerar los siguientes procedimientos para áreas particulares:

1. Extraiga el material blando o perturbado y reemplácelo por material de subrasante de las áreas adyacentes. Este método sirve para perturbaciones superficiales.
2. Extraiga el material blando o perturbado y reemplácelo por roca triturada (piedra partida). Si la capa es muy blanda (≤ 96 kPa [1 t/pie²]), use geotextil para impedir la intrusión de la subrasante en la capa granular.
3. Coloque una geomalla sobre el área blanda. El material sobre la geomalla debe ser una capa de 250 mm (10") de roca triturada, para distribuir la carga sobre la subrasante.

4.4 APISONADO DE PRUEBA

Las especificaciones del proyecto pueden requerir un apisonado (rodillado) de prueba para verificar la preparación de la subrasante. Es una buena práctica implementar un apisonado de prueba, ya que permite identificar áreas blandas aisladas no detectadas durante el proceso de inspección de la superficie. Se lo deberá efectuar siempre si el pavimento de hormigón se habrá de colocar sobre una base no estabilizada.

CUESTIONES RELACIONADAS CON LA ESTABILIZACIÓN CON CEMENTO:

No se debe realizar la estabilización cuando la temperatura sea inferior a los 2 °C (35 °F).

Es necesario realizar la compactación dentro de los 30 a 40 minutos posteriores al mezclado.

A diferencia de la estabilización con cal, no se requiere ningún período de maduración o reacción.

Las condiciones del viento pueden causar problemas de polvo y pérdida de cemento. No aplique cemento mientras haya vientos fuertes.

Para suelos de grano grueso la cantidad de cemento está en el orden del 4 al 8% en peso. A mayor porcentaje de materiales finos, se necesita un mayor contenido de cemento.

El apisonado de prueba consiste en el paso lento de un vehículo pesado montado sobre neumáticos por sobre la superficie preparada, mientras se observa a ésta en busca de ahuellamiento o deformaciones. Para ello se puede usar un camión de doble eje totalmente cargado o una cargadora sobre neumáticos. No se recomiendan las apisonadoras (rodillos) de cilindros de acero para esta tarea, ya que pueden potencialmente distribuir la carga sobre las áreas blandas. Puede usarse la siguiente guía para el apisonado de prueba en pavimentos para aeropuertos:

1. Ahuellamiento menor a 0,5 cm (1/4"): la subrasante es aceptable.
2. Ahuellamiento mayor a 0,5 cm (1/4") y menor a 4 cm (1,5"): la subrasante necesita ser escarificada y recompactada.
3. Ahuellamiento mayor a 4 cm (1,5"): se recomienda enfáticamente la extracción y el reemplazo de suelo.
4. Deformación mayor que 2,5 cm (1"), con rebote: indica la presencia de una capa blanda cerca de la superficie. Deben sondearse estas áreas para determinar las condiciones subyacentes.

4.5 RECEPCIÓN DE LA SUBRASANTE

Generalmente, la subrasante se aprueba en función de los siguientes criterios:

1. Desviación de la superficie: generalmente 1,3 hasta 2,5 cm (1/2" hasta 1") (basada sobre una regla de 5 m (16 pies).
2. Cota superficial: generalmente 1,5 a 3 cm (0,05 a 0,10 pies)
3. Para el caso de proyectos pequeños, las tolerancias de desviación superficial y altimétrica pueden fijarse en 3 cm (0,10 pies), especialmente cuando no se puede usar equipo de nivelación automático.

APROBACIÓN DE LA RASANTE:

Para proyectos grandes, se debe considerar el uso de una niveladora automática para minimizar la mayoría de los problemas de granulometría.

Para el caso de los materiales no estabilizados, se puede considerar escarificar, nivelar o rellenar áreas si se necesita ajustar la rasante. Con los materiales estabilizados, no es posible complementar el relleno mediante capas finas. Por lo tanto, en este último caso, la rasante debe construirse alta para luego cortarse hasta su cota final.

4.6 PROTECCIÓN DE LA RASANTE

Una vez aprobada la rasante, se debe implementar un plan de control del tránsito. Los camiones de obra pesados que circulan sobre la superficie preparada pueden dañar la rasante. La administración del tránsito debe ser obligatoria si la logística requiere el uso de la subrasante por

parte del equipo de obra. Todas las huellas y partes rugosas que se formen en una subrasante terminada deben alisarse y recompactarse antes de construir la subbase.

4.7 CONDICIONES CLIMÁTICAS ADVERSAS

Se deben implementar drenajes durante cada etapa de preparación de la subrasante. La rasante se debe mantener de forma tal que se proporcione una pendiente positiva para su drenaje. Cuando el contenido de humedad de la subrasante sea superior a la humedad óptima, quizá sea necesario pasar la rastra de discos y secar para reducirlo. Si se espera lluvia después de haber preparado la subrasante para su compactación, se deberá sellar su superficie con un apisonador (rodillo) neumático o de cilindros de acero. Si esto no se hace a tiempo, se producirán problemas graves debidos al exceso de humedad en la subrasante.

Si la subrasante está expuesta a heladas, deberá escarificarse su superficie hasta una profundidad mínima de 15 cm (6”) y luego recompactarse. Si la preparación de la rasante se interrumpió durante el invierno, deberá escarificarse la superficie expuesta hasta una profundidad mínima de 15 cm (6”) y luego recompactarse antes de continuar con las tareas en la primavera siguiente.

4.8 GUÍA PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Problema	Causa probable	Acción correctiva
La superficie parece suelta	Densidad baja	Revise el contenido de humedad y la densidad Reacondicione a la humedad óptima y recompacte el área
Depresiones o movimiento excesivo bajo el apisonador	Alto contenido de humedad Capa débil debajo de la superficie	Revise el contenido de humedad y reacondicione a la humedad óptima si éste es elevado Sondee la rasante con DCP para encontrar la capa débil Estabilice el área
La superficie varía de gruesa a fina	Segregación del material de origen comercial Cambio de material	Tamice el material para verificar su granulometría Mezcle la superficie y recompacte

5. CONSTRUCCIÓN DE BASES Y SUBBASES

5.1 INTRODUCCIÓN

A los fines del presente documento, la capa inmediatamente por debajo de la superficie del pavimento es la base. El término subbase se usa para designar a las capas que están debajo de la base y por encima de la subrasante.

5.2 SUBBASE

Los materiales para subbase suelen ser materiales granulares, que pueden ser naturales o triturados. Su estabilidad en términos de valor soporte CBR (*California Bearing Ratio*) varían entre 20 y 100. Estos materiales se usan generalmente como capas de protección de la subrasante (capas anticongelantes) y/o proporcionan drenaje por encima de la subrasante. En zonas con heladas, se debe limitar el porcentaje de material pasa tamiz N° 200 entre 3 y el 5%.

Los siguientes son elementos importantes para la colocación de la subbase:

1. La colocación debe comenzar a lo largo del eje de calzada o el punto más elevado, para mantener el drenaje en todo momento conforme se lleva a cabo la construcción.
2. La colocación puede realizarse usando un equipo automatizado o una caja para piedras adosada a una explanadora.
3. La relación humedad-densidad debe establecerse en laboratorio mediante el ensayo Proctor estándar o modificado. Tal como se describió en el capítulo 4, se recomienda implementar el ensayo Proctor modificado en los proyectos destinados a aeronaves más pesadas.
4. El control de la humedad es crucial para lograr la compactación. Lo mejor es mantener la humedad dentro del 1% del nivel óptimo. Para materiales de subbase de drenaje libre, debe considerarse un contenido bajo de humedad para evitar la adición excesiva de agua a la subrasante durante la compactación del material de la subbase.
5. El espesor de la capa debe ser 3 a 4 veces el tamaño máximo del agregado. Si el espesor es similar al tamaño máximo del agregado, se verán afectados la granulometría y la lisura.
6. Es importante evaluar la estabilidad de la subrasante antes de comenzar a construir la subbase. Debe repararse toda área blanda.
7. Se debe implementar la administración del tránsito en el frente de construcción para eliminar problemas potenciales.
8. Se pueden usar densímetros nucleares para monitorear la densidad de la subbase.

OBTENCIÓN DE LA DENSIDAD:

El control de la humedad es esencial para la construcción de subbases y base granulares.

Sin un contenido apropiado de humedad, puede ser difícil lograr la densidad.

9. Los valores de densidad se pueden verificar mediante ensayos puntuales sobre el contenido de humedad del material entregado. Éstos deberán efectuarse aproximadamente dos veces por día.
10. La tolerancia de planeidad para la subbase suele ser de 12 mm (1/2”), si se usa una regla de 5m (16 pies).
 - Se recomienda el uso de cuchillas guiadas por láser o niveladoras automáticas en proyectos de mayor envergadura.
 - Para el caso de obras donde no se justifica el empleo de equipo automatizado, puede ser necesario flexibilizar las tolerancias superficiales.
11. Es necesario proteger la subbase una vez conformada.
 - Se necesita proporcionar drenaje para que el agua no se acumule sobre la superficie.
 - Si prevalecen condiciones climáticas secas, quizá deba recurrirse al riego.
12. El apisonado puede efectuarse mediante rodillos vibratorios. Si la compactación se torna dificultosa, pueden emplearse rodillos neumáticos, ya que la acción de amasado de las ruedas contribuye con este proceso.

5.3 BASE ESTABILIZADA MECÁNICAMENTE

Estos materiales son similares a los de las subbases, pero generalmente son de mayor calidad en cuanto a contenido de agregados triturados, material deletéreo y granulometría. Los elementos cruciales para su colocación son los mismos que aquellos descriptos para los materiales de subbases. Además, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

1. Debe revisarse el estrato subyacente (subrasante o subbase) antes de colocar y esparcir el material de la base. Cualquier huella y área blanda o elástica (debidas a condiciones drenantes inapropiadas, acarreo de materiales o cualquier otra causa) debe ser corregida y compactada a la densidad especificada antes de conformar la base.
2. No se debe comenzar con la colocación de la base si la capa subyacente está húmeda, enlodada o congelada.
3. Se deben suspender los trabajos en la base durante temperaturas congelantes o si el material de la base contiene material congelado.
4. Para la compactación del material de base se pueden usar rodillos vibratorios, neumáticos o de cilindros estáticos. Con algunos tipos de materiales, se puede usar solamente el rodillo vibratorio para obtener la compactación, y una superficie lisa y pareja.

BASE/SUBBASE GRANULAR EXPUESTA:

Las capas granulares que han quedado expuestas durante un invierno en una región húmeda con heladas pueden causar el ablandamiento de la subrasante.

Lo mejor es cubrir estas capas con el pavimento. Si esto no es posible se debe tener cuidado al reanudar la construcción. El tránsito de obra puede inestabilizar la subrasante.

5. La tolerancia de planeidad para capas de base es generalmente de 10 mm (3/8") para una regla de 5 m (16 pies). Generalmente se usan métodos de conformación automatizados para obtener estas tolerancias ajustadas.

5.4 BASES ESTABILIZADAS QUÍMICAMENTE

En la construcción de pavimentos de concreto para aeropuertos se emplean varios tipos de bases estabilizadas. Los materiales que se implementan con mayor frecuencia incluyen el suelo de cemento, bases tratadas con cemento, econocreto (concreto económico) y bases tratadas con asfalto. Estos materiales proporcionan bases excelentes sobre una subrasante o subbase preparada apropiadamente.

La rigidez de las capas de base estabilizada tiene un impacto sobre el desempeño de los pavimentos de concreto. Afectan el curvado/alabeado de la losa y aumentan la restricción durante el período inicial de curado. En el caso del econocreto, la rigidez de la base puede ser extremadamente alta. El resultado es un mayor potencial de agrietamiento aleatorio (errático), fisuración por reflejo o debida a bordes de losa del pavimento no soportados. Pero una base estabilizada bien diseñada y construida aumentará la vida por fatiga y mejorará la constructabilidad del pavimento de concreto.

5.4.1 Base tratada con cemento

El suelo de cemento y la base tratada con cemento son dos materiales diferentes que se pueden usar para la capa de base. El suelo de cemento generalmente es de una calidad ligeramente inferior ya que emplea material de la subrasante o de relleno, mientras que la base tratada con cemento (CTB) normalmente está compuesta por material procesado.

Para determinar el contenido óptimo de cemento, se usa una mezcla diseñada en laboratorio. En ámbitos con heladas, también se realiza un ensayo de congelación-deshielo. Este proceso insume entre 20 y 25 días,

suponiendo que el agregado sea duradero. Si la experiencia en cuanto al uso de los materiales locales es escasa, debería programarse más de una mezcla dentro del cronograma de ensayos.

Los materiales para las CTB se diseñan para una resistencia a la compresión a 7 días de 5.200 kPa (750 psi). El material con este nivel de resistencia normalmente pasa el ensayo de congelación-deshielo y no es susceptible al agrietamiento por contracción. Si es necesaria una resistencia mayor para aprobar el ensayo de congelación-deshielo, deben tomarse medidas eficaces para reducir la posibilidad de agrietamiento por contracción en la base.

Los procedimientos importantes para el mezclado y la colocación incluyen:

EL CASO DE LA NECESIDAD DE RESISTENCIA MÁXIMA:

Las especificaciones tienen como objetivo eliminar la posibilidad de un problema de agrietamiento al limitar la resistencia de las capas estabilizadas. Esto resulta de utilidad hasta cierto punto, pero a veces se necesita resistencia. Para reducir la posibilidad de agrietamiento se usan otros métodos. Los métodos alternativos se analizan al final de esta sección.

1. La CTB se mezcla en una planta de mezclado central.
 - El agua y el cemento se introducen en una mezcladora a paletas en las cantidades apropiadas para alcanzar las proporciones de diseño de la mezcla.
 - La introducción del cemento se debe realizar de forma tal que no se agrume.
2. La humedad óptima y las propiedades de la densidad de la mezcla se determinan por medio de los procedimientos de la ASTM D 558.
3. El equipo de entrega del material y de colocación deben estar sincronizados para permitir la compactación de la mezcla dentro de los 60 minutos del mezclado inicial.
4. La granulometría y compactación finales se deben completar dentro de las 2 horas del mezclado.
5. Es esencial monitorear la densidad con un densímetro nuclear. Se recomienda fijar un objetivo del 97 al 98% de la densidad máxima.
6. El contenido de humedad puede estar dentro del 2% de la óptima. Para condiciones de trabajo durante el verano, se recomienda un contenido de +2% del nivel óptimo. Para colocar el material normalmente se usan distribuidores mecánicos o aplanadoras con cuchillas automatizadas.
7. Debe elaborarse un plan de colocación para minimizar la cantidad de juntas longitudinales y transversales.
8. Al final del día, o cuando se interrumpe la colocación continua durante más de 60 minutos, se construye una cabecera transversal. La forma más fácil de formar una junta transversal es mediante el aserrado en todo el espesor.
9. Las juntas longitudinales se forman aserrando el borde libre.
10. La temperatura a la hora de la colocación debe exceder los 4 °C (40 °F). Debe suspenderse la colocación si se esperan temperaturas inferiores a los 2 °C (35 °F) dentro de las 24 horas de la colocación.
11. El espesor compactado de una capa de CTB se limita normalmente a 20 cm (8"). Sin embargo, algunos equipos de compactación pueden compactar eficazmente capas de hasta 30 cm (12"). La eficacia del equipo debe coincidir con el espesor de la capa.
12. Una combinación de rodillo vibratorio y neumático producirá los mejores resultados.

ALERTA SOBRE MATERIALES:

Los concretos porosos pobres, tales como las bases tratadas con cemento, son más susceptibles al ataque de sulfatos que los concretos para pavimentos.

Durante la fase de diseño se deben investigar los posibles efectos dañinos en la base tratada con cemento causados por los sulfatos presentes en el suelo, la napa freática y los agregados.

EXPOSICIÓN DURANTE EL INVIERNO:

Se recomienda cubrir la CTB con el pavimento antes del invierno y/o el medio ambiente helado. Si la capa de CTB quedará expuesta, es necesario que ésta haya alcanzado la resistencia de diseño.

Antes de reanudar la construcción, revise la rasante.

13. Si para obtener el espesor total se requieren diversas capas, la capa subyacente debe mantenerse húmeda hasta que se coloque la siguiente. El empleo de camiones regadores con barras laterales es un método aceptable para conseguir el riego superficial.
14. La tolerancia de planeidad de la capa terminada es normalmente de 10 mm (3/8”) cuando se prueba con una regla de 5m (16 pies).
 - El empleo de una niveladora automática es la mejor forma de lograr la tolerancia requerida.
 - Dado que la CTB es un material rígido, no es práctico volver a nivelar después de la compactación. Por lo tanto, deben tomarse las precauciones para alcanzar la tolerancia especificada en el primer intento.
15. La CTB debe curarse. Para el sellado de curado suele usarse una emulsión asfáltica aplicada lo antes posible después de la compactación final. La superficie de la capa debe mantenerse húmeda hasta el momento de su sellado. Debe protegerse el sellado durante 7 días o hasta que se alcance la resistencia necesaria para habilitar el tránsito.

5.4.2 Concreto económico (econocreto)

El econocreto o concreto económico se compone de agregados y cemento uniformemente combinados y mezclados con agua. El término econocreto se usa dado que los materiales que lo componen son de calidad marginal. Las mezclas usan normalmente de 2 a 3 bolsas de cemento por metro cúbico (por yarda cúbica) de material. La mezcla resultante debe aprobar el ensayo de durabilidad congelación-deshielo y aun así puede colocarse con el equipo de pavimentación con concreto. Los procedimientos usados para colocar el econocreto son los mismos que para el concreto convencional.

El tema principal del concreto económico/econocreto es la resistencia de la mezcla. Las limitaciones normales a la resistencia son las siguientes:

1. Resistencia mínima a los 7 días: 5.200 kPa (750 psi).
2. Resistencia máxima a los 28 días: 8.300 kPa (1.200 psi). La limitación de la resistencia a un valor de 8.300 kPa (1.200 psi) reduce la posibilidad de fisuración por reflejo en el pavimento.

Una alternativa a la limitación de la resistencia a la compresión máxima es diseñar juntas en la capa de econocreto. El diseño del patrón de juntas debe coincidir con el del pavimento, o se producirán fisuras por reflejo. Se debe poner atención al alinear las juntas cuando se construye el pavimento de concreto.

El econocreto debe curarse. Normalmente, se aplican dos manos de un compuesto con base de cera para tal fin. La doble aplicación reduce la posibilidad de adherencia entre el econocreto y el pavimento de concreto. Al hacer esto, se reduce el potencial de agrietamiento aleatorio en el pavimento.

Normalmente no se permite el tránsito sobre el econocreto hasta tanto éste haya alcanzado una resistencia a la compresión de 5.200 kPa (750 psi).

5.4.3 Base tratada con asfalto

Una base tratada con asfalto (ATB) consiste en agregados y material bituminoso mezclados en una planta de mezclado central. Las siguientes son consideraciones para la construcción de bases tratadas con asfalto:

1. El asfalto y los agregados usados en la mezcla asfáltica deben cumplir con los requisitos especificados en el proyecto.
2. La mezcla asfáltica debe realizarse conforme a la fórmula de mezcla de obra especificada para el proyecto.
 - Se debe tomar una muestra de ésta para su ensayo a fin de comprobar la conformidad con la fórmula de la mezcla en obra (por ej.: densidad Marshall, densidad máxima teórica, porosidad y contenido de asfalto).
3. El espesor de una capa de base tratada con asfalto se limita normalmente a 10 y 15 cm (entre 4 y 5”).
 - Algunos equipos de compactación son capaces de compactar estos materiales hasta una profundidad de 15 cm (6”). Se puede construir una faja de prueba para verificar la capacidad del contratista de compactar una capa de mayor espesor. La compactación se verifica mediante la extracción de testigos (especímenes cilíndricos) y la comprobación de la densidad superior e inferior presente en ellos.
4. La densidad posterior a la compactación puede verificarse con un densímetro nuclear.
5. El espesor de la capa y la porosidad se obtienen a través de la extracción de testigos.
6. Se debe interrumpir la colocación de la base asfáltica cuando la temperatura se halla por debajo de los 4 °C (40 °F). Si el asfalto se coloca durante tiempo frío, es importante que la compactación comience inmediatamente después de su colocación, manteniendo los rodillos cerca de la pavimentadora.

Las capas tratadas con asfalto afectan el desempeño temprano del pavimento. En verano, la superficie de estas capas puede alcanzar los 60 °C (140 °F). El calor excesivo impacta tanto sobre el desarrollo de la resistencia como sobre el coeficiente de contracción (retracción) del concreto fresco. Por lo tanto, estas capas deben blanquearse usando una solución de agua y cal antes de la colocación del concreto para reducir su temperatura superficial. No se debe emplear un compuesto de curado con base de cera debido a la alta temperatura superficial. Tampoco se emplea una fresadora para cortar este tipo de capas. Este proceso deja una textura superficial rústica que incrementa las fuerzas restrictivas de fricción del pavimento de concreto, las que, a su vez, aumentan la posibilidad de aparición de fisuras aleatorias.

5.5 CAPAS DRENANTES

Algunos diseños de pavimentos rígidos incorporan una capa drenante. Cuando se la usa, el pavimento o la base se construye directamente sobre ésta. Las capas drenantes pueden ser estabilizadas o no estabilizadas.

Generalmente se usan capas drenantes estabilizadas con cemento o asfalto. La capa estabilizada proporciona una mayor estabilidad durante la construcción. La porosidad de la capa drenante debe ser en función de las necesidades anticipadas de la rápida eliminación del agua. Se debe

considerar en su diseño un equilibrio entre la necesidad de estabilidad y porosidad, teniendo más peso la porosidad. El espesor de la capa drenante suele ser entre 10 y 15 cm (entre 4 y 6”).

No se recomienda el empleo de capas drenantes de agregados de granulometría abierta en pavimentos para aeronaves de cabina ancha. Estas capas no proporcionan la estabilidad necesaria y es común que se presenten problemas asociados a su construcción (ahuellamiento debido al tránsito, etc.). Si es necesario construir una capa de granulometría abierta, deberá colocársela más abajo dentro de la estructura para reducir las tensiones en la capa.

5.6 CUESTIONES RELACIONADAS CON LAS BASES ESTABILIZADAS

Las bases estabilizadas proporcionan una plataforma de pavimentación rígida y, por lo tanto, un soporte uniforme para el pavimento. Sin embargo, también tienen el potencial de aumentar el alabeo, curvado y las fuerzas restrictivas de fricción de las losas de concreto. Esto acota las probabilidades de aserrar juntas y aumenta la posibilidad del agrietamiento aleatorio en el pavimento. El proyectista debe considerar estas cuestiones en la distribución de las juntas y en las especificaciones constructivas.

MATERIAL RECOMENDADO:

Las capas drenantes estabilizadas son necesarias para la constructabilidad.

Debido a la falta de estabilidad, el material no estabilizado puede presentar complejos problemas constructivos.

Las capas drenantes pueden aumentar las fuerzas de restricción traduciéndose en agrietamientos en edad temprana.

BASE TRATADA CON CEMENTO:

Aplique doble capa de membrana de curado con base de cera o un geotextil para reducir las restricciones.

Si la CTB se corta luego de su curado, aplique otra mano de membrana de curado.

Reduzca la distancia entre juntas del pavimento.

Asierre las juntas lo antes posible.

CONCRETO ECONÓMICO (ECONOCRETO):

Aplique doble capa de membrana de curado con base de cera o un geotextil para reducir las restricciones.

Si la resistencia excede los 8.600 kPa (1.250 psi) construya juntas en el econocreto y hágalas coincidir con el patrón de juntas del pavimento.

Reduzca la distancia entre juntas del pavimento.

Asierre las juntas lo antes posible.

BASE TRATADA CON ASFALTO:

Blanquee la superficie para bajar la temperatura superficial de la base en el momento de la pavimentación.

Si se usa el fresado para corregir la rasante de la ATB, especifique una siguiente capa de nivelación.

Reduzca la distancia entre juntas del pavimento.

Asierre las juntas lo antes posible.

5.7 GUÍA DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Problema	Causa probable	Acción correctiva
Base y subbase granulares: La superficie parece suelta	Densidad baja Capa demasiado gruesa para su compactación Apisonado insuficiente	Revise el contenido de humedad y la densidad Reacondicione a la humedad óptima y recompacte el área
Base y subbase granulares: Depresiones o movimiento excesivo bajo el apisonador	Alto contenido de humedad Capa débil debajo de la base o subbase	Revise el contenido de humedad y reacondicione a la humedad óptima si está alto Sondee la rasante con DCP para encontrar la capa débil Estabilice el área
Un pájaro se baña en la rasante terminada	Control inadecuado de la rasante	Haga un relevamiento de la rasante y corrija las áreas deficientes

6. PREPARACIÓN PARA LA PAVIMENTACIÓN CON CONCRETO

Antes de comenzar con la producción del pavimento, deben haberse implementado los siguientes pasos esenciales:

1. Revise todo el equipo que conforme el tren de pavimentación, para garantizar las condiciones operativas.
2. Verifique la disponibilidad de una longitud aceptable de rasante para su pavimentación con concreto.
3. Verifique la disponibilidad de todos los informes de ensayos aprobados para todos los materiales acopiados en la obra y en la planta.
4. Verifique la disponibilidad del equipo de ensayos de respaldo: prepare planes adicionales de equipamiento de respaldo.
5. Verifique la disponibilidad de todas las herramientas para la colocación del concreto, tales como herramientas de mano, reglas, llanas (fratás) de mano, cortabordes y vibradores manuales.
6. Verifique el funcionamiento de las comunicaciones radiales/telefónicas con la planta.
7. Verifique la disponibilidad de un equipo de riego, si es necesario.
8. Monitoree regularmente la cuerda de guía y vuelva a tensar según sea necesario.
9. Verifique que la cabecera correspondiente al trabajo del día esté preparada (si es necesario o sólo quite el exceso mediante corte con sierra).
10. Desarrolle un plan de gestión para condiciones climáticas extremas.
11. Revise el pronóstico del clima para cada jornada de pavimentación
12. Asegúrese la disponibilidad de cantidad suficiente de cubierta plástica para el caso de una lluvia repentina o inesperada.

En este capítulo se tratan diversos puntos previos a la pavimentación, incluidos el control y la aprobación de la rasante, la inspección de la operatividad de la planta de concreto y la inspección del equipo de pavimentación. El tratamiento anticipado de estos puntos puede ayudar a evitar problemas relacionados con la calidad del concreto, el espesor del pavimento y las operaciones de colocación y terminación del concreto.

6.1 APROBACIÓN DE LA RASANTE

La rasante se aprueba luego de haber colocado, cortado, nivelado y compactado la capa de base. Una base apropiada asegura que se alcance el espesor nominal de pavimento, y que los perfiles y cotas sean conformes a la documentación contractual. Deben revisarse los siguientes puntos en cuanto a la rasante:

1. Normalmente se exige el cumplimiento de las tolerancias altimétricas para cada capa del pavimento. Las cotas y las tolerancias para la subrasante, las capas estabilizadas y no estabilizadas, y la parte superior del pavimento se muestran en los planos respectivos.
2. Los puntos principales a considerar antes de la pavimentación son:
 - a. El efecto de la rasante sobre el volumen de concreto colocado: el impacto del costo del material si la rasante final está baja.

- b. El efecto de la rasante sobre la variabilidad de espesor del pavimento: si la rasante final es variable, afectará el espesor determinado con el muestreo por testigos. La variabilidad del espesor del pavimento debe minimizarse, ya que puede afectar el pago por espesor. El ítem pago por espesor puede basarse en un porcentaje dentro de los límites (PWL). En tal caso, la variabilidad puede impactar significativamente la recepción para el pago.
 - c. Antes de pavimentar, es necesario retirar los residuos sueltos.
3. Es crucial realizar un control apropiado de la rasante ya que afecta el drenaje durante la construcción y la vida útil del pavimento.

6.2 FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE CONCRETO

El concreto es un producto manufacturado, cuya calidad y uniformidad dependen del control ejercido sobre su elaboración. La planta debe estar en buenas condiciones, operar de forma confiable y producir concreto aceptable en forma uniforme entre un pastón y otro. En la Figura 6.1 se muestra una distribución típica de planta.



Figura 6.1 – Distribución habitual de una planta de concreto

La segregación y el contenido variable de humedad de los agregados afectan en gran medida la calidad y uniformidad del concreto. Generalmente se especifican la planta y el equipo para que cumplan con la norma ASTM C 94 estándar sobre concreto amasado en planta. Los puntos clave que se detallan en la ASTM C 94 son los siguientes:

- Silos para agregados separados para cada tamaño de agregado grueso con la capacidad de cortar con precisión el aporte de material.
- Controles para monitorear las cantidades de agregados durante la carga de la tolva.
- Escalas con precisión del $\pm 0,2\%$ probadas dentro de cada cuarto del total de la escala. Se debe disponer de pesas de prueba estándar adecuadas para controlar la exactitud de las escalas.
- Agua agregada con una precisión del 1% del total de agua requerida para la mezcla.

El representante del propietario debería inspeccionar la planta antes del comienzo de la pavimentación; para ello, se recomienda el uso de la lista de control de la National Ready Mixed Concrete Association (Asociación Nacional de Concreto Elaborado de los EE.UU., NRMCA). Se deben revisar las plantas antes del inicio (o el reinicio) de cada proyecto de pavimentación y cuando se detectan problemas de uniformidad o resistencia durante la producción.

Se debe optimizar el flujo de tránsito en la planta. Los elementos a considerar incluyen:

1. La entrega de materias primas
2. El despacho de concreto hacia la pavimentadora
3. Las operaciones relacionadas con el Plan de gestión de calidad (QMP) y el Control de calidad del contratista (CQC)
4. La operación de los equipos para el manejo de los acopios de agregados
5. Los requisitos de seguridad de la planta.

Finalmente, se debe proporcionar un drenaje positivo dentro del sitio de la planta.

LISTA DE CONTROL DE LA PLANTA DE CONCRETO:

1. Controle las fundaciones de los acopios por la separación apropiada y el drenaje adecuado.
2. Revise los silos por particiones adecuadas para prevenir el entremezclado de los agregados.
3. Verifique las escalas con pesas de prueba en todo el rango a ser usado.
4. Revise los sellos de las escalas colocados por un organismo autorizado.
5. Verifique la precisión del medidor de agua.
6. Revise las líneas en busca de pérdidas.
7. Verifique la capacidad de las calderas y enfriadores si se prevé su uso.
8. Verifique la precisión de los dosificadores de aditivos.
9. Revise las mezcladoras en busca de concreto endurecido alrededor de las hojas.
10. Inspeccione la limpieza de las unidades transportadoras de concreto.
11. Revise para asegurarse de que todos los materiales intervinientes en la elaboración del concreto hayan sido certificados y aprobados para su uso.
12. Observe las tareas en los acopios: verifique que no se producirán segregación ni contaminación.
13. Observe la carga de los silos: verifique que no se producirán segregación ni contaminación.
14. Revise los ensayos de humedad de los agregados.
15. Observe las tareas de elaboración del concreto al inicio y periódicamente durante la producción.
16. Verifique el cero de las escalas.
17. Verifique para asegurarse de que se ingresen los pesos de pastón correctos en las escalas.

6.2.1 Manejo de los acopios de agregados

Se deben desarrollar e implementar los procedimientos para el manejo de los acopios. Deben tratar acerca de las mantas de almacenamiento para acopios, manteniendo a los cubos de las

cargadoras lejos del suelo, la descarga de camiones, las alturas máximas de los acopios, la carga de silos, el muestreo de control de calidad, el riego con agua, el lavado de los agregados y sus humedades. Los siguientes son puntos clave referentes al manejo de acopios de agregados:

1. Es necesario manipular y almacenar los agregados de un modo tal que permita minimizar la segregación y la degradación, y prevenir su contaminación por sustancias deletéreas.
2. Los acopios de agregado deben monitorearse estrechamente y deben mantenerse con un contenido de humedad en o por sobre la condición saturada y superficie seca (SSS). Esto es particularmente importante en el caso de agregados absorbentes que se usan durante clima caluroso.
3. Si la humedad de los agregados varía durante el día, deberá incrementarse la frecuencia de determinación de su contenido de humedad. La variabilidad del contenido de humedad aumenta cuando las palas cargadoras sacan agregados de un sector del acopio, o si el riego de los acopios no es uniforme.
4. Es necesario ajustar la cantidad de agua en la mezcladora de acuerdo con la humedad del agregado. En tiempo caluroso, se debe contemplar el uso de agua enfriada.
5. Limite la altura desde la que se deja caer el agregado al formar el acopio. Es necesario formar el acopio por capas de espesor uniforme. Al retirar agregados de un acopio (con una cargadora frontal), debe hacerse verticalmente desde abajo hacia arriba, para que cada carga contenga una porción de cada una de estas capas.
6. Los acopios deben estar separados entre sí. Si no hay suficiente lugar como para mantener separadas las distintas granulometrías, se deberá usar una mampara divisoria.
7. No debe permitirse el uso de aplanadoras en los acopios, ya que éstas rompen el agregado y segregan los tamaños de las partículas.
8. El manejo apropiado de los acopios reduce la probabilidad de la contaminación de los agregados. Ésta última ocurre generalmente cuando los camiones que descargan el material también acarrear barro y lodo. También puede producirse la contaminación si los agregados no se descargan sobre cintas transportadoras, y en su lugar se acopian mediante cargadoras frontales. Deben estabilizarse las calles de acarreo y el área de descarga a fin de minimizar la contaminación de los agregados por parte de los camiones. La contaminación también puede producirse cuando las cargadoras, al cargar los silos con agregados, raspan el fondo del acopio. En las Figuras 6.2 y 6.3 se muestran ejemplos de acopios de agregados.



Figura 6.2 – Trabajando en el acopio de agregados



Figura 6.3 – Un acopio excesivamente alto

6.2.2 Ensayo de uniformidad del concreto

Se debe efectuar el ensayo de uniformidad del concreto antes de comenzar la pavimentación, usando como guía la ASTM C 94. Estos ensayos también se usan para establecer los tiempos mínimos de mezclado. Los ensayos de uniformidad comparan las diferencias entre las muestras de concreto tomadas aproximadamente al 15 y al 85% de la descarga del tambor. Estos ensayos incluyen:

1. Densidad (peso unitario)
2. Contenido de aire
3. Asentamiento
4. Contenido de agregado grueso
5. Peso unitario del mortero libre de aire
6. Resistencia a la compresión del concreto a los 7 días.

Las diferencias entre el concreto descargado al 15% y al 85% deben ser menores que las diferencias máximas permitidas establecidas en la ASTM C 94 para cinco de cada seis ensayos. Los tiempos mínimos de mezclado para la producción se establecen mediante los ensayos de uniformidad del concreto.

6.3 CUESTIONES RELACIONADAS CON EL EQUIPO DE PAVIMENTACIÓN

Los siguientes son procedimientos de control del equipo de pavimentación:

1. Verifique la disponibilidad de las piezas necesarias del equipo. Por ejemplo, la cantidad de camiones de acarreo de concreto afectará la productividad con moldes deslizantes. Debería haber equipo adicional en el sitio (como sierras para concreto) para el caso de un desperfecto mecánico.
2. Asegúrese de que el equipo funcione correctamente.

- El equipamiento inspeccionado debe incluir los camiones de acarreo de concreto, los colocadores de concreto, los distribuidores, las pavimentadoras con moldes deslizantes, equipos de curado/texturizadores y equipos de aserrado.
3. Inspeccione las pavimentadoras de moldes deslizantes para asegurar que se puede lograr una consolidación apropiada mediante vibración. Se debe revisar la frecuencia y la amplitud de los vibradores antes de comenzar a pavimentar. Normalmente los vibradores sin carga poseen una frecuencia de 6.000 a 12.000 vibraciones por minuto y una amplitud entre 0,6 y 1,3 mm (0,025 y 0,05”). Los vibradores se deben ajustar a una altura tal que no interfieran con los armazones con pasadores precolocados.
 4. Se debe revisar el equipo de aplicación del curado para asegurar una aplicación uniforme y apropiada del compuesto de curado.
 5. Las hojas de las sierras para el aserrado de juntas deben ser aptas para el tipo de agregado usado en la mezcla.

6.4 CUESTIONES RELACIONADAS CON LA CUERDA DE GUÍA

La precisión de las cotas y las distancias de desplazamiento para los puntos de referencia de la rasante son importantes para la lisura final de la superficie del pavimento. Estas cotas y distancias de desplazamiento proporcionan la base para el establecimiento de la cuerda de guía. Esta última se usa como referencia precisa para el control altimétrico y de alineación para el corte de la rasante, la colocación de la subbase/base y el tren de pavimentación con concreto. Cualquier error en la cuerda de guía se reflejará en el producto final.

La implantación de la cuerda de guía requiere de una planificación cuidadosa. Es importante el intervalo entre las estacas, particularmente en las curvas verticales. En los alineamientos rectos, un intervalo máximo entre estacas de 7,5 m (25 pies) dará un buen producto final. Será necesario un intervalo menor en las curvas verticales, para producir pavimentos uniformes y las necesidades deben basarse en función del índice de cambio de curvatura.

AYUDAS PARA LA CUERDA DE GUÍA:

- Use estacas rígidas
- Use una cuerda de calidad nueva o en buen estado
- Evite nudos y empalmes
- Evite las flechas perceptibles.
- Revise visualmente para detectar errores e irregularidades en el estaqueo
- Monitoree, proteja y mantenga la línea
- Ajuste la distancia entre estacas para adaptarlas a las condiciones.

TIPO DE CUERDA DE GUÍA:

Los materiales para la cuerda de guía pueden incluir los siguientes:

1. Línea de nylon trenzado (poliéster, Kevlar, polietileno)
 - a. Generalmente, cuerda trenzada de 3 mm (1/8") de diámetro
 - b. Liviana, pero con buena resistencia a la tracción
 - c. No se riza como el alambre
 - d. No lastima las manos (cortes)
 - e. Desarrolla una flecha
 - f. Se estira con el tiempo
 - g. Requiere monitoreo frecuente
2. Cable para aeronave
 - a. Generalmente, cable galvanizado de 2,5 mm (3/32")
 - b. No es tan fácil de empalmar como la cuerda de nylon
 - c. Menor flecha
 - d. Menor impacto climático (humedad)
 - e. Menor estiramiento con el tiempo

7. MEZCLA DE CONCRETO

7.1 INTRODUCCIÓN

La calidad de un concreto se define normalmente en términos de trabajabilidad (docilidad), resistencia y durabilidad. Estos tres aspectos de la calidad del concreto se deben optimizar para un proyecto dado. Muchos ingenieros proyectistas y algunos contratistas priorizan erróneamente los requisitos de resistencia por sobre los requisitos de calidad, dado que la resistencia del concreto es un componente importante del cronograma de pagos.

En esta sección se tratan las consideraciones acerca del diseño de la mezcla de concreto. Sin embargo, no se incluye información específica acerca de cómo diseñar las mezclas. Se citan guías apropiadas de referencia para tal fin.

PUNTOS DESTACADOS DEL CONCRETO:

El concreto es, básicamente, una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. En esta mezcla, las partículas de agregado están completamente recubiertas por la pasta. Esta última consiste en materiales cementicios y agua e incorpora aire atrapado o aire incorporado adrede. Los agregados representan aproximadamente entre el 60 y el 75% del volumen total del concreto.

La calidad del concreto depende de la calidad de los agregados, y la pasta y la adherencia entre ambos. La cantidad de agua usada afecta en gran medida la calidad de la pasta: normalmente, a mejor calidad de agua, mejor calidad del concreto. Por lo general se especifica una relación agua/materiales cementicios máxima, para evitar el exceso de agua y para asegurar una buena calidad de pasta. La limpieza de los agregados también afecta la adherencia pasta/agregados y la calidad del concreto.

Es posible cambiar las propiedades del concreto recién mezclado (fresco, plástico) agregándole aditivos químicos, usualmente en forma de líquidos, durante su elaboración. Los aditivos químicos se usan comúnmente para mejorar o controlar los siguientes atributos:

- Trabajabilidad
- Aire incorporado
- Demanda de agua
- Tiempo de fraguado
- Otras propiedades.

Cuando ha sido correctamente mezclado, colocado y curado, el concreto tiene la resistencia y la durabilidad para proporcionar un buen desempeño a largo plazo del pavimento bajo una diversidad de condiciones de servicio.

7.1.1 Requisitos para una mezcla de concreto

Generalmente, para pavimentos de aeródromos comerciales, se usa la norma FAA P-501 para establecer los requisitos para el concreto para pavimento. Se establecen los requisitos para los agregados (grueso y fino), los materiales cementicios, los aditivos, el diseño de la mezcla y la aprobación del concreto. Generalmente se requieren los siguientes atributos para el concreto empleado en pavimentos aeroportuarios.

- Resistencia a la flexión mínima a los 28 días de 4 MPa ó 40 kg/cm² (600 psi) (o una resistencia a la compresión a los 28 días de 30 MPa ó 306 kg/cm² (4.400 psi) para pavimentos diseñados para contener a aeronaves con un peso total de 13.600 kg (30.000 lbs) o menos).
- Contenido mínimo de cemento de alrededor de 300 kg/m³ (500 lbs/yd³).
- Relación agua-cemento (a/c) máxima de 0,50 (Nota: en áreas con ciclos intensos de congelación-deshielo, no debe superar 0,45. Para áreas severamente expuestas a los sulfatos, debe limitarse la relación a/c a 0,40).
- Asentamiento para concreto con moldes fijos laterales: 25 a 50 mm (1 a 2”) y para concreto para moldes deslizantes: 13 a 38 mm (1/2 a 1½”).
- El contenido de aire se basa en la condición de exposición y el tamaño máximo de los agregados.
- Módulo de finura de los agregados finos entre 2,5 y 3,4.

REQUISITOS MILITARES:

El Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. usa, a los fines del diseño de pavimentos, una resistencia a la flexión a 90 días, pero permite el empleo de ensayos de la resistencia a la compresión para la aprobación de la resistencia en obra. Durante la fase de diseño de la mezcla de concreto se desarrollan correlaciones específicas para el proyecto. El ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días lo realiza QC y el correspondiente a los 14 días lo lleva a cabo QA.

CUESTIONES RELACIONADAS CON EL DISEÑO DE LA MEZCLA:

1. Generalmente, los procedimientos de diseño de mezclas no tratan directamente la trabajabilidad del concreto. Sin embargo, intentan definir indirectamente la trabajabilidad en términos del ensayo de asentamiento. Este último no es un indicador cierto de la trabajabilidad del concreto, especialmente para la colocación mediante moldes deslizantes. El contratista debe reconocer que además de diseñar la mezcla para que cumpla con la resistencia, asentamiento y contenido de aire, debe diseñar la misma para asegurar la trabajabilidad para las características de mezcla dadas, el equipo de pavimentación proyectado y las condiciones ambientales esperadas para la época de la pavimentación.
2. Los requerimientos de diseño de la mezcla no tratan el tema de la granulometría de los agregados. Pueden existir requisitos contradictorios relacionados con la granulometría permitida de los finos, en términos del material pasa tamices N° 50 y N° 100 y también con respecto al módulo de finura. Es necesario que el contratista revise dichos requisitos en la fase de diseño de la mezcla de concreto. La norma ASTM C 33 proporciona una guía al respecto.

7.1.2 Proceso de diseño de la mezcla en laboratorio

El siguiente es un análisis sobre el procedimiento para establecer las proporciones en las mezclas de concreto, adaptado del procedimiento de diseño de mezclas de la Asociación del Cemento Pórtland de los EE.UU., PCA.

1. Obtenga la información requerida (por ej.: granulometría, absorción, peso específico, etc.) para los materiales a emplear.
2. Identifique los requisitos de proyecto para la relación máxima a/c, contenido de aire nominal, asentamiento, resistencia a los sulfatos y resistencia.
3. Elija el asentamiento. Para los pavimentos con moldes deslizables, debe estar comprendido entre 13 y 38 mm (1/2 a 1½”) para minimizar el asentamiento en los bordes.
4. Escoja el tamaño máximo del agregado. Use el tamaño máximo de agregado disponible entre las opciones económicas y que pueda ser colocado y consolidado.
5. Estime el agua para la mezcla y el contenido de aire.
6. Seleccione la relación agua-materiales cementicios (a/c). Determine la relación a/c necesaria para alcanzar los requisitos de resistencia y durabilidad. Para el concreto expuesto a la congelación, la relación a/c no debe exceder de 0,45. Posiblemente deba ser inferior para resistir el ataque de los sulfatos.
7. Calcule el contenido de materiales cementicios. Estime las proporciones de los distintos materiales cementicios a usar de acuerdo con las propiedades deseadas.
8. Estime los contenidos de agregados grueso y fino.
9. Ajuste de acuerdo con la condición de humedad de los agregados.
10. Realice pastones (amasadas) de prueba. Éstos determinarán las proporciones exactas de las propiedades que se desea obtener, así como de las dosificaciones de aditivos requeridos. La dosificación de aditivos puede necesitar algún ajuste para alcanzar el

contenido de aire y asentamiento requeridos cuando se escala el pastón de laboratorio al pastón de carga completa en la obra.

PAUTAS PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA:

- Desarrolle mezclas con diferentes relaciones a/c para establecer la sensibilidad de la resistencia a la flexión con un ligero cambio en la relación a/c (establezca una curva de 3 puntos).
- Monitoree las pérdidas de asentamiento durante la elaboración de los pastones (amasadas) de prueba. Una pérdida excesiva en el asentamiento (25 mm (1") en 15 minutos) puede indicar un falso fraguado o un problema de incompatibilidad entre materiales.
- Realice ensayos de resistencia a edad temprana (a 3, 7 y 14 días) para evaluar problemas potenciales a 28 días.
- Monitoree la temperatura de un cilindro de concreto bien aislado durante las primeras 12 horas. Un aumento de temperatura inferior a 5,5 °C (10 °F) puede indicar un retraso debido a incompatibilidad entre materiales.
- El concreto para colocar con tiempo caluroso debe contener menos cemento y más materiales cementicios suplementarios, preferiblemente cenizas volátiles clase F, arcilla expandida y/o escoria. Algunas cenizas volátiles clase C pueden ser aceptables para la colocación de concreto con tiempo caluroso, pero otras pueden ser problemáticas. Los pastones de prueba para el concreto para tiempo caluroso también necesitan incluir retardadores para verificar sus dosis y los efectos sobre el tiempo de fraguado.
- El concreto para colocación con tiempo frío necesita contener más cemento y menos materiales cementicios de reacción lenta (cenizas volátiles clase F, escoria). Si estos materiales se necesitan para otros fines, como el control de la ASR, se puede obtener la resistencia a edad temprana incrementando el contenido total de materiales cementicios, usando cemento tipo III, empleando agua caliente o reduciendo la relación a/c . Los pastones de prueba para el concreto para tiempo frío necesitan incluir aditivos acelerantes para verificar las dosis y sus efectos sobre el tiempo de fraguado.
- Es necesario ensayar los pastones de prueba para el rango de temperaturas esperadas a lo largo de la duración de la obra.

7.2 CUESTIONES RELACIONADAS CON EL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO

El mejor diseño de mezcla de concreto da como resultado un concreto con las siguientes características:

1. Se mezcla, coloca, consolida y termina fácilmente bajo las condiciones de la obra.
2. Adquiere la resistencia a la compresión o a la flexión requerida en el tiempo deseado.
3. Será durable en su ámbito de servicio. La preocupación respecto de la durabilidad a menudo supera las limitaciones impuestas por los requisitos de resistencia.

7.2.1 Trabajabilidad

La trabajabilidad (docilidad) es una característica esencial del concreto. Es la facilidad de colocación, consolidación y terminación del concreto recién colocado sin que se produzca

segregación. La trabajabilidad también se especifica normalmente y en forma equivocada en términos de la medida del asentamiento. Sin embargo, debido a los diversos factores que influyen actualmente sobre el concreto, el asentamiento no se considera como una medida adecuada de la trabajabilidad y el contratista no debería confiar sólo en dicha variable para evaluar la trabajabilidad del concreto para la obra en cuestión..

TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO CONFORMADO MEDIANTE MOLDES DESLIZANTES:

El proceso de diseño de una mezcla de concreto no se debe enfocar únicamente en lograr los requisitos de resistencia y asentamiento. Lograr una trabajabilidad aceptable es igualmente crucial. Los factores relacionados con la trabajabilidad son los siguientes:

1. La segregación durante el transporte y la colocación.
2. La facilidad de consolidación que se traducirá en una matriz de concreto bien distribuida.
3. Bordes conformados mediante moldes deslizantes bien conformados con poco o ningún asentamiento.
4. Mínima terminación manual requerida detrás de la pavimentadora manipulando la superficie para lograr lisura y solidez.

La obtención de la trabajabilidad deseada para una mezcla dada, requiere la consideración de los siguientes elementos:

1. Agregados: tamaño, granulometría, forma de la partícula, demanda de agua, variabilidad.
2. Cemento: contenido de cemento, demanda de agua.
3. Ceniza volátil (si se usa): efecto sobre el fraguado inicial, demanda de agua, efecto sobre la terminación.
4. Cementos de escoria y escoria de alto horno granulada triturada fina (GGBFS): efecto sobre la terminación y el aserrado.
5. Agua: demanda total de agua.
6. Aditivos: el concreto con aire incorporado exhibe una mejor trabajabilidad, los reductores de agua disminuyen la demanda de agua mientras mejoran la trabajabilidad.

7.2.2 Resistencia

El proyectista del pavimento establece los requisitos de resistencia para el concreto que cumple con la intención para la cual fue proyectado. El requisito de resistencia puede fijarse en términos de resistencia a la flexión o a la compresión a las edades de 14, 28 ó 90 días. Es necesario establecer la desviación normal para la resistencia, para proporcionar una orientación sobre los niveles de resistencia a alcanzar durante la fase de diseño de la mezcla. Asimismo es necesario

producir el concreto de manera uniforme entre un pastón y otro para que la desviación normal del lote se mantenga lo más pequeña posible. Una desviación normal mayor para un lote se traducirá en una reducción en el factor de pago relacionado con la resistencia.

Para las colocaciones en tiempos fríos o calurosos, el calor de la hidratación es un tema de preocupación. Los pastones de prueba necesitan verificar que las mezclas propuestas alcanzarán las resistencias deseadas para colocaciones en tiempo frío y que no generarán calor excesivo cuando el concreto se coloque en tiempo caluroso. Remítase a las secciones 8.15 y 8.16, respectivamente, para obtener más detalles respecto de las inquietudes específicas que se deben tener en cuenta en condiciones de trabajo en tiempos fríos y calurosos.

Asimismo, es necesario desarrollar los diseños de mezclas para las áreas de colocación manual (con moldes fijos). Estas mezclas tienen requisitos de trabajabilidad diferentes que las mezclas a colocar mecánicamente. Sin embargo, los requisitos en cuanto a resistencia y durabilidad deben ser los mismos.

REQUISITOS PARA EL CONCRETO DE HABILITACIÓN TEMPRANA (“FAST TRACK”):

- Aunque la pavimentación de habilitación temprana (“fast track”) no necesariamente significa alta resistencia temprana del concreto, existen muchas situaciones en las que se especificará o será necesario el concreto de habilitación temprana o de alta resistencia temprana.
- Este tipo de concreto se adapta mejor para unir las áreas incorporando pistas de rodaje transversales o áreas de plataforma con alto volumen de tráfico.
- Se puede alcanzar la producción de concreto de habilitación temprana con ingredientes disponibles localmente y los métodos convencionales de construcción.
 - Normalmente, una mezcla de concreto de alta resistencia temprana convencional incorpora un factor de cemento mayor, una relación a/c optimizada, granulometría de agregados uniforme y aditivos según se necesiten. También se debe considerar el empleo de cemento tipo III.
 - No existen diseños de mezcla específicos o únicos para lograr un concreto de alta resistencia temprana. Se pueden diseñar una amplia gama de mezclas para satisfacer las necesidades del proyecto.
 - El concreto de alta resistencia temprana puede producirse usando cementos y aditivos de marcas reconocidas.
- Cuando se especifica este tipo de concreto, los requisitos de resistencia a edad temprana se definen generalmente en términos de la resistencia a la compresión:
 - Alrededor de 5 a 7 Mpa (750 a 1.000psi) en alrededor de 4 a 6 horas.
 - Alrededor de 14 a 21 Mpa (2.000 a 3.000psi) en alrededor de 24 horas.
- Aun así puede existir un requisito de lograr una resistencia a la flexión especificada a 14, 28 ó 90 días.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN VS. PORCENTAJES DE LOS MATERIALES DENTRO DE LOS LÍMITES ESPECIFICADOS (PWL):

La especificación guía FAA P-501 usa los criterios de aprobación de la resistencia a la flexión en términos de criterios estadísticos porcentaje de materiales dentro de los límites especificados (PWL). Conforme a este procedimiento, el pago por lograr el requisito de resistencia a la flexión está fuertemente influenciado tanto por la resistencia a la flexión promedio del sector, como por su desviación normal. La resistencia a la flexión promedio del sector debe ser lo suficientemente mayor a la resistencia a la flexión especificada y/o la desviación normal del sector significativamente menor para calificar para el pago completo o del premio. Esto requiere un buen control sobre el proceso de producción de concreto, así como también sobre el proceso de ensayo de vigas a la flexión. La P-501 requiere que el PWL sea 90 para calificar para el pago completo para un sector. El factor de pago tiene un beneficio potencial para el contratista por encima de un nivel de calidad de producción (PWL) de 96.

A continuación, un ejemplo calculado para ilustrar cómo las estadísticas de la resistencia afectan el factor de pago del sector.

Resistencia a la flexión especificada: 4,5 Mpa (650 psi)

Límite inferior de la tolerancia para la resistencia a la flexión (93%): 4,2 Mpa (604,5 psi)

Desviación normal: 350 kPa (50 psi) (representando un buen control de calidad) basada sobre 4 ensayos

<u>Resistencia promedio del sector, MPa</u>	<u>PWL del sector</u>	<u>Factor de pago del sector</u>
4,31 MPa (625 psi)	64	77,6
4,48 MPa (650 psi)	81	95,5
4,65 MPa (675 psi)	97	106,0

Tal como se ve en el ejemplo anterior, para calificar para el factor de pago para un sector, la resistencia a la flexión a lograr debe ser de alrededor de 4,55 MPa (660 psi) o mayor, aun cuando la desviación normal está limitada a 350 kPa (50 psi) (que representa un buen control sobre la producción como así también sobre los procesos de ensayo). Por lo tanto, es importante que el contratista considere tanto la resistencia a la flexión promedio como la uniformidad/consistencia del concreto. El contratista puede lograr una desviación normal menor (reducir la variabilidad) controlando la producción de concreto en sus diversas fases, produciendo concreto con propiedades consistentes de pastón a pastón y asegurándose que se sigan los procedimientos correctos para fabricar, manipular, almacenar y ensayar los especímenes.

7.2.3 Resistencia a los sulfatos

Si los suelos o el agua del subsuelo contienen sulfatos, el o los materiales cementicios deben ser lo suficientemente resistentes al ataque de los sulfatos y la relación agua/materiales cementicios deberá reducirse apropiadamente. Asimismo se debe considerar el empleo de puzolanas o escorias. A los efectos de la resistencia a los sulfatos, la consideración principal es el contenido de C_3A en el cemento. Sin embargo, un material cementicio adicional, con altos contenidos de CaO y Al_2O_3 , se agregará al contenido de C_3A del sistema, haciéndolo más vulnerable ante el ataque de los sulfatos. Algunas cenizas volátiles del tipo C pueden reducir la resistencia del concreto al ataque de los sulfatos. Sin embargo, si se incorpora la misma ceniza volátil tipo C al cemento combinado con yeso en cantidad suficiente, puede proporcionar una excelente resistencia a los sulfatos.

7.2.4 Incorporación de aire

El concreto sometido a la congelación debe contener un sistema bien distribuido de burbujas de aire atrapado finamente divididas para protegerlo de los daños debido a las heladas. Mientras que las especificaciones generalmente establecen un volumen requerido de aire medido según ASTM C 231 (método de presión) o ASTM C 173 (método volumétrico), dichos métodos no distinguen entre un buen sistema de burbujas de aire atrapado y uno malo. Se deben tener en cuenta los siguientes elementos:

1. Deben hacerse pastones de prueba para determinar la dosificación correcta del aditivo para las condiciones esperadas en el sitio de obra, incluida la temperatura.
2. Los requisitos típicos de contenido de aire para pavimentos oscilan entre el 5 y el 7%, según la exposición.
3. El volumen de aire requerido para la protección contra las heladas aumenta con la disminución en el tamaño de los agregados debido al aumento correspondiente de cantidad de estos últimos en la pasta de concreto.
4. A igualdad de los demás factores, un incremento en el contenido de aire se traduce en una disminución de la resistencia del concreto.
5. Se deben ensayar los parámetros del sistema de burbujas de aire atrapado en el concreto endurecido de acuerdo con ASTM C 457.
 - a. Es necesario un factor de espaciamiento de las burbujas de 0,20 mm (0,008") o menor.
 - b. Para concretos que contienen materiales cementicios suplementarios, se requiere un factor de espaciamiento de 0,15 mm (0,006") o menor.
6. Se debe permitir asentar el concreto para el pastón de prueba por un período representativo del tiempo de acarreo y luego medirlo al final de dicho período, para asegurarse de que el ensayo contempla la pérdida de aire. Cuando el concreto se despacha al sitio de colocación en camiones que no se agitan, la pérdida de aire puede estar entre 1 y 2 puntos porcentuales.
7. En un ambiente no congelante, si se ingresa aire con el solo propósito de mejorar la trabajabilidad, no corresponde aplicar los contenidos de aire mínimo requeridos para la protección contra las heladas.

8. Las operaciones típicas de pavimentación con moldes deslizantes reducen el contenido de aire en un 1 a 2% durante la consolidación.

7.3 CEMENTOS COMBINADOS Y MATERIALES CEMENTICIOS SUPLEMENTARIOS

El uso juicioso de materiales cementicios suplementarios, ya sea como componentes de cementos combinados o agregados en la mezcladora, puede mejorar sustancialmente las propiedades del concreto. A continuación se resumen los temas clave referidos al empleo de materiales cementicios y cementos combinados:

1. La ceniza volátil tipo C y la escoria contienen suficiente calcio para poseer algunas propiedades cementicias por sí mismas.
2. La ceniza volátil clase F y las puzolanas naturales reaccionan con el agua y el hidróxido de calcio de la hidratación del cemento Pórtland para formar hidrato de silicato de calcio.
3. La reactividad de los materiales cementicios y el grado de aumento de la resistencia del concreto que los contiene pueden variar significativamente según su composición química, mineralógica y de su finura.
4. La ceniza volátil puramente puzolánica clase F y las puzolanas naturales tienden a producir menor calor de hidratación y menores resistencias a edades tempranas que el cemento Pórtland.
5. La ceniza volátil clase C puede producir un calor de hidratación menor o mayor, y menor o mayor resistencia a edad temprana que el cemento Pórtland.
6. La escoria generalmente disminuye el calor de hidratación y la resistencia a edad temprana.
7. La mayoría de los materiales cementicios aumentan las resistencias a edades avanzadas.
8. Los materiales cementicios suplementarios apropiados, usados de modo adecuado, pueden proporcionar los siguientes beneficios:
 - a. Reducen la tendencia a la fisuración por temperatura, dado que disminuyen el calor de hidratación.
 - b. Aumentan la resistencia (particularmente a edades avanzadas).
 - c. Reducen la permeabilidad y la difusividad.
 - d. Controlan las expansiones debidas a la reactividad álcalis-sílice(ASR) y aumentan la resistencia al ataque por parte de los sulfatos.
9. Algunos materiales cementicios pueden ser mejores que otros para una aplicación determinada y otros pueden ser totalmente inapropiados.
10. Las puzolanas naturales pueden brindar un excelente desempeño, parecido a las cenizas volátiles clase C.
11. Si el agregado seleccionado es susceptible a la ASR, una ceniza volátil clase F puede ser la mejor forma de controlarla a igualdad de condiciones. La combinación de agregado, cemento y ceniza volátil debe ensayarse para determinar la cantidad de ceniza volátil necesaria.
12. Se considera a la ceniza volátil clase F como el material cementicio suplementario más eficaz para controlar el calor de hidratación, la ASR y la resistencia al ataque de los sulfatos.

13. Es importante destacar que algunos materiales cementicios suplementarios empeorarán las cosas en lugar de mejorarlas. Por lo tanto, es necesario ensayar cada combinación de materiales cementicios, agregados y aditivos.
14. Los cementos combinados que contienen ceniza volátil clase F, arcilla calcinada (expandida) y/o humo de sílice también se pueden usar para controlar el calor de hidratación, la ASR y la resistencia al ataque de los sulfatos.
15. Si el cemento combinado disponible no cumple con los requisitos para el control de la reacción álcalis-sílice o la resistencia a los sulfatos, se deberá agregar en la mezcladora material cementicio suplementario adicional del mismo tenor o diferente, según sea necesario.
16. Las mezclas ternarias, que contienen tres materiales cementicios, pueden ofrecer la mejor opción en algunas aplicaciones. Por ejemplo, un cemento tipo IS puede no ser suficiente en sí para la resistencia a los sulfatos requerida, pero la adición en la mezcladora ya sea de escoria o ceniza volátil tipo F puede mejorar su desempeño.

EL CASO DE LA CENIZA VOLÁTIL CLASE C:

La ceniza volátil clase C puede ser dañina para el desempeño del concreto, causando endurecimiento prematuro del concreto fresco, el agrietamiento por temperatura y/o una resistencia reducida a los sulfatos. Generalmente, no es eficaz para controlar las expansiones debidas a la ASR. La posibilidad de endurecimiento prematuro en presencia de ciertos aditivos reductores de agua y con tiempo caluroso se puede verificar como sigue:

- Ensaye el concreto elaborando pastones de prueba a la temperatura más elevada esperada.
- Verifique que la pérdida de asentamiento no sea demasiado rápida para las condiciones de obra y que los tiempos de fraguado sean aceptables.
- Si el concreto pierde asentamiento demasiado rápidamente, considere reducir la dosis de ceniza volátil, usando una ceniza diferente o usando un reductor de agua diferente.

7.4 INCOMPATIBILIDAD ENTRE MATERIALES

Algunos concretos exhiben características indeseables debido a la incompatibilidad entre los distintos materiales que los componen. Las características indeseables son:

1. Una rápida pérdida de la trabajabilidad (endurecimiento temprano)
2. Fraguado retardado
3. Fisuración a edad temprana debida a la contracción autógena y de secado del concreto.
4. Falta de un sistema apropiado de burbujas de aire atrapado.

MANIFESTACIONES DE LA INCOMPATIBILIDAD:

Endurecimiento temprano del concreto: sucede cuando no hay suficientes sulfatos en solución en el momento correcto para controlar la hidratación de los aluminatos. El endurecimiento temprano lleva a la pérdida de trabajabilidad, indicada por una pérdida de asentamiento. La pérdida de trabajabilidad lleva a dificultades en la colocación y consolidación del concreto. Se puede atribuir la tendencia al endurecimiento temprano no sólo a cada uno de los materiales cementicios por separado, sino también a las interacciones entre los diversos materiales cementicios y los aditivos químicos y las temperaturas ambientales.

Concreto retardado: aunque no es un fenómeno común, en ocasiones algunas obras de pavimentación experimentan problemas de fraguado del concreto. En estos proyectos, se puede retrasar el fraguado desde un par de horas hasta más de 24 horas. Una consecuencia de este problema es la imposibilidad de realizar el aserrado de juntas a tiempo, lo que lleva a agrietamientos incontrolados.

Contracción (retracción) del concreto: el agrietamiento prematuro del concreto puede deberse a diversidad de factores: La contracción puede ocurrir en el concreto fresco (plástico) o en el endurecido. El agrietamiento por contracción plástica se produce cuando el agua evapora rápidamente de la superficie del concreto fresco. El agrietamiento también puede producirse algo más tarde en la vida del pavimento debido a contracción autógena y de secado.

Sistema de burbujas de aire atrapado del concreto: los problemas relacionados con el uso de ciertos agentes incorporadores de aire incluyen:

1. Las acumulaciones de burbujas de aire atrapado alrededor de las partículas de los agregados que llevan a una pérdida de la resistencia.
2. Un sistema de burbujas de aire atrapado deficiente en el concreto endurecido que afecta la durabilidad de congelación-deshielo a largo plazo.

Estos problemas relacionados con incompatibilidades afectan la productividad de la obra y el desempeño a largo plazo del concreto. A medida que las mezclas de concreto, con el uso de los materiales cementicios suplementarios y las combinaciones de los aditivos químicos, se vuelven cada vez más complejas, la probabilidad de incompatibilidad entre los materiales cementicios y los aditivos aumenta de acuerdo con la cantidad de ingredientes que se agregan a la mezcla. El problema se complica porque:

1. No se conocen a ciencia cierta los factores que llevan a la incompatibilidad entre diversos materiales cementicios y los aditivos.
2. Faltan ensayos para determinar la incompatibilidad entre materiales.
3. Dicha incompatibilidad puede estar inducida por los cambios de temperatura. Por consiguiente, se debe ensayar pastones de prueba a las temperaturas extremas previstas en obra.

Los pasos para minimizar los problemas de incompatibilidad incluyen los siguientes:

1. Todos los aditivos usados en el proyecto deben provenir del mismo fabricante para asegurar su compatibilidad. No exceda las dosis recomendadas.
2. Asegúrese de que todos los materiales cementicios cumplan con las especificaciones del proyecto y/o los requisitos de las normas ASTM correspondientes.

Asimismo, se recomienda contar con diseños de mezcla para tiempo frío y caluroso en zonas de amplitud térmica estacional significativa.

7.5 REQUISITOS PARA LOS AGREGADOS

7.5.1 Granulometría de los agregados

Las mezclas de concreto producidas con una combinación de agregados bien gradados tienden a:

1. Reducir la necesidad de agua
2. Proporcionar y mantener una trabajabilidad adecuada
3. Requerir una terminación mínima
4. Consolidarse sin segregarse
5. Mejorar la resistencia y el desempeño prolongado.

Las mezclas de concreto producidas por medio de una combinación de agregados de granulometría deficiente tienden a:

1. Segregarse fácilmente
2. Contener mayores cantidades de finos
3. Requerir mayor cantidad de agua
4. Incrementar la susceptibilidad de agrietamiento
5. Limitar el desempeño prolongado.

La granulometría de la fracción de agregados finos también es importante: finos demasiado pequeños dificultan la extrusión y la terminación además de aumentar la tendencia a la exudación (sangrado); un exceso de finos aumenta la demanda de agua por parte del concreto y la dosis requerida de aditivo incorporador de aire (aireante)

La granulometría combinada de los agregados se usa para calcular los factores de grosor y de trabajabilidad de la siguiente manera:

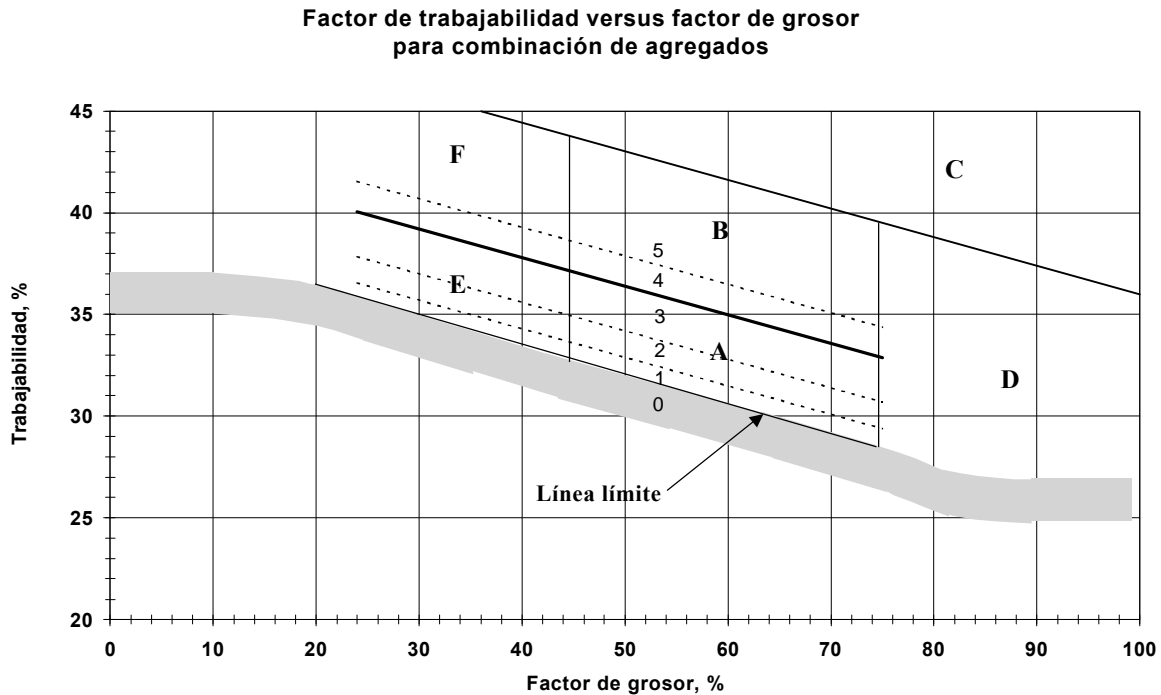
$$\text{Factor de grosor} = 100 \left(\frac{\% \text{ retenido tamiz } 9,5\text{mm (3/8")}}{\% \text{ retenido tamiz } 2,36\text{mm (\#8)}} \right)$$

$$\text{Factor de trabajabilidad} = \% \text{ pasa tamiz } 2,36\text{mm (\#8)}$$

Nota: Es necesario aumentar el factor de trabajabilidad en un 2,5% para cada incremento de 43 kg (94 lbs) de material cementicio por encima de los 335 kg/m³ (564 lbs/yd³).

El factor de trabajabilidad se grafica en función del factor de grosor, tal como se muestra en la Figura 7.1., y se evalúa de la siguiente manera:

1. Las combinaciones de agregados con un punto del medio hacia arriba del cuadro A y desde la parte inferior hacia el medio del cuadro B producirán mezclas aptas para la pavimentación con moldes deslizables. Sin embargo, los agregados, basados en su textura y forma, que caen dentro de otras zonas del gráfico, también pueden ser aceptables para la pavimentación con moldes deslizables.
2. Las combinaciones de agregados que caen dentro del tercio izquierdo del cuadro A producirán mezclas aptas para la pavimentación con moldes fijos.
3. Las combinaciones de agregados que caen dentro de la zona media del cuadro B producirán mezclas aptas para áreas con colocación manual del pavimento.
4. Las combinaciones de agregados que se muestran cerca del límite inferior pueden tender a contener una cantidad excesiva de agregado grueso.



**Figura 7.0 – Factor de trabajabilidad de los agregados
(cortesía del Depto. del Transporte de Iowa, EE.UU.)**

5. Las combinaciones de agregados con un punto por debajo de la línea límite inferior producirán mezclas rocosas con inadecuada cantidad de mortero.

6. Las combinaciones de agregados por encima de la línea límite superior (área C) producirán mezclas arenosas con altas cantidades de finos que requieren mayores contenidos de agua y conllevan la posibilidad de disgregarse.
7. Las combinaciones de agregados cerca de la parte superior del cuadro B tenderán a tomar las características de las del área C.
8. Las combinaciones de agregados con factores de grosor mayor que 75 (cuadro D) producirán mezclas de granulometría deficiente, con trabajabilidad inadecuada y un alto potencial de segregación.
9. Las combinaciones de agregados con un punto dentro del cuadro E o F, se relacionan, respectivamente, con el cuadro A o B para tamaños de agregados menores a los 19 mm (3/4”).

Cuando se usa el gráfico grosor/trabajabilidad, se supone que las partículas tienen forma redondeada o cúbica. Estos tipos de formas de agregados normalmente mejoran las características de trabajabilidad y terminación. Por el contrario, los agregados chatos y elongados generalmente limitan dichas características.

7.5.2 El caso de los agregados de escorias

Los agregados de escoria de hierro correctamente envejecida o de alto horno tienen un buen historial de desempeño. Sin embargo, es muy importante controlar el contenido de humedad cuando se usa este tipo de agregados. Los problemas potenciales incluyen variaciones en la trabajabilidad y la consolidación. Si no se maneja bien la humedad del agregado de escoria, el concreto colocado puede presentar “nidos de abejas” y bordes de conformación deficiente.

Las escorias provenientes de molinos de acero de hornos de solera no deben emplearse como agregados para el concreto o para el econocreto/concreto económico, dada la naturaleza expansiva de los agregados de escoria de acero.

7.5.3 El caso de los agregados de concreto reciclado

El concreto reciclado, o concreto triturado, es una fuente factible de agregados siempre y cuando cumpla con los requisitos específicos de proyecto para los agregados. El concreto reciclado posee, generalmente, una mayor absorción que los agregados vírgenes y posiblemente necesite más agua para alcanzar la misma trabajabilidad y asentamiento que la de un concreto con agregados vírgenes. El agregado reciclado también requiere de cemento adicionado para alcanzar la trabajabilidad deseada. Un problema potencial que se presenta con el uso del agregado reciclado es que la variabilidad de las propiedades del concreto viejo puede afectar las propiedades del nuevo. Es conveniente evaluar los agregados reciclados para concreto mediante un examen petrográfico.

7.6 AJUSTES EN OBRA DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Durante el período constructivo puede presentarse escasez o desabastecimiento de cemento u otros ingredientes del concreto. Si es necesario cambiar el tipo, la fuente o la marca del material

cementicio, los aditivos o la fuente de los agregados, se deberán realizar pastones de prueba para verificar que se mantienen las condiciones requeridas. Serán necesarios ciertos ajustes menores en las proporciones de la mezcla de concreto debido a cambios climáticos, y para mantener la trabajabilidad y el contenido de aire especificados. Sin embargo, si se aumenta el contenido de aire o si se agrega agua por sobre la relación a/c de diseño, puede disminuir la resistencia del concreto.

DISEÑO DE MEZCLAS EN LABORATORIO FRENTE A MEZCLAS EN PLANTA:

Es necesario tomar nota de las siguientes diferencias entre el mezclado en laboratorio y en planta:

- Las diferencias en el tamaño del pastón y el tipo de mezclador se traducirán en diferencias en la eficacia del mezclado. Puede ser necesario ajustar las dosis de los aditivos químicos para obtener la trabajabilidad y el contenido de aire deseados.
- El procedimiento normal de mezclado en laboratorio ocultará cualquier tendencia del concreto al falso fraguado. Una mezcla de concreto que se comporta apropiadamente en el laboratorio puede fraguar en falso cuando se mezcla en la planta. En laboratorio, ensaye el asentamiento luego de transcurridos los 3 minutos iniciales de mezclado y compare con el asentamiento luego del mezclado final para verificar la tendencia al falso fraguado.
- La temperatura puede afectar significativamente la trabajabilidad, la demanda de agua, la pérdida de asentamiento, el contenido de aire y el fraguado. Los diseños de mezclas en laboratorio deben llevarse a cabo a la o las temperaturas esperadas en obra.
- Ensaye el asentamiento y el contenido de aire cada 10 a 15 minutos durante una cantidad de tiempo suficiente luego del mezclado inicial para simular el mayor tiempo previsto de acarreo.
- Cuando se prevén tiempos de acarreo prolongados, el contenido de aire inicial debe ser mayor que el requerido en la colocación, para compensar la pérdida de aire durante el tránsito.
- El diseño de mezcla no debe presentar demasiada sensibilidad a las temperaturas de colocación elevadas, las variaciones en el contenido de humedad de los agregados o ligeras variaciones en los pastones.
- No debe usarse rutinariamente en laboratorio la dosis máxima de reductor de agua recomendada por el fabricante para lograr una trabajabilidad aceptable, dado que, en ese caso, no habría posibilidad de aumentar la dosificación en obra sin afectar el tiempo de fraguado.
- Monitoree de cerca las propiedades de los materiales del concreto así como las propiedades del concreto fresco durante los primeros días de obra para que rápidamente se puedan efectuar ajustes si es necesario.
- Realice ensayos de resistencia a los 3, 7 y 14 días usando concreto de obra. Si los resultados no siguen a aquellos obtenidos en laboratorio, entonces puede existir un problema. Detenga las tareas de pavimentación y vuelva a diseñar la mezcla de concreto. En este caso, deberá preocuparse por sólo unos pocos días de concreto.
- Las posibles razones de la diferencia de comportamiento entre la mezcla de planta y la de laboratorio pueden incluir:
 - Temperatura ambiente
 - Tiempo de mezclado
 - Diferencias en los materiales (los materiales en laboratorio están más limpios, diferentes características del cemento).
 - Diferencias en el proceso de mezclado (tambor vs. mezclador de laboratorio).
 - Contenido de humedad de los agregados
 - Diferencias en la carga de los materiales.
- El empleo de cemento recién elaborado durante la época de mayor de construcción puede traducirse en:
 - Tendencia al falso fraguado
 - Cambios en la demanda de aditivos: puede necesitar más cantidad en obra que en el laboratorio.

Los ajustes en las dosis de aditivos son aceptables siempre y cuando las dosis máximas no excedan los valores máximos recomendadas por el fabricante. La dosis del aditivo incorporador de aire, requerida para inyectar un volumen dado de aire, variará con la temperatura del concreto. Si la dosis necesaria fue determinada en laboratorio a los 20 °C (70 °F), puede disminuirse en aproximadamente un 30% para temperaturas de colocación entre 4 y 10 °C (40 y 50 °F) y aumentar en alrededor de un 30% para temperaturas entre 40 y 45 °C (100 y 110 °F).

Si resulta necesario desarrollar un nuevo diseño de mezcla debido a los cambios en los materiales del concreto, se debe permitir que el contratista pavimente una vez que los ensayos de rotura a edad temprana indiquen que la nueva mezcla proporcionará la resistencia especificada a la edad especificada. Es conveniente que el contratista use temporalmente una mezcla de mayor resistencia hasta que se disponga de los resultados de resistencia de la nueva mezcla.

Nótese que la resistencia del concreto no es el único criterio que debe cumplir la mezcla nueva. Es necesario poder mezclar, colocar, consolidar y terminar el concreto en las condiciones de trabajo. Es necesario verificar los tiempos de fraguado. Si se espera que la construcción del pavimento se prolongará durante más de una estación o época del año, es conveniente contar con más de un diseño de mezcla.

7.7 GUÍA PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Buenas observaciones y una buena documentación resultan de gran utilidad para aislar y resolver problemas constructivos. Observe los patrones que se presentan para poder establecer una relación de causa-efecto. Si todo funcionó bien mientras el clima era caluroso, entraba un nuevo cargamento de cemento, etc., el cambio más reciente puede ser un indicio para identificar la causa de un problema. Sin embargo, puede ser que las prácticas constructivas con las que se comenzó eran deficientes y el último cambio terminó de inclinar la balanza. Ciertos tipos de problemas son más frecuentes en tiempos fríos o calurosos. Los problemas más comunes y sus posibles soluciones se tratan al final del capítulo 8.

8. COLOCACIÓN, TERMINACIÓN, TEXTURIZADO Y CURADO DEL CONCRETO

8.1 INTRODUCCIÓN

La pavimentación con concreto se lleva a cabo con medios mecánicos y manuales. La pavimentación mecánica se usa para el pavimento principal, las pistas de rodaje de conexión y curvas de enlace amplias. Las áreas hechas a mano son aquellas demasiado pequeñas para usar la maquinaria. Para la pavimentación con máquinas se usan dos tipos de pavimentadoras: pesadas y livianas. Las máquinas pesadas son las pavimentadoras con moldes deslizables. Las máquinas más livianas incluyen las pavimentadoras de tablero de puente, generalmente con moldes laterales (moldes fijos) y sinfín vibratorio o rodillos de cilindro.

Pavimentadoras con moldes deslizantes

Algunas de las opciones más comunes de este tipo de pavimentadoras son:

1. Autopropulsadas con dos o cuatro orugas
2. Generalmente pesan alrededor de 3.000 kg/m (2.000 lbs/pie) o más por ancho de faja de pavimentación.
3. Vibradores internos de velocidad variable controlados hidráulicamente.
4. Capacidad para acarrear una carga de concreto delante del reglón (regla alisadora)
5. Sinfín continuo o placas hidráulicas para distribuir el concreto delante del reglón.
6. Aditamentos de terminación.

Las pavimentadoras con moldes deslizantes se pueden usar para aplicaciones con moldes laterales extendiendo su ancho más allá de sus moldes. Se las puede extender hasta cerca de 14 ó 15 m (45 ó 50 pies), dependiendo del modelo y los aditamentos disponibles, pero la mayoría se usa en anchos entre los 8 y 11 m (25 y 37,5 pies). Las pavimentadoras con moldes deslizantes se emplean normalmente para pavimentos de concreto para aeropuertos, con espesores de 20 cm (8") o mayores. Proporcionan la consolidación requerida en capas de pavimento de concreto de mucho espesor.

Pavimentadoras de tablero de puente

Las pavimentadoras de tablero (losa) de puente consisten en un sistema de vigas trianguladas o de celosía, con un tornillo sinfín suspendido para distribuir el concreto, un vibrador oscilante y un rodillo. El rodillo compacta y termina la superficie. Algunas pavimentadoras incorporan un dispositivo texturizador que sigue al conjunto del rodillo. En la figura 8,1 se muestra una pavimentadora para tablero de puente típica. Los elementos más comunes de una máquina de este tipo incluyen:

1. Marcha sobre los moldes o sobre ruedas autopropulsadas.
2. Tiene uno o dos vibradores que se mueven transversalmente frente al reglón.
3. También puede usar vibradores fijos cerca de los bordes de los moldes

4. No acarrean una carga de concreto delante del reglón móvil
5. Generalmente pesan menos de 1.500 kg/m (1.000 lb./pie) por ancho de pavimentación.



Figura 8.1 – Operación típica de una pavimentadora de tablero de puente

Terminadoras livianas

Las terminadoras livianas que utilizan un sinfín de viga triangulada o de rodillo se usan normalmente para pavimentos de concreto delgados y no se emplean para la pavimentación en masa de pavimentos de aeropuertos. Estas máquinas son ideales para la pavimentación de áreas pequeñas que no tienen una relevancia crítica. Generalmente están equipadas con una placa vibratoria para la terminación y pueden poseer una manivela con cable para su avance, o bien pueden estar equipadas para vibrar hacia adelante por sí mismas. La máquina requiere enrasado manual, vibración manual y una cantidad considerable de aplanado a mano detrás del reglón. Las prácticas que se realizan detrás de la máquina atraen cantidades excesivas de mortero a la superficie y suelen eliminar el aire incorporado cerca de la superficie del pavimento.

Pavimentación manual

La pavimentación manual con mano de obra intensiva se realiza únicamente en áreas pequeñas tales como curvas de enlace. La Figura 8.2 muestra la colocación de pavimento en una curva de enlace mediante técnicas manuales.



Figura 8.2 – Una construcción típica de una curva de enlace

A continuación se resumen las diferencias entre las pavimentadoras con moldes deslizantes y las de tablero de puente:

1. La pavimentadora de tablero de puente tiene una capacidad de producción significativamente menor que la de moldes deslizables.
2. La pavimentadora para tablero de puente es más económica cuando se pavimentan fajas de anchos mayores a los 12 m (40 pies) y en áreas geoméricamente limitadas. Las pavimentadoras de tablero de puente pueden colocar concreto en un ancho de hasta 15 m (50 pies).
3. Una pavimentadora de tablero de puente es más móvil y maniobrable y puede emplearse para pavimentar áreas constreñidas, como pistas de rodaje transversales o áreas de plataforma restringidas.
4. Una diferencia más significativa entre ambos tipos de pavimentadoras es el método de consolidación.
 - a. El vibrador único de una pavimentadora de tablero de puente consolida el concreto trabajándolo transversalmente a las vigas.
 - b. Combinada con el avance de la pavimentadora, el concreto se alisa siguiendo un patrón zigzagueante.
 - c. La cantidad de energía vibratoria y la distribución del agregado grueso para un radio de acción constante con el vibrador y sujeto a la velocidad de avance, pueden no ser tan uniformes como las obtenidas al usar vibradores espaciados uniformemente y trabajar el concreto en una sola dirección, como en el caso de las pavimentadoras con moldes deslizables.
5. Los vibradores de las pavimentadoras de tablero de puente pueden tener menores pesos desplazados, lo que puede dar lugar a frecuencias vibratorias mayores que las deseadas. Dichas frecuencias más elevadas incrementan la posibilidad de deteriorar el sistema de burbujas de aire atrapado, lo que aumenta la posibilidad de problemas en materia de durabilidad.
6. Las mezclas de concreto para la pavimentación con moldes fijos deben diseñarse en forma exclusiva. Las mezclas usadas con pavimentadoras con moldes deslizantes no servirán para aquéllas de moldes fijos, y viceversa.

FACTORES CRÍTICOS PARA LA PAVIMENTACIÓN CON CONCRETO:

1. Una buena rasante para pavimentar: cortada y pavimentada de acuerdo con las especificaciones.
2. Manejo de la cuerda de guía: monitoree y mantenga la cuerda de guía en intervalos regulares.
3. El suministro continuo de concreto a la pavimentadora.
4. Trabajabilidad uniforme del concreto.
5. Equipo de pavimentación bien mantenido.
6. Operación correcta del equipo de pavimentación.
7. Densidad del concreto controlada: el nivel justo de vibración para consolidar el concreto y proporcionar la suficiente cantidad de finos para una terminación compacta
8. Lo más importante: una cuadrilla habilidosa y dedicada.

8.2 ENTREGA DEL CONCRETO EN EL SITIO

Antes y durante la entrega de concreto, se recomienda tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Debe inspeccionarse la rasante para su aprobación antes de depositar concreto sobre la misma. Se retira cualquier residuo suelto y se repara cualquier daño en la base.
2. Se deben verificar las cotas de la cuerda de guía.
3. El concreto se debe depositar sobre la base dentro de un tiempo razonable tras la adición del agua. Cuando se lo coloca, se debe disponer de tiempo suficiente para su consolidación, enrasado y terminación antes del fraguado inicial.
4. Cuando se avanza con las pavimentadoras con moldes deslizantes por sobre las cabeceras, se recomienda usar un concreto con mayor asentamiento, para facilitar las tareas de consolidación manual y terminación.
5. Se recomienda el uso de camiones mezcladores, factor que generalmente permite una colocación más uniforme y minimiza la segregación.
6. Una entrega uniforme del concreto posibilita minimizar las paradas y rearranques constantes de la pavimentadora. Si se paran las tareas de pavimentación para esperar la recepción de concreto desde la planta, deberán usarse más camiones o será necesario reducir la velocidad de la pavimentadora.

8.3 COLOCACIÓN DEL CONCRETO

Las prácticas aceptables de colocación del concreto incluyen:

1. Es necesario depositar el concreto cerca y uniformemente frente a la pavimentadora o distribuidor frontal, procurando minimizar la alteración de la base, del acero empotrado, los pasadores y los moldes laterales.
2. Es necesario colocarlo de forma tal que ninguno de los costados de la faja de pavimentación quede sobrecargado de material.
3. En áreas conformadas, se debe colocar el concreto lo más cerca posible a su posición final, para minimizar la posibilidad de segregación.
4. El concreto se vuelca sobre la rasante frente a la pavimentadora o sobre colocadores a cinta transportadora y distribuidores de carga lateral.
 - a. Si se lo vuelca sobre la rasante, controle la velocidad de descarga regulando la apertura de la puerta trasera del camión.
 - b. No se recomienda emplear una pala cargadora frontal para distribuir el concreto frente a la pavimentadora.
5. La ventaja del volcado directamente frente a pavimentadoras o distribuidores es que permite mantener fácilmente la cantidad de carga de concreto frente al sinfín de la máquina.
6. Las desventajas de la descarga directa son:
 - a. Los camiones que atracan en reversa frente a la pavimentadora pueden alterar la base granulada.
 - b. Es necesario colocar los armazones con pasadores justo frente a la pavimentadora, hecho que no permite verificar, por falta de tiempo, el alineamiento de los pasadores o su fijación segura a la base. Es necesario tener en cuenta la seguridad de los trabajadores que se desempeñan entre la pavimentadora que avanza hacia delante y la cola de los volquetes en reversa.
 - c. Se requiere la presencia de un inspector de tiempo completo para verificar la colocación y alineación de los armazones con pasadores.
 - d. Se debe interrumpir al menos una de las cuerdas de guía para permitir la entrada y salida de los camiones del área de pavimentación.
7. Cuando usa un colocador a cinta transportadora:
 - a. Oscile la cinta hacia adelante y hacia atrás para mantener una carga uniforme de concreto frente a la pavimentadora.

CARGA DE CONCRETO FRENTE A LA PAVIMENTADORA:

- Debe ser uniforme y de la altura apropiada para el tamaño de la pavimentadora y la mezcla de concreto.
- Una pavimentadora más pesada generalmente produce un pavimento de concreto más liso ya que se ve menos afectada por las oleadas de concreto que entran en ella.
- La Figura 8.3 muestra ejemplos de buenas y malas prácticas de colocación de concreto.

VELOCIDAD DE LA PAVIMENTADORA:

- Una velocidad baja y constante de la pavimentadora se traduce en pavimentos lisos.
- La velocidad de colocación (velocidad de la pavimentadora) debe coincidir con la capacidad de la planta y el ritmo de entrega de concreto a la pavimentadora.
- No se debe parar frecuentemente la pavimentadora durante las tareas de pavimentación.

- b. Si la pavimentadora tiene poco concreto, lleve el colocador hacia atrás para proveer más material en las distintas zonas según sea necesario.
- 8. Cuando se usa un distribuidor, no se debe adelantar a más de 7,5 m (25 pies) por delante de la pavimentadora y de este modo se puede regular la cantidad de carga de concreto en la esta máquina.
- 9. El operador de la pavimentadora debe controlar el nivel de concreto en el plato de carga elevando o bajando la hoja de enrasado en la medida de lo necesario.
- 10. A continuación se describen procedimientos que reducirán la posibilidad de una mala alineación de los pasadores asociada con el movimiento hacia delante de la carga de concreto frente a la pavimentadora o el distribuidor.
 - a. Deposite cuidadosamente pequeñas cantidades de concreto sobre los armazones con pasadores pre-posicionados y fijados a la base para minimizar el peso asociado con el avance de la carga frente a la pavimentadora o el distribuidor.
 - b. No vierta concreto desde los camiones directamente sobre los armazones con pasadores.



a. No se recomienda el empleo de una cargadora frontal



b. Se recomienda mantener una distribución uniforme

Figura 8.3 – Colocación del concreto frente a la pavimentadora

8.4 COLOCACIÓN DEL ACERO EMPOTRADO Y LAS BARRAS DE UNIÓN

Es necesario soportar mediante separadores (silletas) las barras o mallas de acero empotradas usadas normalmente en áreas de curvas de enlace y otros paneles con forma singular. Éstos deben colocarse lo suficientemente cerca para que soporten el acero sin que se combe. Las barras de unión usadas como armadura empotrada y posicionadas alrededor de las penetraciones deben soportarse por medio de separadores dentro de las tolerancias para la cota especificada. La mallas de alambre soldadas deben ser planas y cumplir con las cotas especificadas dentro de las tolerancias una vez fijadas sobre los separadores.

Dado que es común que se consolide suplementariamente con vibradores de inmersión alrededor de las mallas, los separadores deben soportar el peso de los trabajadores durante las tareas de consolidación del concreto.

COLOCACIÓN DEL CONCRETO EN LAS FAJAS DE RELLENO:

Si bien parece fácil construir las fajas de relleno, el contratista de pavimentación debe saber que pueden producirse agrietamientos a causa de la restricción por:

- Las juntas longitudinales con barras de unión
- La fricción de las caras de las juntas de las fajas piloto
- El posible uso de concreto con mayor asentamiento: mayor posibilidad de contracción
- Una ventana más corta para aserrar las juntas.

Si las juntas de las fajas piloto están abiertas en todo su ancho en el momento de la pavimentación de las fajas de relleno, el mortero proveniente de estas tareas puede infiltrarse en las juntas, lo que se traduciría en pequeños quiebres/desprendimientos en las esquinas. Si los anchos de las juntas de las fajas piloto son mayores a 6 mm ($\frac{1}{4}$ ”), use varilla de respaldo, cinta para ductos o masilla (mastic) asfáltica para cubrir las aberturas de las juntas.

Previo a la colocación del concreto, los inspectores deben verificar y aprobar el diámetro de las barras de acero, la presencia de recubrimientos de epoxi, la ausencia de descascaramientos en el epoxi, la ubicación, cota y despeje del acero (respecto de otras barras o pasadores/barras de unión en juntas) y la distancia entre separadores.

Se pueden emplear insertadores de barras de unión auto-recargables montados sobre pavimentadoras con moldes deslizantes a lo largo de juntas longitudinales de contracción aserradas cuando se pavimentan varias fajas. Los inyectores empujan las barras de refuerzo dentro del concreto fresco y vibran a éste último por sobre las barras. Se usan distanciómetros para disparar la inserción de las barras de unión con un espaciamiento determinado. Se debe vigilar el posicionamiento longitudinal de las barras para asegurar que se mantenga la distancia mínima especificada respecto de las juntas transversales.

Se puede verificar la profundidad del acero empotrado a través de la exposición de las barras en el concreto fresco o la extracción de testigos sobre los extremos de barra, el uso de un medidor de recubrimiento de armadura magnético o la implementación de un radar penetrante de la superficie (GPR) como ensayo no destructivo.

8.5 INSTALACIÓN DE PASADORES

Al instalar los pasadores, deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

1. Los pasadores en juntas transversales de contracción se posicionan con antelación utilizando armazones con pasadores fijados a la base, o se insertan durante la pavimentación usando un insertador de pasadores.
2. Los pasadores para juntas longitudinales de contracción aserradas se pueden posicionar con antelación usando conjuntos de armazones o inyectar usando un clavador de pasadores.
3. Por lo general no se permite el uso de insertadores de pasadores en juntas de construcción longitudinales. La mayoría de los organismos detectaron problemas de mala alineación y bolsones de aire indeseados debajo de los pasadores insertados.
4. Los pasadores en juntas de construcción longitudinales y cabeceras transversales se instalan usando un taladro y técnica con epoxi. Se perforan agujeros en los cantos verticales.

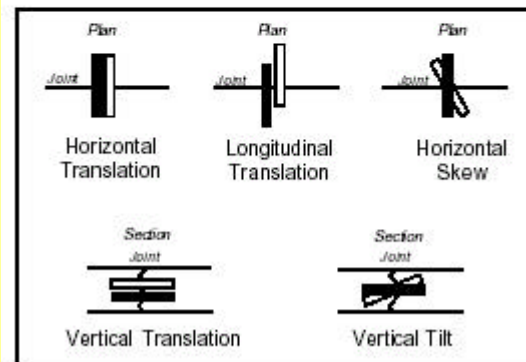
La alineación de los pasadores es un elemento crucial y debe verificarse regularmente. La mala alineación de los pasadores tiene un efecto significativo sobre el desempeño del pavimento. Los elementos importantes en cuanto a la instalación de pasadores son:

1. Las especificaciones típicas para la alineación son:
 - a. Fuera de alineación de 20 mm/m (1/4"/pie) o menor en los planos horizontal y vertical.
 - b. Traslación vertical, horizontal o longitudinal de ± 25 mm (1") o menor.
2. Se debe verificar la ubicación de los armazones con pasadores (centrados en la posición de las juntas)
3. Se deben inspeccionar los pasadores en las juntas longitudinales para asegurar el despeje correcto respecto de los extremos de los pasadores de las juntas transversales.
4. Para reducir la restricción en las esquinas de losas, los pasadores de las juntas longitudinales deben alejarse como mínimo 15 cm (6") y preferiblemente 30 cm (12") de los extremos de los pasadores de juntas transversales.
5. Los armazones para pasadores deben fijarse en forma segura a la base.
 - a. Generalmente es adecuado usar grampas para tal fin.
 - b. Para asegurarlos a bases granulares o de granulometría abierta, se requieren estacas largas.

Tipos de mala alineación de los pasadores e impacto en el desempeño

Type of Misalignment	Effect on Spalling	Cracking	Load Transfer
Horizontal Translation	—	—	yes
Longitudinal Translation	—	—	yes
Vertical Translation	yes	—	yes
Horizontal Skew	yes	yes	yes
Vertical Tilt	yes	yes	yes

Categories of dowel misalignment are illustrated below.



Misalignment categories.

6. Los alambres de los armazones con pasadores longitudinales pueden doblarse en vez de cortarse. El doblado reduce el área de la sección transversal y, al mismo tiempo, mantiene la estabilidad del armazón.
7. La alineación de los pasadores puede verificarse:
 - a. Exponiendo los pasadores en el concreto fresco
 - b. Extrayendo testigos sobre los extremos de los pasadores
 - c. Usando un medidor de recubrimiento de armadura magnético
 - d. Mediante un ensayo no destructivo (por ej.: un radar penetrante de la superficie).
8. Antes de pavimentar, se deben inspeccionar los pasadores en busca de descascamientos en el recubrimiento de epoxi. Para cubrir el acero expuesto del pasador en los puntos de soldadura del armazón y descascamientos en el recubrimiento, se emplean equipos de campaña. Si se especifica un recubrimiento ligero de los moldes con aceite de desmoldeado u otro agente antiadherente, debe inspeccionarse antes de colocar el pavimento.

CUESTIONES RELACIONADAS CON LOS PASADORES: USO DE ARMAZONES CON PASADORES FRENTE A PASADORES INSERTADOS.

- Normalmente se usa una especificación con respecto del método para el empleo de armazones con pasadores.
 - Se especifica su vinculación con la subbase.
 - Previo a la colocación del concreto, se inspecciona la estabilidad del armazón y la alineación de los pasadores.
 - La colocación de los pasadores (su profundidad) puede verificarse en las primeras juntas usando un medidor de recubrimiento o un radar penetrante de la superficie (GPR).
- La inspección previa no es posible en el caso de los pasadores insertados.
 - Como resultado, los contratistas asumen un riesgo dado que la verificación de la mala alineación de los pasadores sólo es posible tras el endurecimiento del concreto.
 - La colocación de los pasadores (su profundidad) debe verificarse en las primeras juntas usando un medidor de recubrimiento.
 - Asimismo, las especificaciones normalmente no brindan suficiente guía respecto de la inspección de los pasadores insertados. En el caso de que se prevea usar esta técnica, el contratista debería plantear el tema en la reunión previa a la licitación.

8.5.1 Pasadores en juntas de construcción

Los pasadores en juntas de construcción se instalan usando un taladro y un procedimiento con grout de epoxi. Generalmente no se emplea la inyección lateral de pasadores dada la posibilidad de problemas causados por mala alineación.

Los pasadores se pueden instalar cuando la curación del concreto sea suficiente para permitir:

1. La carga del equipo de taladrado sobre el nuevo pavimento.
2. El taladrado de los agujeros sin demasiado descascarado ni astillamiento. Cabe esperarse un descascarado menor.

Algunos puntos importantes en la instalación son:

1. Se usan diversos taladros, tal como se muestra en la Figura 8.4, para taladrar simultáneamente varios agujeros.
2. Estos últimos están ligeramente sobredimensionados, son unos 3 a 6 mm (1/8 a 1/4”) más grandes que el diámetro de los pasadores.
3. Se debe verificar en el momento la profundidad de los agujeros taladrados para asegurar que los pasadores se inserten nominalmente la mitad de su longitud.
4. Se inyecta epoxi al fondo de los agujeros y se empuja al pasador, tal como está conformado, en el agujero. La aplicación de epoxi sobre los pasadores antes de su inserción no es una técnica aceptable.
5. Se pueden usar discos de retención del grout para impedir que el epoxi fluya fuera de los agujeros.
6. Es necesario inspeccionar los pasadores para verificar si la cobertura con epoxi es la adecuada. La cementación correcta con epoxi es importante para asegurar que los pasadores descansen sobre una interfaz sana y que no existan vacíos. De lo contrario, se verá afectada la eficacia de la transferencia de cargas.
7. Es necesario aceitar los extremos expuestos de los pasadores antes de la colocación del pavimento. Para ello no se emplea grasa.



Figura 8.4 – Instalación de pasadores a lo largo de una junta de construcción longitudinal

8.6 CONSOLIDACIÓN DEL CONCRETO

El uso correcto de los vibradores internos, que se muestran en la Figura 8.5, es importante para consolidar adecuadamente el concreto sin afectar adversamente su resistencia y durabilidad. A continuación se resumen puntos importantes relacionados con la consolidación del concreto:

1. Las pavimentadoras con moldes deslizantes consolidan el concreto en el plato de carga usando vibradores montados en serie.
2. En las pavimentadoras más grandes, los vibradores se accionan hidráulicamente. En las más pequeñas, se pueden emplear vibradores eléctricos o hidráulicos.

3. Una consolidación inadecuada se traduce en una menor resistencia del concreto y la formación de “nidios de abeja”. La vibración inadecuada puede deberse a:
 - a. Un vibrador que funciona mal o no funciona
 - b. Exceso en la velocidad de la pavimentadora
 - c. Una mezcla de concreto con mala trabajabilidad.
4. La sobreconsolidación puede originar problemas en la durabilidad congelación-deshielo si el sistema de burbujas de aire atrapado es alterado en forma adversa. La sobreconsolidación puede deberse a:
 - a. Una frecuencia excesiva del vibrador
 - b. La reducción de la velocidad de avance de la pavimentadora sin ajustar la frecuencia del vibrador
 - c. Propiedades de mala trabajabilidad de la mezcla de concreto.
5. Los vibradores se posicionan generalmente a no más de 10 cm (4”) debajo de la superficie de pavimento terminada. El ajuste de los vibradores en una posición demasiado baja origina la acumulación de aire debajo del cabezal del plato de carga, lo que conduce a delaminaciones y a la formación de burbujas en la superficie del pavimento.
6. Los vibradores se colocan generalmente en una inclinación de entre 5 y 10 grados. A medida que avanza la pavimentadora, los vibradores en ángulo consolidan el concreto.
7. La distancia entre vibradores es una función del radio de acción. El radio de acción y la inyección de energía vibratoria en el concreto son una función de la velocidad de la pavimentadora, la fuerza del rotor de los vibradores y la frecuencia (fijadas por el maquinista).
8. Antes de comenzar cada día de trabajo, se deben verificar sin carga las frecuencias y amplitudes de los vibradores. Grandes diferencias entre los vibradores indican que los mismos están funcionando mal.

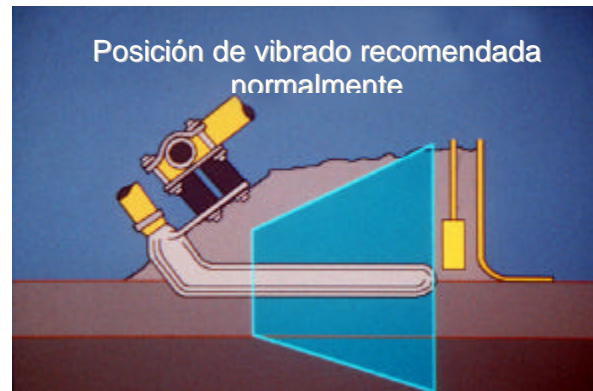


Figura 8.5 –Distribución y posición de los vibradores

Es necesario examinar los testigos extraídos de la faja de prueba o de las etapas iniciales de pavimentación para asegurarse una consolidación aceptable en las variables de pavimentación dadas (profundidad de los vibradores, ángulo de ataque, frecuencia bajo carga, espaciado, cabezal del plato de carga y velocidad de avance). Se deben examinar los testigos extraídos entre y en las trayectorias de los vibradores en busca de:

1. Evidencias de segregación de los agregados en las rutas de los vibradores
2. Excesiva cantidad de aire incorporado
3. Diferencias en la densidad del concreto endurecido.

Las grandes cavidades de aire incorporado (formación de “nidos de abeja”) y la segregación de agregados, tal como se muestra en la Figura 8.6, se pueden eliminar al modificar:

1. La frecuencia de los vibradores
2. La velocidad de avance de la pavimentadora
3. La profundidad de los vibradores
4. La distancia entre vibradores

Los bordes verticales producidos por moldes deslizantes no deben exhibir una cantidad excesiva de burbujas de aire atrapado. Posiblemente sea necesario posicionar vibradores suplementarios cerca de los bordes verticales en las pavimentadoras con moldes deslizantes y de moldes fijos, para asegurar una consolidación adecuada.



Figura 8.6 – Concreto con “nidos de abeja”

Existen sistemas de vibrado inteligente que monitorean continuamente sus frecuencias durante las tareas de pavimentación. Se recomienda el uso de este tipo de sistema (ejemplo mostrado en la Figura 8.7) dado que permite la verificación continua de la uniformidad en las frecuencias. Una frecuencia vibratoria en el orden de 6.000 a 8.000 vibraciones por minuto (bajo carga), normalmente se traducirá en una consolidación aceptable para una mezcla correctamente diseñada.

Las mezclas de concreto que emplean control de la granulometría requieren menor frecuencia vibratoria. La respuesta de la mezcla de concreto a la vibración debe evaluarse el primer día de pavimentación o después de la construcción de la faja de prueba.



Figura 8.7 – Pantalla de un sistema de vibrado inteligente mostrando la frecuencia de cada vibrador

8.7 TERMINACIÓN DEL CONCRETO

La terminación del concreto es un paso crucial del proceso de pavimentación. Es la terminación manual que se aplica normalmente para obtener una superficie lisa, necesaria para corregir cualquier irregularidad detrás de la pavimentadora. Los esfuerzos de terminación del concreto se deben mantener en un nivel mínimo. Idealmente, la mezcla de concreto correcta dará como resultado una terminación superficial aceptable detrás de la pavimentadora. La superficie del concreto no necesita estar muy perfecta ni tampoco es necesario corregir todas las pequeñas imperfecciones. En la Figura 8.8 se muestran ejemplos de buenas y malas prácticas de terminación.

FACTORES QUE FACILITAN LA TERMINACIÓN:

- Minimice el trabajo manual excesivo.
- No aplique agua para ayudar a terminar la superficie.
- No es necesario que las superficies sean sumamente lisas ni muy perfectas.
- El exceso de pasta en la superficie es el resultado de:
 - Demasiada agua aplicada sobre la superficie
 - Exceso de vibración (alta frecuencia)
 - La velocidad de la pavimentadora es demasiado lenta para el esfuerzo vibratorio
 - Sobreterminación.

Ítems importantes en cuanto a la terminación son:

1. La necesidad de la terminación del concreto se minimiza mediante:
 - a. La selección de una mezcla de concreto trabajable
 - b. La operación apropiada del equipo de pavimentación.
2. La terminación manual excesiva traerá el agua a la superficie y puede afectar la lisura superficial y la durabilidad del concreto.
3. Los problemas que surgen al cerrar la superficie detrás de la pavimentadora indican:
 - a. Un volumen demasiado pequeño en el plato de carga y/o que el concreto está fraguando en el plato de carga
 - b. Volumen de agregados finos respecto de los gruesos o volumen de pasta demasiado bajos
 - c. Que el ángulo de la placa de terminación necesita ajuste
 - d. Exceso de velocidad de la pavimentadora
 - e. Que los vibradores necesitan un ajuste.
4. Si se usa agua para ayudar a la terminación es necesario pulverizarla, no rociarla, sobre la superficie y no debe ser incorporada a la misma mediante llanas.



a. Buena práctica



b. Mala práctica

Figura 8.8 – Tareas de terminación (la terminación y el agregado de material en forma manual deben mantenerse al mínimo)

8.8 TEXTURIZADO DEL CONCRETO

Los pavimentos de concreto deben tener una textura superficial que proporcionará el nivel deseado de resistencia al deslizamiento. Las funciones principales de la textura superficial consisten en proporcionar:

1. Vías de escape para el agua debajo de los neumáticos de las aeronaves.
2. Un grado de aspereza a la superficie, necesaria para que los neumáticos rompan la película residual luego de que escurra el agua masiva.

El texturizado del concreto es la técnica empleada con más frecuencia para dotar al pavimento de una superficie altamente resistente al deslizamiento. Sin embargo, no impedirá el hidroplaneo. El texturizado se aplica mientras el concreto aún se encuentra en estado plástico. Los métodos para el texturizado incluyen los siguientes:

1. Terminación con cepillo o escoba
 - a. Aplicada apenas haya desaparecido el brillo del agua (agua exudada).
 - b. Aplicada en forma transversal al eje del pavimento.
 - c. Las estrías deben ser uniformes en su apariencia y tener alrededor de 1,5 mm (1/16") de profundidad.
 - d. La superficie texturizada no debe exhibir gotas ni ser excesivamente rugosa.
2. Terminación con rastra de arpillera o carpeta de césped sintético.
 - a. El tipo de arpillera debe pesar más de 500g/m² (15 oz./yd²).
 - b. El borde de la arpillera que se arrastra necesita estar cargado con una pesada carga de mortero para producir el estriado longitudinal deseado sobre la superficie.
 - c. Las estrías deben ser uniformes en su apariencia y tener alrededor de 1,5 mm (1/16") de profundidad.
3. Peinado con alambres (alambres rígidos de acero)
 - a. Usados para proporcionar una textura más profunda en el concreto fresco.
 - b. Los alambres de acero tienen alrededor de 10 cm (4") de largo, 0,8 mm (0,03") de alto y 2 mm (0,08") de ancho.
 - c. Las huellas continuas tienen aproximadamente 3 mm x 3 mm (1/8" por 1/8") y están espaciadas 13 mm (1/2 ") entre centros.
 - d. No es necesaria la terminación con cepillo, escoba o arpillera previa al peinado con alambres.
 - e. El peinado con alambres no sustituye al estriado (ranurado). No mejora el drenaje superficial.
4. Rayado con alambres (bandas flexibles de acero)
 - a. Usadas para proporcionar una textura profunda en el concreto fresco.
 - b. Las bandas flexibles de acero tienen 13 cm (5") de largo, aproximadamente 6 mm (1/4") de ancho y están separadas 13 mm (1/2") entre sí.
 - c. No es necesaria la terminación con cepillo, escoba o arpillera previa al rayado con alambres.
 - d. El rayado con alambres no sustituye al estriado (ranurado). No mejora el drenaje superficial.

8.9 ESTRIADO DEL CONCRETO

La conformación de estrías en el concreto blando o el corte de ranuras en el concreto endurecido son técnicas probadas y eficaces para minimizar la posibilidad de hidropilado durante tiempo lluvioso. Los factores a considerar para determinar la necesidad del estriado incluyen:

1. El historial de accidentes e incidentes relacionados con el hidropilado en el aeropuerto.
2. La frecuencia de las tormentas (frecuencia e intensidad de las lluvias).
3. Las características de textura de la superficie del concreto y la naturaleza de pulido de los agregados del concreto.

Las estrías tienen aproximadamente 6 mm x 6 mm (1/8" por 1/8") y están espaciadas 38 mm (1 1/2") entre centros. Las estrías no se continúan por sobre las juntas y se las interrumpe a una distancia de 15 cm (6") de ellas. Los métodos de estriado incluyen:

1. Estriado mediante aserrado.
 - a. Este método proporciona estrías bien conformadas y una profundidad uniforme de las mismas.
 - b. La superficie estriada es más durable ya que las caras estriadas aportan agregado grueso a la matriz del concreto.
2. Se deben tomar precauciones al aserrar estrías adyacentes a las luminarias empotradas en el pavimento.
3. Estriado del pavimento blando con placa ranurada.
 - a. La vibración permite la redistribución del agregado sobre la superficie del concreto.
 - b. Este método proporciona estrías bien conformadas.
4. Estriado del pavimento blando con rodillo estriado.
 - a. Este método no proporciona estrías bien conformadas.
 - b. La profundidad del estriado puede ser irregular.

8.10 CURADO DEL CONCRETO

El curado es el mantenimiento de la humedad adecuada y los regímenes de temperatura del concreto recién colocado por un período de tiempo inmediatamente posterior a su terminación. El curado incorrecto puede causar graves detrimentos en las propiedades del concreto a corto plazo (fisuración por retracción plástica) y a largo plazo (superficie menos durable, alabeo excesivo del concreto endurecido).

CLAVES PARA EL CURADO:

- Mezclado correcto
- Uniformidad en la aplicación
- Tiempos de aplicación
- Control del rendimiento (proporción de aplicación)

A continuación se detallan temas importantes relacionados con el curado correcto del concreto:

1. Los tiempos de aplicación del curado son cruciales, especialmente durante tiempo caluroso. Es necesario aplicar el curado tan pronto como desaparezca el agua sobre la superficie del concreto luego de su terminación y texturizado. Puede que no se forme agua cuando usa ceniza volátil o escoria.
2. Cuando se emplean compuestos aplicados por pulverizado, la cantidad y uniformidad de la cobertura son factores cruciales.
 - a. Es necesario aplicar el curado por pulverizado mediante un equipo montado sobre una estructura autopropulsada que abarque todo el ancho de la faja pavimentada.
 - b. Se debe limitar el pulverizado manual sólo a las áreas pavimentadas manualmente.
 - c. Cuando se usan compuestos de curados con pigmentación blanca, su aplicación uniforme puede examinarse visualmente pero es necesario verificar la proporción a través de la medición del volumen usado para un área dada y su posterior comparación con los requisitos especificados o recomendados por el fabricante.
 - d. Es necesario aplicar el curado a las caras expuestas del concreto tras la colocación mediante moldes deslizantes o el retiro de los moldes.
 - e. Es necesario aplicar el curado a las superficies de las juntas inmediatamente después de aserrarlas y limpiarlas.
3. Si se ha de usar curado por vía húmeda, debe mantenerse mojada la totalidad de la superficie del concreto durante todo el período de curado (generalmente 7 días) o durante la aplicación del compuesto de curado.

En las secciones 8.16, Colocación del concreto con tiempo caluroso, y 8.17, Colocación del concreto con tiempo frío, se tratan temas adicionales referidos al curado.

8.11 MINIMIZACIÓN DEL ASENTAMIENTO DE LOS BORDES

Cuando el concreto aún se encuentra en su estado plástico, se detectan asentamientos excesivos en los bordes del mismo. Se lo considera excesivo si más del 15% de la longitud de la junta para una sola losa exhibe un asentamiento de borde mayor a 6 mm (1/4”) o si existe algún asentamiento de borde mayor a 10 mm (3/8”). La aparición de asentamiento en los bordes debe minimizarse dado su impacto sobre la eficiencia y el desempeño.

Los factores que afectan el asentamiento de los bordes son:

1. La consistencia del concreto
2. La compatibilidad de la mezcla de concreto con las técnicas de colocación
3. Los ajustes y la operación de la pavimentadora
4. Una terminación excesiva.

CORRECCIÓN DEL ASENTAMIENTO DE BORDES:

La corrección continua del asentamiento excesivo de los bordes en el concreto fresco puede conducir a niveles inaceptables de astillamientos de juntas en el concreto terminado. Si se presenta un problema de este tipo, se debe detener la pavimentación y se deben determinar las medidas necesarias para corregir el asentamiento excesivo de los bordes.

En el capítulo 11 se trata la corrección del asentamiento de bordes.

8.12 PAVIMENTACIÓN CON MOLDES FIJOS

La pavimentación con moldes fijos se emplea generalmente para pavimentar tramos cortos y/o áreas aisladas tales como curvas de enlace o pavimentos irregulares, e implementa el uso de pavimentadoras mecánicas o la colocación manual.

A continuación se detallan ítems importantes relacionados con la pavimentación con moldes fijos.

1. Los moldes de acero se posicionan sobre la base y se verifican sus cotas de coronamiento.
2. Para bases granulares:
 - a. Si la rasante a lo largo de los moldes está demasiado baja, es necesario colocar y compactar una cantidad adicional de material de base.
 - b. Si la rasante a lo largo de los moldes está demasiado alta, se la puede volver a trabajar para rebajar el exceso en altura.
 - c. No es una buena práctica corregir los sitios altos en el material granular cerca de los moldes de borde. Los sitios altos entre moldes se traducirán en un menor espesor del pavimento en las áreas más alejadas a éstos y, en consecuencia, en pavimentos de espesor variable.
3. Para bases estabilizadas:
 - a. Si la rasante a lo largo de los moldes está demasiado baja, éstos deben calzarse de modo tal que permitan mantener la alineación horizontal durante la colocación del concreto. Si se necesita suplementar (o calzar) más de 2,5 cm (1”), es necesario extraer y reemplazar la base en los puntos bajos para alcanzar las cotas de base requeridas.
 - b. Las áreas altas en bases tratadas con cemento, de granulometría abierta tratadas con cemento y de granulometría abierta tratadas con asfalto pueden cortarse mediante motoniveladora.
 - c. Las áreas altas en bases de concreto económico (econocreto) y de concreto asfáltico deben fresarse hasta la cota correcta.
 - d. El rebaje de las cotas de la base sólo cerca de los moldes se traducirá en una sección transversal delgada de concreto lejos de los moldes, lo que produce un espesor variable.
 - e. Para la ruptura de la adherencia en áreas fresadas se debe considerar el uso de una capa de arena al voleo o la doble aplicación de un compuesto de curado con base de cera en áreas trituradas, reduciendo de este modo la posibilidad de liga entre la base y el concreto.
4. Se deben colocar los moldes asentándolos mecánicamente y clavándolos en forma segura a la base con una separación entre clavos no mayor a 90 cm (36”).
5. Se deben verificar las juntas de transición entre moldes para asegurar que ninguna desviación significativa afectará la lisura del concreto terminado.

6. Una vez trabados los moldes, se deben verificar las alineaciones vertical y horizontal. Las desviaciones mayores a los 5 grados pueden traducirse en problemas de alineación para los pasadores insertados a través de los moldes en el concreto fresco.
7. Los moldes deben rociarse con aceite para desmoldeado no más de 4 horas antes de la pavimentación para minimizar los daños durante su retiro.
8. Normalmente no se deben retirar los moldes antes de las 12 horas posteriores a la colocación del concreto, para evitar desprendimientos en las esquinas y daños en el concreto alrededor de los pasadores insertados. Sin embargo, se deben quitar antes de las 24 horas. El hacerlo más tarde puede afectar el curado del concreto de los bordes verticales adyacentes a los moldes.
9. Los lados expuestos deben pulverizarse con el compuesto de curado dentro de los 30 minutos posteriores al retiro de los moldes. La proporción de cobertura debe ser la misma que para la superficie del pavimento.

8.13 PAVIMENTACIÓN Y ESTRUCTURAS EMPOTRADAS EN EL PAVIMENTO

Las estructuras in situ más comunes en la pavimentación con concreto son las cajas para luminarias. Éstas pueden instalarse usando una de las siguientes técnicas:

1. Moldes de exclusión: se instalan moldes de exclusión (blockouts) en las ubicaciones de las cajas de luminarias y el pavimento se coloca alrededor de ellos, tal como se muestra en la Figura 8.9.
 - a. Se debe verificar la cota superior de los moldes de exclusión respecto del despeje del plato de carga.
 - b. El material de relleno usado para ayudar a estabilizar los moldes debe llenarse hasta los 7,5 cm (3") o menos de la cota terminada.
 - c. Después de la construcción se extrae el material de relleno, si se lo ha usado, se posicionan las cajas de las luminarias y se rellena el área de los moldes de exclusión con concreto.
 - d. Los moldes de exclusión pueden restringir el movimiento de la losa y aumentar las tensiones por restricción asociadas con los cambios de humedad y temperatura. Use barras de unión conformadas alrededor de los moldes de exclusión con forma de diamante para tomar cualquier fisura por restricción y para reducir el potencial de desprendimientos por agrietamiento. Las barras de unión se deben posicionar en la mitad superior del pavimento y 1/3 por debajo de la superficie de la losa. Las barras deben atarse en forma segura a los separadores fijados a la base.
2. Cajas en dos partes y extracción de testigos: el uso de esta técnica permite colocar el pavimento con moldes deslizantes con cajas para luminarias colocadas previamente. Se



Figura 8.9 – Método con moldes de exclusión

pueden efectuar ajustes en las alturas de las cajas tras la colocación del concreto. Los pasos involucrados son:

- a. Posicione la caja parcial en la base.
- b. Previamente coloque concreto en la base de las cajas parciales para anclarlas.
- c. Pavimente la faja.
- d. Perfore un testigo de 10 cm (4") de diámetro para determinar el centro exacto de la caja.
- e. Perfore un agujero de 36 a 40 cm (14 a 18") de diámetro para la parte superior de la caja.
- f. Complete la instalación de la caja para luminaria.

En la Figura 8.10 se muestran los diversos pasos de la técnica de la caja en dos partes y la extracción de testigos (ahuecamiento) para ese fin.



Figura 8.10 - Técnica de extracción de testigos para caja en dos partes

La distribución de los sistemas de iluminación empotrados en el pavimento debe diseñarse de forma tal que interfiera lo menos posible con las juntas de pavimento proyectadas. Sin embargo, pueden surgir conflictos con las juntas del pavimento; el empleo de los moldes de exclusión,

tratados más arriba, puede posibilitar la construcción de las estructuras de la iluminación empotrada cerca de una junta. Normalmente, se requiere un molde de exclusión cuando el eje de la caja de base de una luminaria se encuentra dentro de los 75 cm (2,5 pies) de distancia de una junta del pavimento.

Otras estructuras in situ que se encuentran comúnmente en los pavimentos de aeropuertos son las bocas de incendio, las cámaras de servicios públicos y las estructuras de drenaje (trincheras). Éstas se instalan usualmente usando el método de moldes de exclusión o se colocan previamente con concreto alrededor de la estructura. En ambos casos, se debe emplear acero empotrado alrededor de las estructuras para controlar las fisuras. Los puntos adicionales a considerar para el diseño y la construcción de estructuras in situ incluyen:

1. Los detalles constructivos para las estructuras in situ deben tener en cuenta la expansión de los pavimentos de concreto adyacentes a la estructura y la infiltración de humedad dentro de ésta.
2. Estructuras más grandes (tales como bocas de inspección de servicios públicos, bocas de incendio o trincheras de drenaje) necesitan ubicarse como mínimo a 1,2 m (4 pies) de una junta transversal o longitudinal para minimizar los riesgos de agrietamiento. Si no es factible ubicar una estructura mayor fuera de esa distancia, deberá emplazarse en la junta del pavimento y se deberá tener en cuenta la transferencia apropiada de las cargas (por ejemplo engrosando el borde) y la expansión de la losa.
3. Penetraciones menores en la losa, tales como pozos de monitoreo y orificios de vaciado (barbacanas) de drenaje subterráneo pueden situarse más cerca de las juntas del pavimento, de forma similar a una luminaria empotrada (a no menos de 75 cm [2,5 pies]) de las juntas.
4. Se debe usar una junta de expansión (aislación) alrededor de la estructura para acomodar la expansión de la losa de concreto. También se debe tener en cuenta la transferencia de cargas entre la losa de concreto y la estructura adyacente.
5. Las paredes de las trincheras de drenaje deben diseñarse para que sean lo suficientemente rígidas para resistir la expansión del pavimento de expansión. Podrá ser necesario emplear montantes en las trincheras de drenaje si se prevé que el movimiento expansivo será muy grande.

8.14 PAVIMENTACIÓN EN EMPALMES CON PAVIMENTOS FLEXIBLES

Hacer coincidir las cotas es un problema común en los empalmes entre pavimentos de concreto y flexibles. Para obtener una transición suave deben usarse las siguientes técnicas:

1. Se aserra el pavimento flexible en todo su espesor en el lugar donde empalmará con el concreto nuevo.
 - a. El aserrado en todo el espesor minimiza las alteraciones en la base debajo del asfalto.
 - b. Si el sistema de pavimento flexible se aserra significativamente por delante de la pavimentación, es necesario apuntalar su cara vertical para minimizar la pérdida de base asociada con el colapso de las capas granulares no soportadas.

- c. Alternativamente, es posible sobrecortar el pavimento flexible, pavimentar a lo largo del empalme planificado y luego reemplazar el pavimento flexible en la zona de sobrecorte. Se puede usar una losa de concreto enterrada vinculada al pavimento de concreto a lo largo del área de sobrecorte.
2. Para minimizar el potencial de fallas en la junta de construcción del empalme, se compacta la base adyacente a los moldes y a lo largo del borde de corte del pavimento flexible con pisones de mano y compactadores de placa vibrante.
3. Para minimizar la terminación a mano cuando coinciden las cotas, lo mejor es comenzar a pavimentar desde el borde del pavimento flexible y moviendo la pavimentadora alejándose del mismo.
4. No permita que la pavimentadora transite sobre los bordes no apoyados del pavimento flexible.
5. Cuando se pavimenta en dirección paralela al pavimento flexible, haga coincidir las cotas entre ambos pavimentos y manipule el concreto durante la terminación. Dependiendo de los requisitos de escurrimiento de la pendiente transversal, se debe considerar lo siguiente:
 - a. El fresado del pavimento flexible para enrasarlo con la cota del pavimento planificado.
 - b. La colocación más alta del concreto y luego el fresado o el recapado del pavimento flexible.
6. Durante la compactación de la superficie asfáltica, no permita que el rodillo de acero pase por sobre el borde del concreto.

8.15 COLOCACIÓN DEL CONCRETO CON TIEMPO CALUROSO

El American Concrete Institute (Instituto Norteamericano del Concreto, ACI) define el tiempo caluroso como un período cuando, para más de 3 días consecutivos, se presentan las siguientes condiciones:

1. La temperatura diaria promedio del aire es mayor a 25 °C (77 °F). La temperatura diaria promedio es la media entre las temperaturas más alta y más baja registradas durante un período de medianoche a medianoche.
2. La temperatura del aire para más de la mitad de un período cualquiera de 24 horas es superior a los 30 °C (86 °F).

La mezcla de concreto a usar en tiempo caluroso debe haber sido previamente verificada como apropiada, empleando pastones de prueba mezclados y colados a una temperatura representativa de las condiciones típicas de tiempo caluroso imperantes en el sitio.

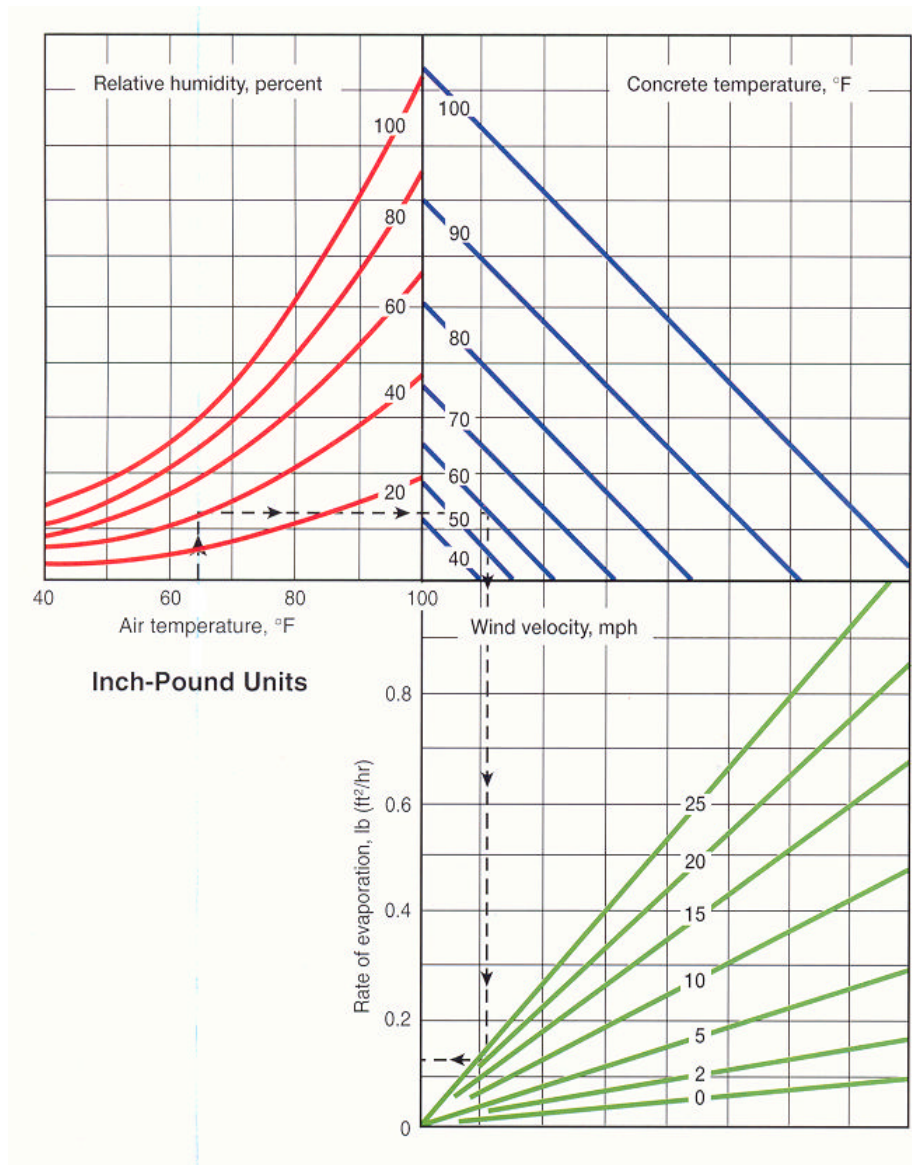
Los problemas que posiblemente pueden producirse durante el tiempo caluroso incluyen:

1. Pérdida rápida del asentamiento
2. Contenidos de aire reducidos
3. Endurecimiento prematuro
4. Agrietamiento por retracción plástica
5. Agrietamiento por temperatura.

Tenga en cuenta lo siguiente durante la colocación de concreto con tiempo caluroso:

1. No exceda la relación a/c máxima permitida o la dosis máxima recomendada por el fabricante para cualquier aditivo.
2. Los aditivos retardantes se pueden usar si se ha verificado su desempeño durante los pastones de prueba. Altas dosis de reductores de agua (aún de los reductores de alto rango) pueden traducirse en fraguado retardado.
3. Una opción puede ser sustituir parte del cemento con escoria, ceniza volátil clase F y/o puzolanas naturales. Estos materiales se hidratan más lentamente y generan calores de hidratación menores que el cemento, reduciendo por lo tanto los problemas de pérdida de asentamiento, endurecimiento prematuro y agrietamiento debido a la temperatura.
4. Las cenizas volátiles clase F con altos contenidos de Al_2O_3 pueden causar problemas asociados con el endurecimiento prematuro.
5. Los contenidos de aire se pueden corregir incrementando la dosis del aditivo incorporador de aire.
6. Se puede prevenir el agrietamiento temprano por temperatura asegurándose que la temperatura del concreto fresco es tan baja como práctica. No debe exceder los 32 °C (90 °F).
 - a. Los agregados se pueden enfriar rociándolos con agua. Es necesario corregir la humedad de los agregados.
 - b. Es necesario mezclar los agregados en una condición saturada y superficie seca para evitar que absorban el agua de la mezcla.
7. Evite usar cemento recién elaborado o ceniza volátil provista por el proveedor.
8. Se puede enfriar el agua de la mezcla o agregar hielo triturado en reemplazo de parte del agua. Asegúrese de que todo el hielo se derrita durante el mezclado.
9. Los equipos de mezclado y transporte deben estar pintados de blanco o de un color claro, para minimizar la absorción del calor solar.
10. Se pueden programar las colocaciones de concreto para las horas nocturnas.
11. Se debe humedecer la base antes de colocar el concreto para mantener baja la temperatura y evitar que absorba agua del concreto.
12. El concreto debe colocarse y terminarse lo más rápido posible y aplicar el compuesto de curado lo antes posible. Un compuesto de curado blanco reflejará el calor del sol. Si se retrasa la aplicación del compuesto de curado, use un pulverizador o un retardante de evaporación para evitar que se seque la superficie.
13. Se deben tomar medidas durante el tiempo caluroso para reducir la velocidad de evaporación en el concreto. La posibilidad de retracción plástica aumenta con la velocidad de evaporación. El agrietamiento por contracción plástica se produce a raíz de la pérdida de humedad en el concreto antes del fraguado inicial. La velocidad de evaporación está determinada por:
 - a. La temperatura del aire
 - b. La temperatura del concreto
 - c. La humedad relativa
 - d. La velocidad del viento.
14. Consulte la Figura 8.11. para calcular la velocidad de evaporación. Se deben usar los datos del tiempo de una estación meteorológica in situ.

15. Cuando se anticipa una velocidad de evaporación mayor a 1,0 kg/m²/h (0,2 lb./pie²/h), pulverice con agua o use un retardante de evaporación aprobado, según sea apropiado.
16. Si las condiciones de temperatura, humedad relativa ambiente y viento son tan severas como para impedir el agrietamiento por contracción plástica o las medidas correctivas no surten efecto, se deberán interrumpir las tareas de pavimentación hasta que mejoren las condiciones climáticas.
17. Consulte la ACI 305 – *Hot Weather Concreting* (Colocación de concreto con tiempo caluroso) para obtener información adicional.



(1 °F = 0,56 °C; 1mph = 1,6 km/h; 1 lb./pie²/h = 5,0 kg/m²/h)

Figura 8.11 – Velocidad de evaporación afectada por las condiciones ambientales
(cortesía de la Asociación Norteamericana del Cemento Pórtland)

8.16 COLOCACIÓN DEL CONCRETO CON TIEMPO FRÍO

El Instituto Norteamericano del Concreto (ACI) define el clima frío como un período cuando, para más de 3 días consecutivos, se presentan las siguientes condiciones:

1. La temperatura diaria promedio del aire es menor a 4 °C (40 °F). La temperatura diaria promedio es la media entre las temperaturas más alta y más baja registradas durante un período de medianoche a medianoche.
2. La temperatura del aire para más de la mitad de un período cualquiera de 24 horas no es superior a los 10 °C (50 °F).

Cuando se debe colocar el concreto con tiempo frío o en una época del año en que es probable que haga frío, se deben desarrollar planes para mantener al concreto a la temperatura apropiada mucho antes de la fecha en que se espera que la temperatura caiga debajo del punto de congelación. Para la colocación de concreto con tiempo frío se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Los diseños de mezclas de concreto desarrolladas para su colocación a temperaturas más frías normalmente tienen mayor cantidad de cemento que aquellas usadas con clima caluroso.
2. El empleo de escoria, ceniza volátil y puzolanas debe reducirse o aún eliminarse a menos que se las necesite para controlar la reacción álcalis-sílice o para proporcionar algún grado de resistencia al ataque de sulfatos. En última instancia, puede ser necesario aumentar el contenido total de materiales cementicios o cambiar el tipo de cemento al tipo III en lugar de los tipos I/II.
3. La dosis necesaria de aditivo incorporador de aire deberá ser menor que la dosis a temperaturas normales.
4. Dado que el concreto necesitará más tiempo para fraguar, también existe un cierto peligro de agrietamiento por contracción plástica, especialmente si el concreto está mucho más caliente que el aire del ambiente o si sopla viento.
5. Se puede usar un acelerante tipo C o E conforme a ASTM C 494, a condición de que se haya verificado previamente su desempeño mediante pastones de prueba.
6. No use aditivos que contengan agregados de cloruros. Tampoco use cloruro de calcio.
7. Los agregados deben hallarse libres de hielo, nieve y terrones congelados antes de su carga en la mezcladora.
8. La temperatura de la mezcla no deberá estar por debajo de los 10 °C (50 °F).
 - a. Se pueden calentar el agua y/o los agregados a menos de 66 °C (150 °F).
 - b. El material debe calentarse uniformemente.
9. No se debe colocar el concreto si las temperaturas del aire en el sitio o de las superficies sobre el cual será colocado están por debajo de los 4 °C (40 °F).
10. Las cubiertas y otros tipos de protección del concreto contra la congelación deben estar disponibles antes de comenzar la colocación.

11. Debe mantenerse la temperatura del concreto en 10 °C (50 °F) o más por al menos 72 horas posteriores a su colocación y a una temperatura por encima del punto de congelación por el resto del período de curado (cuando el concreto alcanza una resistencia a la compresión de 20 MPa [3.000 psi]). Las esquinas y los bordes son los más vulnerables a la congelación.
12. Retire y reemplace completamente el concreto que se ha dañado debido a la congelación.
13. El concreto colocado con tiempo frío obtiene lentamente su resistencia. El concreto que contiene materiales cementicios suplementarios obtiene muy lentamente su resistencia.
 - a. Puede retrasarse el aserrado de juntas para la apertura al tráfico.
 - b. Verifique la resistencia in situ mediante un método de madurez, el curado con temperaturas coincidentes, ensayos no destructivos o ensayos sobre testigos antes de abrir el pavimento al tráfico.
14. Remítase a ACI 306 – Cold Weather Concreting (Colocación de concreto con tiempo frío) para obtener información adicional.

8.17 PROTECCIÓN DEL CONCRETO CONTRA DAÑOS OCASIONADOS POR LA LLUVIA

El contratista y el inspector deben estar al tanto de los procedimientos a seguir para proteger el concreto fresco en caso de lluvia. Se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Se debe disponer en el sitio, y en todo momento, de cubiertas protectoras tales como láminas de polietileno o lonas alquitranadas.
2. Cuando comienza a llover, se deben parar las tareas de elaboración y colocación. Se debe cubrir el concreto fresco de forma tal que la lluvia no marque la superficie ni lave la pasta de cemento.
3. Existen dos consecuencias principales de la lluvia durante la colocación del pavimento:
 - a. La lluvia puede dañar la superficie dejando improntas o lavando pasta de la superficie. El daño generalmente es mínimo cuando el concreto ha alcanzado su fraguado final.
 - b. El enfriado súbito de la superficie debido a la lluvia luego del fraguado final puede llevar a un desarrollo más rápido de tensiones de restricción térmica. Aun si se comenzó a tiempo con el aserrado, aumenta la posibilidad de fisuraciones tempranas incontroladas. El aserrado de juntas se trata en el capítulo 9.
4. Si ocurre una tormenta con lluvia antes de que sea eficaz la membrana de curado, el daño se limita generalmente a la superficie.
 - a. El concreto endurecido, de bajo asentamiento y con calidad para pavimento, que ha sido consolidado, enrasado y terminado, sólo puede

- sufrir pequeñas defectos superficiales a causa de la lluvia ligera.
- b. Cuando la lluvia es ligera, el agua no impregnará el concreto aumentando la relación agua-cemento.
 - c. Si se texturizó el concreto antes de la lluvia, la textura se verá comprometida. Generalmente se pueden solucionar estos daños a la superficie y a la textura, si son leves, fresando con diamante la superficie hasta una profundidad de alrededor de 3 mm (1/8").
5. Cualquier concreto expuesto a una lluvia importante mientras está suelto o sin consolidar no se debe usar para el pavimento, ya que puede absorber agua.
 6. Una vez que se expone la superficie del pavimento a la lluvia, no se debe intentar terminarla o texturizarla.
 - a. No se debe intentar retirar el agua en exceso sobre la superficie antes de cubrirla. El retiro del agua a menudo incrementa la erosión de la pasta en la superficie..
 - b. No se debe intentar agregar cemento seco o cemento seco flotante a la superficie. La adición de cemento extiende el tiempo de exposición de la superficie, aumentando el potencial de daños adicionales a la misma. La introducción de cemento seco en la superficie también puede alterar el sistema de burbujas de aire atrapado que se requiere para la protección contra la congelación y deshielo.
 7. En cuanto se haya secado la superficie, se puede aplicar la membrana de curado. Una vez transcurrido el período de curado, deberá fresarse con diamante la superficie expuesta a la lluvia para eliminar los defectos y texturizarla.
 8. Todo intento de terminar o texturizar la superficie durante o después de la lluvia corre el riesgo de introducir agua en la superficie del concreto. Esto convertirá un contratiempo superficial menor en un problema grave.
 9. Si se ha incorporado al pavimento concreto no consolidado expuesto a la lluvia, éste debe quitarse.
 10. Se debe considerar el empleo de sierras de entrada temprana o la omisión del aserrado (tratado en el capítulo 9) para construir rápidamente las juntas antes de que comience a llover.
 - a. La construcción de las juntas lo antes posible reduce la posibilidad de agrietamiento temprano atribuido a las tensiones de restricción generadas con el enfriamiento súbito de la superficie.
 - b. Cuando la lluvia haya cesado y se hayan retirado las cubiertas de la superficie, es necesario aserrar las juntas lo antes posible.
 11. Si un aguacero sorprende a un pavimento desprotegido, es crucial detener la pavimentación. La mejor precaución para evitar daños por lluvia y/o una fisuración aleatoria es cesar de inmediato las tareas de pavimentación. En proyectos aeroportuarios grandes, los contratistas pueden valerse de las estaciones meteorológicas ubicadas en el aeropuerto o suscribirse a los sistemas de pronóstico del clima para monitorear la información climática actual.

ENSAYOS DE LA SUPERFICIE EXPUESTA A LA LLUVIA:

- El ingeniero debe evaluar visualmente cualquier daño producido por la lluvia y determinar su alcance. Se pueden extraer testigos para realizar un análisis petrográfico con el fin de determinar si la lluvia ha alterado la dureza de la superficie o penetrado en el sistema de burbujas de aire atrapado. Los testigos se deben extraer del comienzo y el final de las superficies dañadas.
- Los resultados del análisis petrográfico pueden usarse para establecer los límites y la eliminación del concreto dañado. En general las superficies no se consideran resistentes a la abrasión si el daño tiene una profundidad superior a los 3 mm (1/8"). Para la durabilidad congelación-deshielo, el factor de espaciado de las burbujas con aire atrapado debe ser inferior a 0,20 mm (0,008").
- También se pueden realizar ensayos de descascaramiento de la superficie en las superficies superiores de los testigos de acuerdo con la norma ASTM C 672. El ensayo debe realizarse sin descongelantes ya que el concreto puede no haber estado sometido a químicos descongelantes.
- Ensayo de abrasión: Ensaye tres testigos de un área dañada por la lluvia y tres testigos de áreas en buen estado. Empotre los testigos en una cama cuadrada de 30 cm (1 pie) de lado y realice el ensayo de abrasión.

Es necesario retirar el concreto dañado por la lluvia si se determina que la superficie no es resistente en términos de abrasión, resistencia al deslizamiento (textura de la superficie) o a la congelación y deshielo.

Se pueden considerar las siguientes pautas al evaluar los efectos de la lluvia:

1. Una llovizna ligera e intermitente puede ser beneficiosa mientras no agregue agua al concreto no consolidado frente a la pavimentadora o a la superficie de concreto a terminarse.
2. Si la lluvia es suficiente como para acumular una cierta cantidad de agua sobre la superficie del concreto recién colocado antes de su terminación, es el momento de detener las tareas y tomar medidas de protección.
3. Si la lluvia es lo suficientemente fuerte como para marcar el concreto fresco, ya es tarde para detener la pavimentación.

8.18 GUÍA PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

A continuación, problemas comunes encontrados en el sitio de obra y sus posibles soluciones.

Problema	Causa(s) probable(s)	Acción
Endurecimiento prematuro del concreto con pequeña evolución del calor.	Cemento con falso fraguado	No agregue agua. La plasticidad se puede restaurar con mezclado adicional. Avise al proveedor del cemento.
Endurecimiento prematuro del concreto con evolución del calor, falta de tiempo para trabajarlo.	<p>Alguna de las siguientes causas pueden contribuir a este problema:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cemento con muy pocos sulfatos o con una forma incorrecta de sulfatos ▪ Ceniza volátil clase C con alto contenido de Al_2O_3 ▪ Altas temperaturas de colocación ▪ Lignosulfonatos presentes en el aditivo reductor de agua ▪ Trietanolamina presente en el aditivo reductor de agua ▪ Empleo de acelerador ▪ Diseño erróneo de la mezcla para tiempo caluroso (contenido de cemento alto, cemento tipo II, sin materiales cementicios suplementarios) ▪ Agregados secos, absorbentes, absorben agua de la mezcla. ▪ Cemento caliente (fresco). 	<p>Si emplea un acelerador, deje de usarlo o reduzca la dosis. Reduzca la temperatura de colocación mediante algún (os) método(s) conveniente(s). Remítase a la sección 8.15. Con tiempo caluroso, use el diseño de mezcla para tiempo caluroso. Si está usando ceniza volátil clase C, reduzca la dosis. Asegúrese de que los agregados estén húmedos en el momento de su mezcla. Cambie a un reductor de agua que no contenga lignosulfatos o trietanolamina (TEA). (Solicite asesoramiento al proveedor del aditivo).</p>
Asentamiento fuera de las especificaciones o variable.	Cambio en el contenido de agua o la granulometría de los agregados, temperatura del concreto demasiado alta.	Verifique el contenido de humedad y la granulometría de los agregados. Los acopios deben tener granulometría uniforme y deben hidratarse. Asegúrese de que el agua del pastón está ajustada para el contenido de humedad de los agregados.

		<p>Verifique si se agregó agua en el sitio.</p> <p>Realice un ensayo de uniformidad en la mezcladora.</p> <p>Tome la hora del pastón de la boleta de despacho del concreto. Los tiempos de acarreo no deben exceder el tiempo permitido.</p>
Pérdida de asentamiento mayor a 25 mm (1”) entre la planta y la pavimentadora	Tendencia al falso fraguado o incompatibilidad de materiales	<p>Revise la composición del cemento</p> <p>Revise el tiempo de mezclado</p> <p>Revise la compatibilidad de los aditivos</p>
Contenido de aire inconsistente	<p>Variaciones en la puzolana (puede variar el contenido de carbono en la ceniza volátil clase C, lo que afecta considerablemente la dosis necesaria de aditivo incorporador de aire).</p> <p>Cambio de la fuente, tipo o marca del cemento</p> <p>Cambio en la granulometría de la arena.</p> <p>Mezclado inadecuado o variable, debido a las hojas gastadas de la mezcladora, una mezcladora sobrecargada o tiempos de mezclado variables.</p> <p>Efectos de la temperatura del concreto.</p>	<p>Si usa ceniza volátil clase C, espere variaciones en la dosis necesaria de aditivo incorporador de aire</p> <p>Monitoree de cerca los contenidos de aire y ajuste las dosis de los aditivos según sea necesario.</p> <p>Si los contenidos de aire caen entre la mañana fresca y la tarde calurosa, puede deberse al cambio en la temperatura del concreto. En ese caso, aumente la dosis del aditivo de incorporador de aire cuando se eleve la temperatura.</p> <p>Si un cambio súbito parece permanente, revise en busca de un cambio en los materiales provistos (cemento, aditivos, etc.)</p> <p>Revise el acopio de arena para ver si ha cambiado su granulometría.</p> <p>Examine la mezcladora (rebabas) y los procedimientos de mezclado.</p> <p>La contaminación de uno de los ingredientes con sustancias orgánicas puede cambiar también súbitamente</p>

		la dosis necesaria del aditivo incorporador de aire. Procure aislar el origen.
Temperatura excesiva del concreto	Los ingredientes pueden estar calientes en el momento de mezclado: agregados, cemento, ceniza volátil. Tiempos de acarreo prolongados. Tiempo caluroso.	Siga la práctica para elaborar concreto en tiempo caluroso según sea apropiado. Minimice los tiempos de acarreo.
Falla en el fraguado	Contaminación por sustancias orgánicas, excesiva cantidad de retardante, excesiva cantidad de reductor de agua, retardador no dispersado y tiempo frío.	Busque contaminación en el agua, agregados y equipamiento. Reduzca la dosis del retardante y el reductor de agua. Mejore el mezclado para dispersar el retardante. Siga las prácticas para elaborar concreto con tiempo frío según sea apropiado.
Mezcla pegajosa	Uso de altas dosis (> 5%) de humo de sílice. Arena demasiado fina. Uso de llana de madera sobre concreto con aire incorporado.	Cambie la fuente de la arena. Use llanas de magnesio o aluminio
Formación de “nidos de abejas”	El clima caluroso puede inducir al endurecimiento prematuro. Vibración inadecuada. Los cambios en la granulometría de los agregados afectarán la trabajabilidad. Agregados secos. Alta velocidad de la pavimentadora.	Siga las prácticas para elaborar concreto con tiempo caluroso según sea apropiado. Verifique que todos los vibradores funcionen adecuadamente y a la frecuencia y amplitud correctas. La velocidad de la pavimentadora no debe ser demasiado alta. Revise la granulometría de los agregados.
Asentamiento de los bordes	Concreto malo y/o no uniforme. Operación incorrecta del equipo de pavimentación.	Verifique el diseño de la mezcla y los procedimientos de elaboración. Verifique la humedad y la granulometría de los agregados. Revise los procedimientos de colocación del concreto.

Problemas de lisura	<p>Concreto no uniforme.</p> <p>Pavimentadora operando con paradas y rearranques.</p> <p>Concreto en cantidad insuficiente o excesiva frente a la pavimentadora.</p> <p>Uso frecuente de cabeceras de construcción.</p> <p>Empleo de una pavimentadora liviana.</p>	<p>Verifique los procedimientos de preparación del pastón.</p> <p>Revise la granulometría de los agregados.</p> <p>Mejore las condiciones constructivas.</p> <p>Minimice los retrasos en la entrega del concreto.</p> <p>Agregue más camiones de acarreo, si es necesario, o reduzca la velocidad de la pavimentadora.</p> <p>Mejore la operación de la pavimentadora.</p>
Protuberancias	<p>Agregados no sanos.</p> <p>Bolas de arcilla.</p>	<p>Revise los agregados por su sanidad. Revise por entremezclado de los agregados con suelo.</p>
Descascarado, levantamiento de polvo	<p>Terminación excesiva.</p> <p>Terminación prematura.</p> <p>Congelación temprana del concreto.</p>	<p>Mejore la técnica de terminación.</p> <p>Proteja el concreto de las heladas. El concreto dañado por las heladas debe quitarse y reemplazarse.</p>
Agrietamiento por retracción plástica	<p>Pérdida excesiva de humedad en el concreto fresco.</p>	<p>Use un acelerante para que el concreto fragüe más rápidamente.</p> <p>Proteja el concreto de la pérdida de humedad antes y después de su colocación: pulverización o aplicación inmediata de retardante de evaporación o compuesto de curado.</p> <p>Asegúrese de que los agregados absorbentes se mantengan húmedos.</p> <p>Consulte las prácticas para elaborar concreto con tiempo caluroso según sea apropiado.</p>
Fisuración aleatoria	<p>Aserrado superficial / tardío.</p> <p>Mala alineación de pasadores.</p> <p>Adherencia con la base estabilizada.</p> <p>Frente frío súbito.</p> <p>Espaciamiento excesivo entre</p>	<p>Corte antes y verifique la profundidad del aserrado.</p> <p>Revise la alineación de los pasadores.</p> <p>Extraiga testigos para revisar la adherencia entre capas.</p>

	juntas.	Revea el espaciamiento entre juntas.
Disgregación del corte con sierra	Aserrado demasiado pronto.	Espera más tiempo para aserrar. Verifique la compatibilidad de las hojas de sierra. Use una sierra en seco de entrada temprana.
Astillamiento de las juntas	Terminación manual excesiva; al tratar de fijar asentamiento de bordes en partes bajas con concreto manipulado manualmente; concreto no uniforme que se traduce en una junta longitudinal ondulada, que se astilla cuando se la asierra y daños colaterales debidos al equipo, las orugas de la pavimentadora de moldes deslizantes, sinfines, etc.	Mejore la práctica constructiva.
Muestras de concreto con resistencia baja	Errores en la dosificación y/o mezclado del concreto. Incompatibilidad entre el cemento y el aditivo incorporador de aire que produce coalescencia de las burbujas de aire atrapado alrededor de las partículas de los agregados. Preparación, curado, manipuleo o ensayo incorrecto de las muestras.	Verifique la totalidad del proceso de preparado, curado, manipuleo y ensayo. Los especímenes a la flexión son particularmente vulnerables a los procedimientos de manipuleo y ensayo deficientes. Verifique la totalidad del proceso de dosificación y mezclado. Los pastones de prueba pueden eliminar la posibilidad de incompatibilidad. Un examen visual rápido de un testigo identificará cualquier coalescencia de las burbujas de aire atrapado.

9. ASERRADO Y SELLADO DE JUNTAS

El aserrado y sellado de juntas es más un arte que una ciencia. Requieren de una cuadrilla experimentada para llevar a cabo correctamente las tareas asociadas. Aunque se dispone de pautas mejoradas para estimar el momento en que se debe comenzar con el aserrado, la velocidad de aserrado, el estado de la hoja de sierra y el cuidado por parte del operador se combinan para influir sobre el producto final.

9.1 PRÁCTICAS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE JUNTAS

Las siguientes son las consideraciones necesarias:

1. Inspeccione los planos de proyecto para decidir la ubicación de los pasadores y las barras de unión. Si se detectan problemas, analice estos puntos con el ingeniero antes de pavimentar.
2. Para pavimentos de concreto simple y con juntas la relación permitida entre largo y ancho de una losa es de 1,25. Si las dimensiones mostradas en los planos exceden dicha relación, revíselas con el ingeniero proyectista antes de pavimentar.
3. En los lugares donde no se pueden construir losas rectangulares (paneles con forma singular), se colocan barras de acero empotradas en ambas direcciones en una relación de al menos 0,05%. El acero empotrado no impedirá que se fisuren las losas con formas singulares; no obstante, permite minimizar las aberturas debido a fisuras a fin de reducir la infiltración de residuos y el mantenimiento posterior por astillamiento.
4. Los tres tipos de juntas usados en la pavimentación con concreto en aeródromos son: de contracción, de construcción y de expansión (aislación) (Figura 9.1.).
 - a. Las juntas de contracción controlan la ubicación del agrietamiento del pavimento causada por la contracción (retracción) por secado y/o por temperatura. Se emplean para reducir la tensión causada por la curvatura y el alabeo de las losas. Los pasadores se pueden usar en las juntas de contracción para la transferencia de cargas, bajo ciertas condiciones. Sin embargo, se espera que la transferencia de cargas se logre mediante la trabazón entre los agregados. Deben

DISTRIBUCIÓN DE JUNTAS:

Verifique los planos para detectar cualquier conflicto con los pasadores y las barras de unión.

Asegúrese de que las juntas se alineen sobre las fajas piloto.

Inspeccione varios sitios para asegurarse de que las juntas quedarán alineadas.

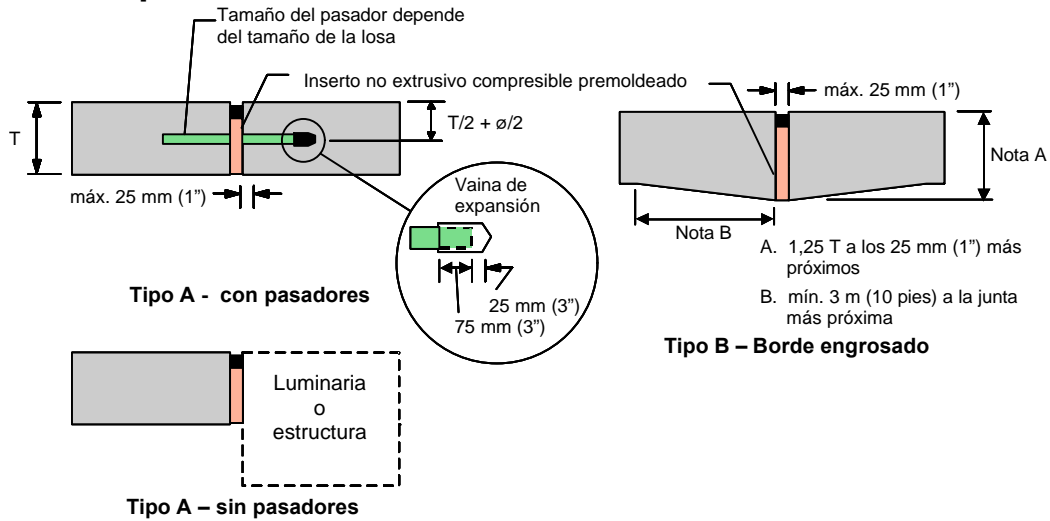
Planifique las fajas de pavimentación de modo que se asierre una sola junta longitudinal.

Planifique moldes de exclusión y sitúelos a más de 1,2 m (4 pies) de las juntas en la medida de lo posible.

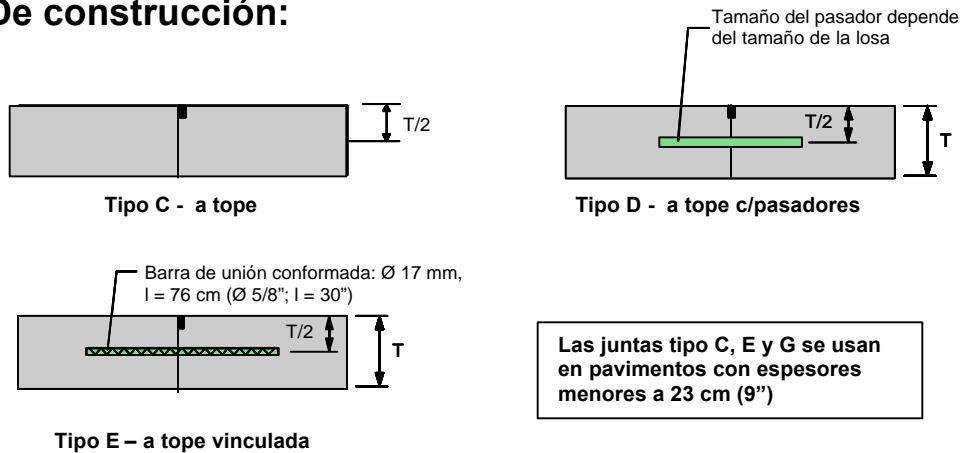
La profundidad del corte debe ser de 1/3 del espesor cuando se usan bases estabilizadas. Sobre bases granulares use 1/4 del espesor.

- aserrarse las juntas de contracción.
- b. Las juntas de construcción separan construcciones contiguas colocadas en diferentes momentos, tales como la colocación al final del día o entre fajas de pavimentación. La transferencia de cargas se logra mediante el empleo de pasadores. Una junta transversal de construcción se conforma, para la pavimentación con moldes deslizantes en aeropuertos, aserrando el extremo de la losa en todo su espesor y quitando los excedentes.
 - c. Las juntas de aislación o expansión se usan para separar pavimentos que se intersectan y para aislar las penetraciones en el pavimento tales como las luminarias empotradas. Existen dos tipos: El tipo A y el tipo B.

De expansión o aislación:



De construcción:



De contracción:

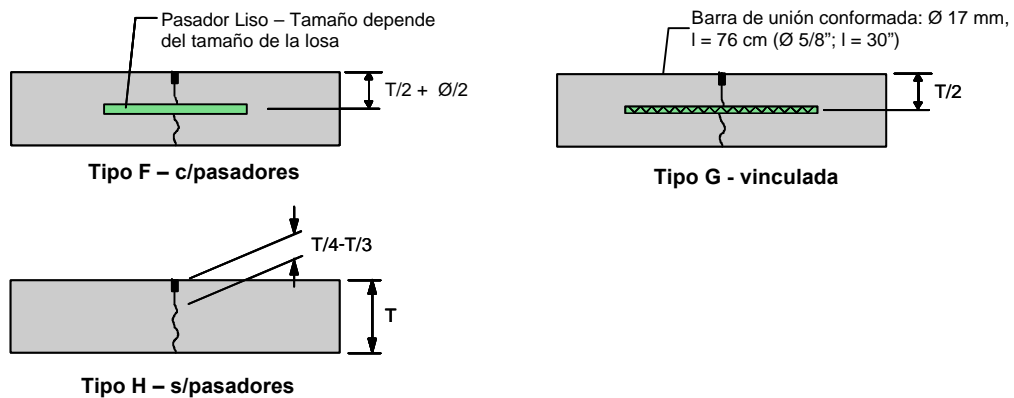


Figura 9.1 – Tipos de juntas para pavimentos de concreto para aeropuertos (cortesía de la Asociación Norteamericana de Pavimentos de Concreto, ACPA)

- i. Las juntas de aislación tipo A proporcionan transferencia de cargas con pasadores. Un material no extrusivo y compresible de 19 mm (0,75") proporciona la separación entre dos pavimentos contiguos.
- ii. Las juntas de aislación tipo B no emplean pasadores y en su lugar usan mayor espesor a lo largo de la junta para reducir los esfuerzos de tracción en la losa. Se prefiere este tipo de junta de aislación donde el pavimento apoya contra una estructura (por ej.: un edificio) o donde se anticipan diferencias en los movimientos vertical y horizontal de los pavimentos. Un material no extrusivo y compresible similar al del tipo A proporciona la separación.

La función principal de todas las juntas es la de controlar la fisuración o agrietamiento. Las juntas en los pavimentos de concreto se espacian para reducir las tensiones de restricción por contracción y por temperatura de forma tal que no se produzcan fisuraciones aleatorias entre juntas como resultado de tales tensiones de restricción. La magnitud de las tensiones de restricción que influyen sobre el espaciamiento depende de:

1. Los gradientes higrotérmicos (en las partes superior e inferior de la losa).
2. Una caída en la temperatura del concreto (relativa a la temperatura de fraguado final).
3. Retracción del concreto.
4. Una alta fricción entre la losa y la base.
5. Un alto módulo de reacción base/subrasante (por ejemplo: $k > 80 \text{ kPa/mm (lb/pulg}^3\text{)}$).
6. El espesor del pavimento.

Los requisitos de espaciamiento entre juntas también se ven afectados por las propiedades del concreto. Las propiedades que afectan la magnitud de las tensiones de restricción son:

1. El módulo de elasticidad (generalmente entre 24.000 y 38.000 MPa [3,5 y 5,5 millones de psi]; se presume un valor de 27.000 MPa [4,0 millones psi] para la mayoría de las soluciones de diseño).
2. El coeficiente de contracción (que varía generalmente entre 5,0 y $6,5 \times 10^{-6}$ pulg/pulg/°F).
3. El coeficiente de retracción o contracción (que varía generalmente entre 250 y 350×10^{-6} mm/mm).
4. La densidad (generalmente entre 2.275 y 2.400 kg/m³ para el concreto con aire incorporado).

En la tabla 9.1 se listan las distancias máximas entre juntas recomendadas para pavimentos sobre bases con agregados (granulares):

Tabla 9.1 – Distancias máximas entre juntas sobre base con agregados (granular).

Espesor de la losa, cm.	Espesor de la losa, pulg.	Distancia entre juntas, m	Distancia entre juntas, pies
15	6	3,8	12,5
15,5 a 23	7 a 9	4,6	15
23 a 30,5	9 a 12	6,1	20
>30,5	>12	7,6	25

Las tensiones en los pavimentos aumentan con un valor mayor del módulo de reacción de la base/subrasante (k). Para bases estabilizadas de alta resistencia, el espaciamiento admitido entre juntas necesita ser diseñado dentro del rango de 4 a 6 veces (normalmente 5 veces) el radio de rigidez relativa (l) del pavimento.

Éste último se determina como sigue:

$$l = \{ E * h^3 / [12 (1 - \nu^2) k] \}^{0.25} \quad (\text{Unidades inglesas})$$

Donde l = radio de rigidez relativa, en pulg.

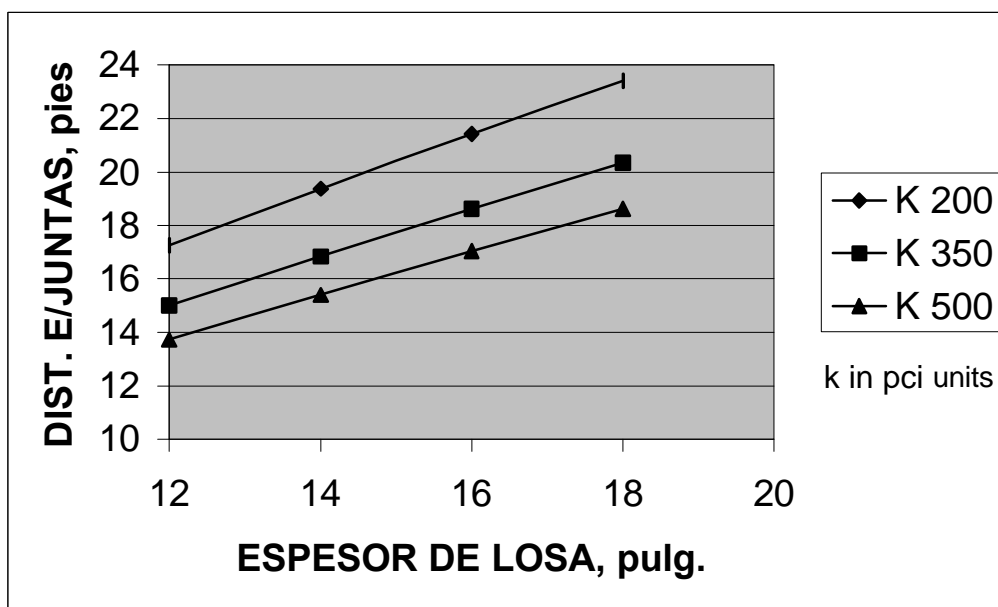
E = módulo de elasticidad del concreto, en psi

h = espesor de la losa, en pulg..

ν = coeficiente de Poisson para el concreto (generalmente 0,15)

k = módulo de reacción de la base/subrasante (parte superior de la subbase estabilizada), en lb./pulg.³

La distancia entre juntas, basada en las consideraciones anteriores, se grafica en la Figura 9.2 como una función del espesor de la losa y el módulo de reacción de la base/subrasante. La longitud de junta disminuye a medida que aumenta la rigidez de la base/subrasante. Este gráfico se desarrolló usando un valor de módulo de elasticidad de 4.000.000 y una distancia entre juntas igual a cinco veces el radio de rigidez relativa.



Nota: Esta figura no debe usarse para el diseño, sólo se proporciona a modo de ejemplo.
 (1 pie = 30,5 cm; 1 pulg. = 2,5 cm; 1 lb./pulg.³ = 0,27 kPa/mm)

Figura 9.2 – Distancias entre juntas típicas para pavimentos sobre bases estabilizadas

Los pavimentos con cajas para luminarias requieren atención especial. Los moldes de exclusión usados para instalar las cajas de las luminarias, pueden restringir el movimiento de la losa e incrementar las tensiones de restricción asociadas con la humedad y los cambios térmicos. Los ingenieros proyectistas normalmente agregan acero empotrado en las losas que contienen cajas para luminarias. Si bien el acero empotrado no impedirá el agrietamiento por restricción alrededor de los moldes de exclusión para las cajas de luminarias, mantendrá unida cualquier fisura que se pueda desarrollar y reducirá el potencial de astillamiento en las fisuras. Dado que la mayoría de los movimientos de la losa ocurren cerca de las juntas longitudinales y transversales, los patrones de juntas deben ser tales que en lo posible las luminarias queden ubicadas a más de 1,2 m (4 pies) de distancia de las juntas planificadas. Cuando las cajas para luminarias se encuentran a menor distancia que 1,2 m (4 pies) de las juntas, tienden a irradiar fisuras.

Se deberá marcar la ubicación de las juntas sobre la base, los bordes de losa o sobre los moldes. Puede ser difícil transferir la ubicación de las juntas por sobre las fajas piloto cuando se pavimenta una pista de aterrizaje o una pista de rodaje muy ancha. En ese caso se pueden emplear métodos topográficos para transferir la ubicación de las juntas por encima de las fajas de pavimentación. Pequeñas desviaciones al transferir la ubicación de las juntas pueden traducirse en juntas oblicuas. La ubicación de las juntas debe marcarse cuidadosamente y éstas deben construirse en la posición correcta.

9.2 LOS TIEMPOS PARA EL ASERRADO DE JUNTAS

Los tiempos para el aserrado de las juntas son cruciales. Se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

1. El aserrado debe comenzar apenas el concreto ha endurecido lo suficiente como para permitir el corte sin que se produzcan descascaramientos, astillamientos o roturas.
2. Los factores que influyen en la velocidad de endurecimiento del concreto son:
 - a. Las temperaturas del aire y del concreto durante su colocación
 - b. El contenido de cemento en la mezcla
 - c. Las características de la mezcla.
3. El contratista debe estar preparado para aserrar tan pronto como el concreto esté listo para ello, sin importar la hora o si es de día o de noche.
4. Durante el tiempo caluroso, el concreto estará listo para su aserrado entre las 4 y 12 horas posteriores a su colocación. En tiempo frío, o cuando el agua de la mezcla se encuentra por debajo de los 10 °C (50 °F), se puede retrasar hasta 24 horas.
5. Generalmente, las mezclas de concreto con agregados gruesos blandos (por ej.: piedra caliza) no requieren tanto desarrollo de resistencia previo al aserrado como las mezclas con agregados gruesos duros.
6. Si se retrasa el aserrado, puede aparecer agrietamiento aleatorio.
7. Varios factores pueden reducir la longitud de la ventana (intervalo) de aserrado. Si la ventana se vuelve muy corta, pueden desarrollarse fisuras aleatorias. En la Figura 9.3 se muestra la ventana de aserrado de juntas.
8. Cuando el aserrado se efectúa sobre concreto, éste debe ser capaz de soportar el peso del equipo de aserrado y el personal involucrado en la tarea.
9. Durante el aserrado, si se producen astillamientos a lo largo del corte, o si la sierra arranca el agregado de la superficie en lugar de cortarlo, es señal de que el concreto no ha endurecido lo suficiente.

FACTORES QUE ACORTAN LA VENTANA DE ASERRADO DE JUNTAS:

- Descenso repentino de la temperatura
- Viento fuerte, baja humedad
- Bases con alta fricción
- Adherencia entre la base y la losa
- Base porosa
- Fraguado retardado
- Pavimentación de las fajas de relleno
- Retraso en la aplicación del curado

Factores de la ventana de aserrado

1. El momento más temprano para aserrar las juntas se determina usualmente basándose en el ensayo de rayado efectuado por el operador de la sierra o en la observación de la disgregación o el descascaramiento en las juntas al efectuar el primer corte.

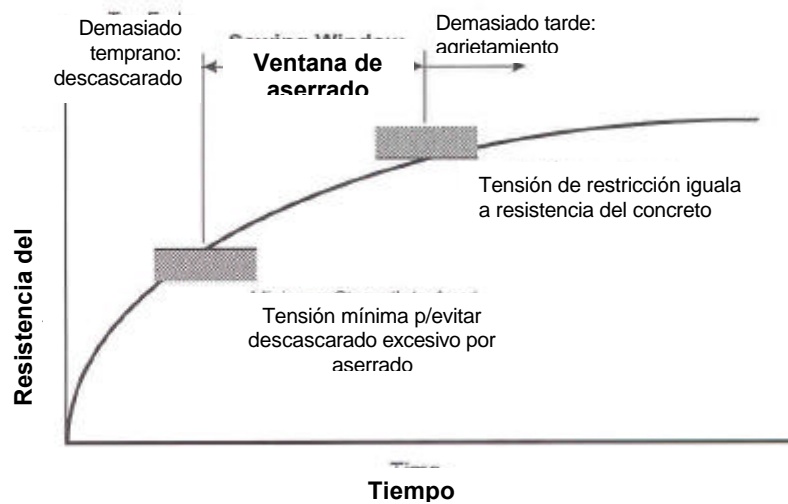
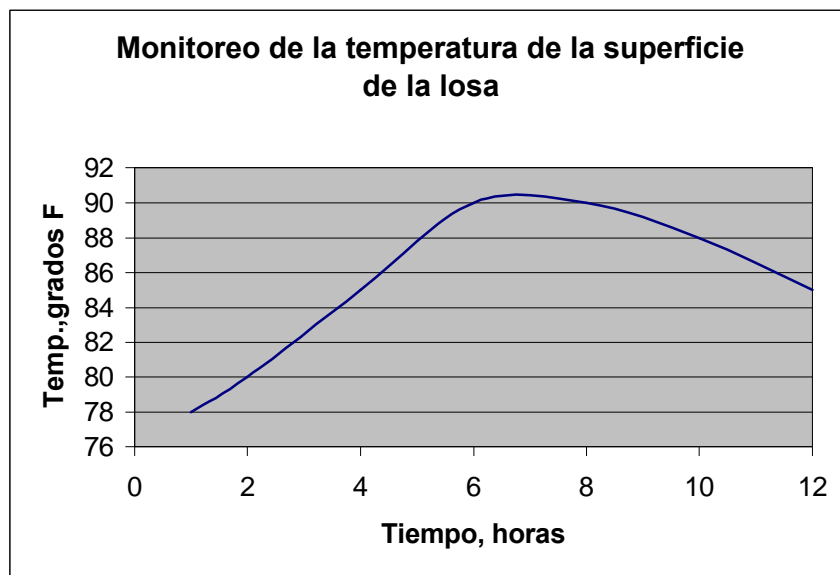


Figura 9.3 – Ventana (Intervalo) de oportunidad para el aserrado de juntas

2. Una norma general para el último límite para la oportunidad de aserrado es cortar antes de que la temperatura superficial del concreto disminuya significativamente.
 - a. Bajo la mayoría de las condiciones de pavimentación, la temperatura superficial superior comenzará a disminuir (Figura 9.4) mientras las temperaturas del concreto debajo de la superficie continúan aumentando.



(1 °F = 0,56 °C)

Figura 9.4 – Temperatura superficial de la losa a edad temprana

- b. Una vez que disminuye la temperatura superficial del concreto y se genera un gradiente térmico, comienzan a desarrollarse tensiones de restricción de rotación térmicas. El concreto se agrietará si las tensiones por restricción exceden la resistencia a la tracción (tenacidad) del concreto.
 - c. Si se aserra antes de que enfríe significativamente la superficie, las tensiones por restricción a la rotación permanecen bajas y la fisuración se produce únicamente en las juntas planificadas.
 - d. La temperatura superficial se puede monitorear mediante termómetros de superficie y pistolas infrarrojas.
 - e. En proyectos grandes, se pueden monitorear los descensos de la temperatura superficial de las losas para establecer pautas para disminuciones admitidas de la temperatura superficial.
 - i. Por ejemplo, suponiendo que las condiciones de pavimentación son relativamente constantes, si no ocurren agrietamientos en las losas en secciones con descensos de temperatura de 5 grados, la pauta para el último límite se establecerá para un descenso de temperatura de 5 grados.
 - ii. La pauta será seguida hasta que cambien las condiciones del clima u otros datos garanticen el establecimiento de nuevos descensos máximos de temperatura.
 - iii. Al aumentar el descenso máximo de la temperatura, disminuye el factor de seguridad.
3. Un método mejorado para establecer el límite temprano de la ventana de oportunidad es el de usar medidores de madurez del concreto. El método de madurez considera los efectos combinados de la temperatura y el tiempo para el desarrollo de la resistencia del concreto.
- a. Los medidores de madurez del concreto (Figura 9.5) usan termocuplas instaladas en el concreto plástico y

ATENCIÓN ESPECIAL A LOS TIEMPOS DE ASERRADO:

El pavimento de concreto colocado sobre una base estabilizada es sensible a los tiempos de aserrado. La alta fricción que se puede desarrollar entre la losa y la base si no se toman precauciones adecuadas, puede resultar en un agrietamiento descontrolado.

El brusco descenso de temperatura durante la noche causará tensiones de contracción en el concreto que pueden exceder su resistencia a la tracción y conducir a un agrietamiento descontrolado. Cuando se esperan condiciones adversas, se debe realizar el aserrado lo antes posible y continuar hasta que esté completo. Esto es especialmente importante para el concreto de cemento Portland colocado sobre una base estabilizada.

La superficie de la subbase puede calentarse en verano. Esto aumenta el gradiente de temperatura a través de la losa. El tiempo de aserrado disminuirá dramáticamente cuando se producen estas condiciones. Para bases tratadas con asfalto, la superficie del material puede blanquearse para aumentar su reflectividad.

- registran automáticamente las temperaturas a intervalos dados de tiempo.
- b. Al considerar tanto la temperatura como el tiempo de curado, se supone que una mezcla dada de concreto tendrá la misma resistencia a estados de madurez iguales, independientemente del tiempo de curado y los historiales de temperatura.
 - c. Las termocuplas se insertan por lo general a unos 5 cm (2") de profundidad lo antes posible después de las tareas de terminación. Es necesario ajustar entonces los medidores de madurez para que registren temperaturas a intervalos aprox. de 15 a 30 minutos. Los aparatos calculan automáticamente la madurez. El desarrollo de la resistencia temprana es función de las condiciones ambientales, temperaturas iniciales del concreto, tipo de cemento, cantidad de cemento, tipo de agregado grueso y la relación agua-materiales cementicios. Los valores de madurez se pueden usar también para establecer los tiempos tempranos correlacionados con cantidades aceptables de desintegración o evaluaciones visuales.

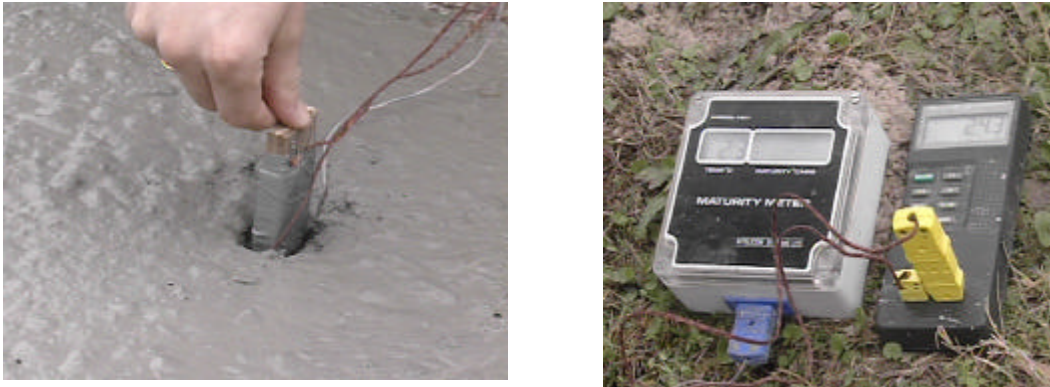


Figura 9.5 – Ensayo con el medidor de madurez

9.3 ASERRADO DE JUNTAS

Para el aserrado de juntas, lo normal es un proceso de dos pasos. En el primer paso, se hace el corte inicial para liberar las tensiones por restricción y permitir que el agrietamiento ocurra en los lugares planificados. Se efectúa un segundo corte para conformar el reservorio de sellador luego de completado el proceso de hidratación.

Los puntos a considerar para el aserrado inicial son:

1. El primer aserrado (aserrado temprano) se hace con una hoja angosta (aproximadamente 3 mm (1/8")).
2. Los aserrados tempranos realizados durante el aumento de las temperaturas del concreto deben llevarse a cabo en una sola pasada y en toda la profundidad de corte de diseño.

3. Los aserrados tempranos realizados durante el descenso de las temperaturas requieren de atención especial, ya que se producirá retracción del concreto debido a las temperaturas que caen.
4. Los cortes hasta la profundidad de diseño durante el descenso de las temperaturas pueden causar fisuración aleatoria (agrietamiento de alvéolos superficiales) delante de la sierra.
 - a. Este problema puede evitarse con dos cortes: el primero hasta la mitad de la profundidad de diseño seguido por una segunda pasada hasta la profundidad proyectada.

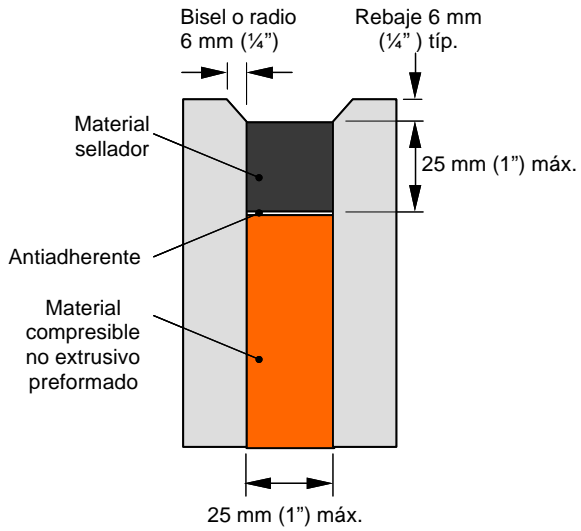
**FACTOR DE FORMA
DEL SELLADOR DE
JUNTAS
(Ancho/Profundidad):**

Las opciones de diseño de los reservorios para el sellador en pavimentos de concreto para aeropuertos se ilustran en la Figura 9.6.

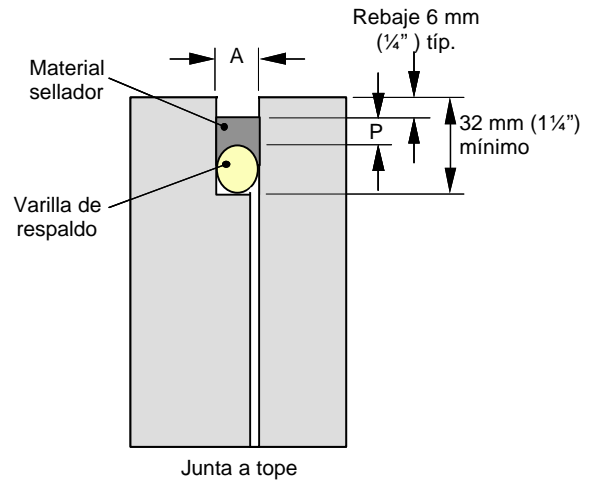
Los selladores con base asfáltica vertidos en caliente, normalmente necesitan un factor de forma del reservorio (proporción ancho/profundidad) de 1.

Los selladores de silicona y de dos componentes vertidos en frío, normalmente necesitan un factor de forma del reservorio de 2.

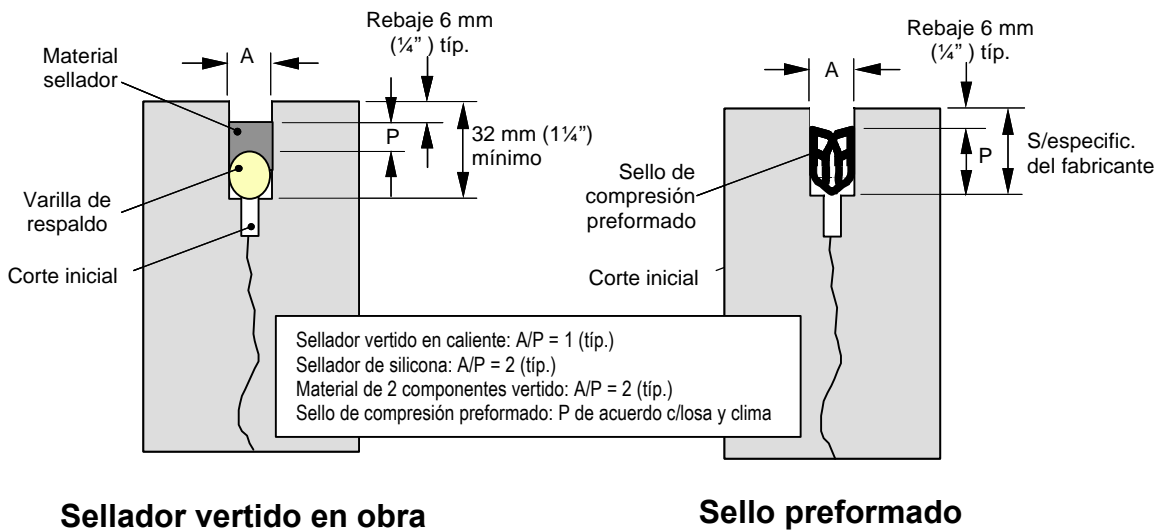
Los reservorios de sellador por compresión están conformados para proporcionar un promedio de compresión del sellador de un 25% en todo momento.



Detalle 1- Junta de expansión/ aislación



Detalle 2 – Junta de construcción



Detalle 3 - Juntas de contracción

Nota: Las juntas biseladas son aceptables para todos los tipos de juntas

Figura 9.6 – Opciones de diseño de reservorio para el sellador para pavimentos de concreto para aeropuertos (cortesía de la Asociación Norteamericana de Pavimentos de Concreto, ACPA)

- b. Se interrumpirá el aserrado en cualquier junta en la que aparezca una fisura delante de la sierra.
5. Las juntas transversales se aserran consecutivamente en el mismo orden en el que se colocó el pavimento.
 - a. A veces se usa una práctica llamada aserrado alternado para controlar el agrietamiento. Esta práctica comprende cortar en forma alternada o cada tercer junta.
 - b. El aserrado alternado puede originar anchos variables de las juntas.
 - c. Pueden presentarse excesivas tensiones del sellador en las juntas cortadas inicialmente.
 - d. Antes de aserrar cada junta, se examinará de cerca al concreto en busca de fisuras. No se aserrarán las juntas proyectadas si ha aparecido una fisura cerca de la junta planificada.

Las siguientes consideraciones atañen al corte para el reservorio:

1. Se efectúa un segundo corte para acomodar el material de sellado de la junta (corte para reservorio).
2. El segundo corte se efectúa mediante una sierra ancha ajustada a la profundidad requerida.
3. No se recomiendan las hojas en tándem para el segundo corte. La estabilidad de los sistemas de hojas en tándem no es suficiente como para minimizar el riesgo de astillamiento de la junta.
4. El segundo corte (en una pasada o en dos) se hace en cualquier momento antes de sellar la junta. Sin embargo, cuanto más tarde en la edad del concreto se conforme el reservorio para el sellador, tanto mejor será el estado de la cara de la junta.
5. La profundidad y el ancho del segundo corte deben cumplir con los requisitos del factor de forma (relación ancho/profundidad) del sellador. El desempeño satisfactorio del sellador de junta depende del factor de forma del mismo.
6. Durante ambas fases del aserrado, debe revisarse periódicamente el corte para verificar que su profundidad sea la apropiada.
 - a. Las hojas de sierra tienden a desgastarse así como a montarse sobre los agregados gruesos que encuentran en su camino.
 - b. Se pueden realizar mediciones periódicas del diámetro de las hojas para monitorear su desgaste.

El aserrado por vía húmeda deja una lechada sobre la superficie de concreto y la cara de la junta. Para el primer corte, se debe limpiar la lechada con un chorro de agua a baja presión seguido de un soplado con aire a baja presión. Una vez quitada la lechada, se debe volver a aplicar el compuesto de curado a lo largo de la junta. Para el corte del reservorio se sigue el mismo procedimiento, excepto que las presiones del aire y del agua pueden aumentarse dado que el concreto ya ha endurecido.

Para el aserrado de juntas en pavimentos de concreto se usan varios tipos de equipos de aserrado. Las juntas transversales se construyen usando uno de las siguientes maquinarias:

1. Sierras de puente
2. Sierras de 65 HP autopropulsadas guiadas por operador
3. Sierras de entrada temprana
 - a. Las sierras de entrada temprana no usan agua.
 - b. Generalmente pueden aserrar a edades más tempranas que las sierras de puente o las autopropulsadas.
 - c. Dependiendo de las condiciones de pavimentación y el desarrollo de resistencia a corta edad, el aserrado de entrada temprana es posible antes de cualquier enfriamiento de la superficie y el desarrollo de tensiones de restricción a la tracción (tenacidad).
 - d. Asimismo, dado que los cortes pueden realizarse antes, los requisitos de profundidad mínima para el corte inicial pueden ser menores. Las profundidades máximas actuales para las sierras de entrada temprana son de 10 cm (4"). Esto puede limitar su empleo a pavimentos de menos de 40 cm de espesor (16") sobre base granular.

Las juntas longitudinales de contracción se construyen con sierras autopropulsadas o de entrada temprana.

Otros puntos referentes al aserrado de juntas a los que se le debe prestar atención incluyen:

1. Las juntas longitudinales y transversales se cortan casi al mismo tiempo.
2. Cuando el concreto está conformado mediante moldes deslizantes los cortes transversales deben extenderse completamente atravesando el borde longitudinal.
 - a. Si un corte se detiene cerca de un borde longitudinal, el corte transversal en el borde no es tan profundo y aumenta el riesgo de fisuras aleatorias iniciadas en las esquinas exteriores.
 - b. Cuando se usan moldes de metal las sierras tienen que aproximarse lo más cerca posible a éstos.
3. El riesgo de fisuración por restricción a edad temprana aumenta antes de construir las juntas si se retarda el aumento de resistencia (aumento lento de la resistencia) o la temperatura superficial del concreto desciende rápidamente (por ej.: enfriamiento debido a la lluvia).
4. Si el aserrado no se puede realizar lo suficientemente rápido debido a un bajo aumento de la resistencia o en relación con la rápida generación de tensiones por restricción, se debe considerar el método de aserrado alternado.
 - a. La construcción de cada tercera o cuarta junta puede reducir el peligro de agrietamiento aleatorio.
 - b. Sin embargo, esto puede llevar a anchos aleatorios de las fisuras por retracción en las juntas.
 - c. Sólo se debe usar el aserrado alternado si no queda otra opción.
 - d. Antes de usar esta técnica, se deben considerar ajustes en la mezcla de concreto o el procedimiento de pavimentación.
5. El biselado del reservorio de junta en las juntas transversales aumenta los ángulos en las esquinas de las mismas de 90 a 120 grados.
 - a. El biselado reduce el peligro de daños por parte de los equipos barrenieve.

- b. Una desventaja mayor es el incremento en el costo de construcción del reservorio biselado para sellador.
- c. Si se usa el biselado se debe calcular el factor de forma basado en la profundidad del sellador en el punto donde la cara de la junta es vertical.

9.4 LIMPIEZA DE LA JUNTA PREVIA A SU SELLADO

La limpieza de la junta previa a su sellado asegura un servicio a largo plazo del sellador. Los siguientes puntos son esenciales para las tareas de sellado:

1. Inmediatamente antes de sellar, se deben limpiar las juntas en forma integral para librarlas de todo resto de lechada de cemento, compuesto de curado y demás materiales extraños.
2. Para limpiar la junta, se puede usar arenado, cepillo de alambre, chorro de agua o alguna combinación de estas herramientas.
 - a. El arenado o el cepillo de alambre son los métodos preferidos de limpieza.
 - b. Las caras de la junta se pueden imprimir inmediatamente después de la limpieza.
 - c. El arenado se debe realizar con mucho cuidado debido a la posibilidad de que partículas de arena llenen la junta.
 - d. El procedimiento es aplicarlo sólo sobre la cara donde se adherirá el sellador.
 - e. Al realizar el arenado, debe sostenerse la boquilla en ángulo para evitar que las partículas de arena penetren más profundamente en la junta.
3. Es necesario usar el soplado con aire como paso final de la limpieza. Al realizar el soplado, debe mantenerse la boquilla a no más de 5 cm (2”) de la superficie del pavimento para soplar los residuos que se encuentran delante de ésta.
4. Una vez completada la limpieza con chorro de aire, se puede proceder a la instalación de la varilla de respaldo y la aplicación del sellador. Se debe repetir la limpieza con chorro de aire en aquellas juntas que han quedado abiertas durante la noche o períodos prolongados.

AIRE LIMPIO, CARA LIMPIA DE LA JUNTA:

La corriente de aire no debe contener aceite. Muchos compresores modernos insertan aceite automáticamente en las líneas de aire para lubricar las herramientas neumáticas. Para la limpieza de las juntas se debe desconectar esta línea e instalar una trampa eficaz para aceite y humedad.

En la mayoría de los casos el interior de la manguera de un compresor de aire lubricante está revestido con aceite. Se deben utilizar mangueras nuevas para limpiar las juntas.

9.5 CUESTIONES RELACIONADAS CON EL SELLADO DE JUNTAS

Los temas cruciales referidos al sellado de juntas de pavimento incluyen los tiempos para el ensanche del reservorio, el biselado, la limpieza de juntas, la profundidad del sellador y los tiempos de sellado.

Algunos puntos relacionados con el sellado de juntas incluyen:

1. Los selladores de juntas se emplean en juntas de pavimentos de concreto para mantener alejados los materiales nocivos y minimizar la infiltración de agua.
2. Para llevar a cabo la tarea según las expectativas, los materiales sellantes deben tener la capacidad de resistir repetidamente expansiones y contracciones, ya que las losas del pavimento se expanden y contraen con los cambios de temperatura y humedad.
3. El tamaño y forma de la sección transversal del sellador afecta el desempeño del material de sellado.
4. En los sitios de recarga de combustible y en cualquier área pavimentada del aeropuerto sujeta a derrames de combustible, es necesario colocar selladores resistentes al combustible para reactores.
5. Los tiempos para las tareas de sellado pueden variar entre:
 - a. Lo antes posible.
 - b. Antes de pavimentar la faja adyacente.
 - c. Cuando el pavimento alcanza la resistencia a la flexión mínima para el tránsito de obra.
 - d. Previo a las tareas de estriado.
6. En general, se recomienda esperar la mayor cantidad de tiempo posible para sellar las juntas.
 - a. Sin embargo, los residuos duros que pueden infiltrar el corte realizado en el pavimento fresco pueden causar astillamientos.
 - b. Los beneficios de la postergación del sellado compensan con creces la desventaja de la intrusión de residuos.
 - c. Se puede usar un relleno temporal como una varilla y/o cordón de respaldo para evitar que los restos infiltren las juntas.

EVITAR INCOMPRESIBLES:

El relleno temporal de las juntas es una buena medida para minimizar la infiltración de residuos de construcción.

La limpieza de las juntas es necesaria para el desempeño de todos los materiales selladores.

9.5.1 Material de sellado vertido en caliente

Los selladores vertidos en caliente consisten en alguna combinación de asfalto, alquitrán de hulla y goma. Antes de sellar las juntas el contratista debe demostrar que el equipo y los procedimientos para preparar y colocar el sellador darán como resultado una operación satisfactoria. El sellador debe adherirse a la superficie de concreto de las paredes de la junta, no tener vacíos y estar libre de ligantes después de un período de tiempo especificado. La clave para lograr buenos sellados de juntas incluye:

1. Instalar la varilla de respaldo de celda cerrada a la profundidad adecuada para lograr el factor de forma correcto.
2. La varilla de respaldo no debe adherirse ni al concreto ni al sellador. Si esto sucede induce tensión en el sellador.
3. Es necesario comprimir la varilla de respaldo cerca de un 25% si debe mantener su posición dentro de la junta.
4. La marmita de calentamiento debe ser del tipo de calentamiento indirecto. Los elementos con calentamiento directo pueden causar cambios en las propiedades de los materiales. La marmita también necesita un agitador para impedir el calentamiento localizado. El material que se sobrecalienta puede perder plasticidad. Se recomienda descartar cualquier material que se haya sobrecalentado.
5. La varilla de aplicación debe estar equipada con una línea de recirculación. De lo contrario el sellador que se encuentra en la manguera puede caer por debajo de la temperatura de aplicación.
6. El reservorio se llena desde abajo hacia arriba. Se debe cuidar que el sellador se aplique de forma tal que el material sea sólido, sin aire atrapado.
7. Es una buena práctica hacer una prueba para verificar que el sellador tendrá una buena adherencia.
8. Es necesario rebajar el sellador de la superficie para protegerlo en caso de que el pavimento se abra al tránsito poco después del sellado.

9.5.2 Material de sellado vertido en frío

Los selladores vertidos en frío son generalmente polisulfuros, poliuretanos o siliconas. El material puede constar de un solo componente listo para usar o bien de dos componentes que requieren mezclado in situ. Antes de sellar las juntas el contratista debe demostrar que el equipo y los procedimientos para preparar, mezclar y colocar el sellador darán como resultado una operación satisfactoria. El sellador debe adherirse a la superficie de concreto de las paredes de la junta, no tener vacíos y estar libre de ligantes después de un período de tiempo especificado. Los siguientes son puntos clave a tener en cuenta:

1. Dependiendo del material y la recomendación del fabricante, los materiales a verter en frío pueden mezclarse en una rueda de paletas u otro tipo de mezclador, o introducirse, desde contenedores separados, en una boquilla de mezclado que se usa asimismo para inyectar el material en la junta.
2. Una silicona es autonivelante o no autonivelante. Estos materiales curan mediante una reacción química pasando de un estado líquido a uno sólido.
3. Se debe revisar la posible incompatibilidad entre sellos de siliconas y los agregados del concreto. Un sellador de siliconas que no desarrolla una adherencia correcta con los agregados tiende a fallar.
4. La humedad superficial de los agregados en el momento del sellado puede afectar la adherencia entre la silicona y el concreto. Se debe considerar el uso de un imprimador proporcionado por el fabricante para asegurarse de que el sello de siliconas desarrolle una adherencia satisfactoria a la cara del reservorio de la junta.

5. Los materiales vertidos en frío son generalmente más sensibles a la humedad en el reservorio. Por lo tanto, es esencial verificar que el reservorio se encuentre seco al aplicar el sellador.
6. Es necesario aplicar el compuesto de sellado vertido en frío por medio de un equipo a presión que forzaré el material de sellado hacia el fondo de la junta y la llenará completamente sin derramarlo sobre la superficie del pavimento.
7. Los selladores que no son autoliberantes requieren trabajo adicional para mantener la profundidad requerida de sellador. El trabajo adicional requerido por los selladores que no son autonivelantes debe realizarse antes de que el material cure.

9.5.3 Sellador de juntas preformado

La mayoría de los sellos preformados son de neopreno extruido. También se los llama sellos por compresión. El material de neopreno se comprime e inserta dentro del reservorio. La cantidad de compresión previa está basada en el movimiento previsto de la junta a lo largo de la vida útil del sellador.

Los aspectos clave para lograr una buena aplicación del sellador preformado son los siguientes:

1. Para que el sellador sea eficaz durante toda su vida de servicio el material debe mantenerse en el reservorio con un mínimo de compresión (es decir, siempre está comprimido).
2. Se deben seguir las recomendaciones del fabricante en lo que respecta a su medida e instalación.
3. Es necesario insertar el sellador usando un dispositivo que lo comprima uniformemente con su estiramiento nominal.
4. El sellador debe lubricarse en posición recta, vertical y no debe dañarse.
5. El dispositivo de instalación no debe estirarlo. Esto reduce la compresión permitida del sellador y puede producirse la falla del mismo. El estiramiento máximo es del 5% pero generalmente se especifica el 3 ó 4%. Los militares especifican un estiramiento máximo del 2%.
6. Existen dos formas de verificar el estiramiento.
 - a. Primero, inserte el sellador en una longitud conocida de junta y luego retire el material y mida la longitud extraída.
 - b. El segundo método es medir previamente una longitud de sellador. El rollo se marca en forma permanente. Tras su instalación, se mide la longitud del sellador insertado.

9.6 GUÍA PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Los problemas referidos al agrietamiento temprano se tratan en el apéndice E. Estos problemas se pueden deber a una única causa o a una combinación de varias de ellas. La guía para la solución de problemas que sigue trata acerca de los problemas asociados con el aserrado y sellado de juntas, no aquéllos vinculados con el agrietamiento.

Problema	Causa probable	Acción correctiva
Falla en la adherencia del sellador vertido	Cara de la junta sucia Factor incorrecto de forma de la junta	Revise la cara de la junta por limpieza Revise el factor de forma de la junta Reemplace el sellador
Falla en la cohesión del sellador vertido	Malas propiedades del sellador debido al sobrecalentamiento o al subcalentamiento	Reduzca el calor Aplique el calor correcto Use mangueras aisladas Reemplace el sellador
Sellador preformado suelto	Tamaño incorrecto del sellador Junta demasiado ancha Sellador estirado	Use sellador del tamaño correcto Verifique el ancho de la junta Verifique la calidad del sellador Revise el procedimiento de instalación
Desprendimientos o astillamientos en la cara de la junta	Aserrado demasiado temprano Aserrado incorrecto; área de la junta no curada apropiadamente	Aplique compuesto de curado tras el primer corte Postergue el corte del reservorio Revise la operación de aserrado Revise el proceso de curado de la cara de la junta

10. IMPLEMENTACIÓN DE LOS REQUISITOS DE QMP/CQC

La implementación de los programas de Plan de gestión de calidad (QMP) y Control de calidad por parte del contratista (CQC) de esta sección se limitan al marco de referencia de los planes QMP/CQC del proyecto presentados en el Capítulo 3. Los temas operativos se presentan en lugar de la realización real de los ensayos.

10.1 PLANES DE ENSAYOS Y PRODUCCIÓN QMP/CQC

El plan QMP/CQC debe ser específico y lo suficientemente detallado para implementarse al comenzar la construcción. Por ejemplo, los requisitos básicos de un plan de control de calidad (QC) para los ensayos de asentamiento del concreto fresco podrían incluir lo siguiente:

Ítem de la especificación:

Pavimentación con concreto de cemento Pórtland (PCC)

Descripción del ítem:

Ensayo de control de proceso

Tipo de ensayo de campo o laboratorio:

Asentamiento del concreto fresco

Norma de ensayo:

ASTM C 143 o norma militar apropiada

Frecuencia de los ensayos:

Los primeros tres camiones cada día

Un ensayo por cada 40 m³ (50 yd³)

Responsabilidad:

Técnico en QC de la pavimentación

Tolerancia especificada:

40 mm \pm 25 mm (1,5" \pm 1,0") (límites de acción) y \pm 38 mm (\pm 1,5") (límites de suspensión)

Acción correctiva

Si un ensayo de asentamiento individual está fuera de los límites de acción es necesario ensayar los próximos tres camiones. Si esos ensayos están dentro de los límites de acción se retoma la frecuencia normal de los ensayos. Si en cualquier momento un ensayo en particular está fuera de los límites de suspensión o dos consecutivos se encuentran fuera de los límites de acción, se debe detener la producción y se ensaya cada camión en tránsito. Si el asentamiento de cualquiera de los camiones restantes está fuera de los límites de acción, se rechazarán sus cargas. Si los ensayos de asentamiento de los camiones restantes son aceptables, se podrá colocar el material. Se recomienda que no se reanude la pavimentación hasta que el contratista haya identificado el problema y haya implementado la acción

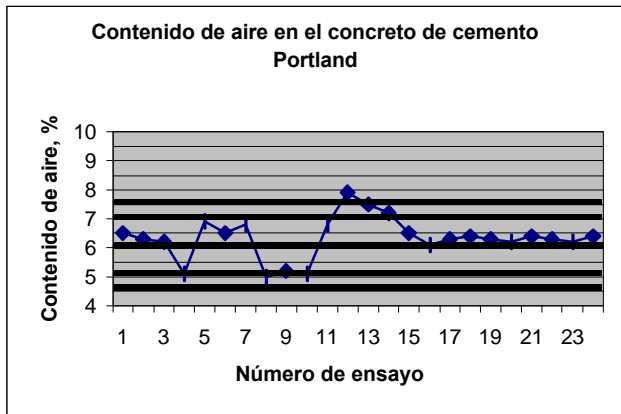
correctiva. Luego de reanudarse la colocación de concreto se deberá ensayar el asentamiento de los tres primeros camiones. Si esos ensayos están dentro de los límites de acción se retoma la frecuencia normal de los ensayos.

Si bien es imposible hacer esto para cada una de las diferentes circunstancias de los planes del Plan de gestión de calidad (QMP)/Control de calidad por parte del contratista (CQC), es importante delinear los procedimientos para los problemas conocidos o posiblemente recurrentes. Los planes QMP/CQC fallan cuando no existe un plan correctivo claro para cada elemento ensayado.

10.2 DIAGRAMAS DE CONTROL

Los diagramas de control, cuyo ejemplo se muestra en la Figura 10.1, proporcionan un resumen del proceso de construcción al equipo de inspección y ensayos, y a la dirección de obra. Son herramientas excelentes para monitorear las tendencias y anticipar problemas. Los beneficios derivados de usar diagramas de control incluyen la detección temprana de problemas, el monitoreo de la variabilidad y el establecimiento de capacidades de proceso.

De forma similar a otra documentación de un proyecto constructivo, los diagramas de control sólo son útiles si se los actualiza y se implementan los ajustes a tiempo. El plan de QMP/CQC debe contener un procedimiento detallado que identifique qué ítems requieren diagramas de control, la información a presentar en cada uno de ellos, el tiempo requerido para su publicación y la distribución de la información.



DIAGRAMAS DE CONTROL

Al igual que ocurre con toda otra documentación de un proyecto constructivo, los diagramas de control sólo son útiles si se los actualiza y revisa periódicamente.

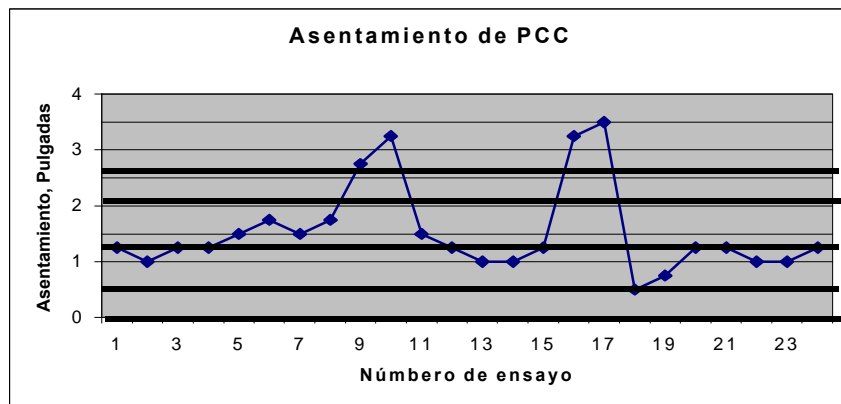


Figura 10.1 – Ejemplo de diagrama de control

10.3 PROCESO DE ENSAYO

Un laboratorio en obra debe seguir las mismas normas que una instalación permanente para cada ensayo que se efectúe en él (por ej.: los requisitos establecidos en ASTM C 1077). Los puntos a tener en cuenta para el laboratorio en obra incluyen:

1. Capacidad suficiente para curar apropiadamente vigas y cilindros. Si se usan tanques para curado, identifique el método a usar para controlar la temperatura y el nivel del agua, y el contenido de cal del agua.
2. Un área suficiente para separar y distribuir los agregados para su ensayo.
3. Hacer calibrar el equipamiento de ensayo y monitoreo, incluidas las escalas de las máquinas para ensayos, los tamices y los termómetros de laboratorio por una fuente certificada/calificada. Cuando resulte práctico, la calibración para el aseguramiento de la calidad (QA) y el control de calidad (QC) deberá estar a cargo de organismos separados.
4. La calibración de todo el equipamiento para ensayos de campo, incluyendo los medidores de aire, los conos de asentamiento y los termómetros de campo.

COMPRESIÓN DE EXACTITUD, PRECISIÓN Y DESVÍO EN LOS MÉTODOS DE ENSAYO:

Las siguientes definiciones derivan de la norma ASTM E 177:

Exactitud: Exactitud se refiere a cuán cerca se encuentra el resultado de un ensayo del valor de referencia, e incorpora tanto la imprecisión de la medición como el desvío en el método de ensayo.

Precisión: Precisión se refiere a la cercanía de acuerdo entre los resultados de ensayos obtenidos en condiciones similares. Cuanto mayor es la dispersión en los resultados de los ensayos, menor es la precisión.

Desvío: Desvío es la diferencia entre un conjunto de resultados de ensayos y un valor de referencia aceptado de la propiedad que se está midiendo. Cuando no se dispone de un valor de referencia aceptado, no se puede determinar el desvío.

Componentes de variabilidad: La variabilidad en un atributo de construcción medido puede deberse a:

1. Variabilidad natural (material)
2. Variabilidad introducida por el proceso constructivo
3. La variabilidad en los ensayos se presenta mediante la precisión (o falta de ella) y el desvío del método de ensayo.

Cuando se especifican métodos de ensayo y la variabilidad de uno de ellos afecta al factor de pago, es importante que el ingeniero y el contratista conozcan las limitaciones inherentes a los métodos de ensayo según lo expresado en sus declaraciones de precisión y desvío.

10.3.1 Ensayo de la subrasante, subbase y base

Los ítems principales de ensayo para subrasantes, subbases y bases incluyen las características de los materiales, tales como la granulometría y la densidad apropiada y los valores de humedad, espesor y control de la rasante. Muchos profesionales de la pavimentación experimentados afirman que un pavimento liso y uniforme comienza por la subrasante. También se ha demostrado que la uniformidad de estas capas puede afectar el desempeño general del pavimento.

Los ítems a tratar en los planes de QMP/CQC incluyen:

1. Los requisitos de densidad para cada capa de material.
2. El requisito de densidad para cada tipo diferente de subrasante.
3. Espesores de colocación máximo y mínimo.
4. Cómo se determinará la densidad a lograr para cada tipo de material.

5. Los requisitos de granulometría para cada material.
6. La frecuencia y ubicación de todos los ensayos.
7. Los requisitos de diseño de mezcla para las capas estabilizadas.
8. El proceso para documentar, informar y distribuir todos los resultados de los ensayos, incluyendo el cronograma.
9. Una lista de acciones para manejar los resultados de ensayos fallidos.

MATERIAL DE MALA CALIDAD EN LA RASANTE:

Cuando se coloca material de mala calidad en la rasante, una acción correctiva típica es incorporarle cargas de material bueno. Para maximizar la calidad, se debería retirar el material fallado y reducir su variabilidad.

10.3.2 Ensayo del concreto fresco

El ensayo del concreto fresco incluye normalmente la evaluación de los siguientes elementos:

1. Contenido de aire
2. Asentamiento
3. Temperatura
4. Peso unitario.

Algunos organismos piden un ensayo de contenido de agua en el concreto. Se puede usar el peso unitario para calcular el rendimiento de la mezcla de concreto. Si bien todos esos ensayos son ampliamente usados y entendidos, el detalle de los requisitos para el ensayo puede no ser ampliamente entendido. Es importante que el contratista y los inspectores revisen las normas y se pongan de acuerdo sobre los procedimientos de ensayo. Es necesario describir exhaustivamente estos detalles y la logística en los planes de QMP/CQC. Los ítems a tratar en los planes de QMP/CQC incluyen:

1. La frecuencia de los ensayos.
2. La ubicación de los ensayos (Nota: Los ensayos se pueden realizar en la planta o in situ para determinar cómo afecta el transporte a las propiedades básicas de los materiales del concreto.)
3. El proceso para actualizar y distribuir los diagramas de control.
4. Acciones claramente definidas para los resultados de ensayos que no cumplen con las especificaciones o las normas.

Es muy importante obtener una muestra representativa de concreto fresco para asegurar que los resultados de los ensayos sean confiables. Es necesario tomar la muestra del 1/3 central del pastón. Los planes de QMP/CQC deben incluir la ubicación de las muestras dentro de cada pastón para cada vehículo de transporte del concreto.

Los diagramas de control son muy útiles para evaluar los resultados del concreto fresco. Es necesario crear límites de acción y de suspensión para cada ensayo y los planes de QMP/CQC deben ocuparse de las medidas específicas a tomar cuando los resultados estén fuera de los límites de acción y suspensión.

ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO:

Muestreo: Asegúrese de que la muestra sea lo más representativa posible. Recolecte de diversas áreas de descarga. Vuelva a mezclar la muestra antes de realizar ningún ensayo y manténgala cubierta con una lámina plástica para evitar la evaporación.

Ensayo de asentamiento (ASTM C 143): Determina la consistencia (pero no necesariamente la trabajabilidad) del concreto. El cono debe estar limpio y prehumedecido para cada ensayo. Repita el ensayo con otra muestra antes de considerar que el concreto está fuera de especificación.

Contenido de aire (ASTM C 231: Método de presión y ASTM C 173 – Método volumétrico): Los medidores deben estar calibrados correctamente. La exactitud del presiómetro depende de la altitud sobre el nivel del mar en que fue calibrado. Repita el ensayo antes de considerar que el concreto está fuera de especificación.

Densidad del concreto fresco (ASTM C 138): Indica el posible cambio en el contenido de aire y determina el rendimiento. El contenedor debe estar calibrado correctamente.

Temperatura del concreto fresco (ASTM C 1064): Realice el ensayo cada vez que se tomen especímenes de resistencia y cada vez que se sospeche que las temperaturas del concreto se acercan a los límites especificados. En tiempo caluroso el límite de la temperatura máxima del concreto es de 32 °C (90 °F) y en tiempo frío la temperatura mínima se especifica a menudo en 4 °C (40 °F).

Contenido de agua del concreto (AASHTO T 23) – Se realiza con un horno de secado por microondas. La publicación proporciona información sobre el agua en materiales cementicios.

10.3.3 Ensayos de espesor

El espesor del pavimento se puede ensayar de diversas formas: usando como guía la cuerda de guía, realizando un ensayo destructivo ya sea a través de la excavación el material no estabilizado o la extracción de testigos del material estabilizado y las capas de concreto, o la medición de las cotas antes y después de la colocación. La extracción de testigos es el método preferido. Si éste último se usa para la verificación del espesor, es necesario rotular y almacenar los testigos (normalmente de 10 cm [4"] de diámetro), preferiblemente en el lugar, hasta el final de la obra.

Los ítems a tratar en los planes de QMP/CQC incluyen:

1. La frecuencia de los ensayos y su ubicación.

2. La definición de procedimientos claros para ubicar, medir e informar los resultados de los ensayos.
3. Para proyectos con bases drenantes estabilizadas con granulometría abierta, debe consensuarse el procedimiento para determinar el fondo del testigo.
4. Evitar los bordes engrosados y las áreas de transición como sitios de ensayo.

PORCENTAJE DE ESPESOR DEL CONCRETO DENTRO DEL LÍMITE (PWL):

- El espesor de la losa de concreto es un elemento de pago PWL. Por lo tanto se debe minimizar la variabilidad.
- En situaciones en que puede existir una nueva base tratada con asfalto (ATB) y una base de concreto asfáltico fresada dentro de una faja de pavimentación, considere separar los sectores por tipo de superficie.
 - La superficie fresada se puede haber estriado un poco más profundamente o no ser uniforme y puede afectar la variabilidad si está incluida en un sector que tiene ATB recién colocada.
 - Separe las dos áreas como estadísticamente diferentes
- Considere las áreas conocidas de base baja como sectores separados y no tome muestras en estas áreas.

Efecto de la variabilidad del espesor:

- A menos que la meta de espesor de la losa se significativamente superior a la del espesor del diseño, una variabilidad aumentada en las longitudes de los testigos del sector puede reducir el porcentaje de espesor dentro de los límites especificados (PWL).
- Por ejemplo, suponga que los promedios de espesor del sector son de 46, 46,2, 46,4 y 47 cm (18,1, 18,2, 18,3 y 18,5”), el espesor PWL para este sector con un límite inferior de espesor de 45,7 cm (18,0”) es 100, con lo cual no se harán deducciones del pago por espesor.
 - Si el sector es variable y el último promedio es de 48,2 cm (19,0”) en lugar de 47,0 cm (18,5”), el PWL es de 83, lo que resulta en una penalidad por espesor del 9,6%.
 - Aunque el espesor promedio del sector aumenta de 46,5 a 46,7 cm (18,3” a 18,4”), se ha incurrido en penalidad ya que la desviación estándar del sector es mayor.

10.3.4 Ensayos de los agregados (granulometría y contenido de humedad)

Los ensayos de granulometría de los agregados varían basados sobre las especificaciones para bases, bases estabilizadas, relleno de zanjas y concreto. Dado que en cada proyecto se emplea una gran cantidad de agregados, ensayar las granulometrías puede ser abrumador. Los ítems a tratar en los planes de QMP/CQC incluyen:

1. La frecuencia de los ensayos.
2. Los requisitos para las verificaciones de bases estabilizadas y mezclas de concreto.
3. La ubicación de los ensayos (acopios o cada uno de los camiones)
4. Los ensayos de contenido de humedad en los agregados: frecuencia (ASTM C 70, ASTM C 566).
5. La granulometría en el concreto fresco, granulometrías lavadas.
6. Definir claramente las acciones cuando los agregados no cumplen con los ensayos de granulometría.
7. ¿Cómo se determinan los límites para el material inaceptable?
8. La implementación de un proceso claro de informe para asegurar la distribución en tiempo de los resultados de los ensayos.
9. La verificación del peso específico a granel para cada agregado en los momentos designados a lo largo de todo el proyecto. Esto no resulta práctico para proyectos menores a 42.000 m² (50.000 yd²).

10.3.5 Ensayos de resistencia

10.3.5.1 Ensayos de resistencia a la flexión

Debido a la importancia de la resistencia en el diseño y la aprobación de los pavimentos, los ensayos de resistencia a la flexión requieren de atención detallada. Los resultados de los ensayos se ven afectados por cambios menores en los procedimientos, lo que puede llevar a una variabilidad aumentada y, en algunos casos, a resultados sospechosos. La máquina para ensayos debe calibrarse y sus operadores deben entender los requisitos de ensayo. Los supervisores de campo deben monitorear el manipuleo de especímenes de prueba en la obra, durante su transporte y en el laboratorio. Los ítems a tratar en los planes de QMP/CQC incluyen:

1. El lugar del muestreo del material, tal como la planta o el camión de transporte, o sobre la rasante frente a la pavimentadora.
2. El lugar de la fabricación de muestras.
 - Cerca del punto de muestreo del material
 - Laboratorio en obra.
3. Asegurarse de que se cumplan los requisitos referidos al tiempo permitido entre la recolección de la muestra y la fabricación de la viga.
4. Dimensiones de las muestras de vigas. Normalmente se usan especímenes de 15 x 15 x 53 cm (6 x 6 x 21”).
5. Tipo de moldes permitidos: de plástico o de acero.
6. Procedimiento de fabricación.
7. Curado en el campo, transporte y procedimientos de laboratorio.
8. Frecuencia de los ensayos.
9. Cantidad de vigas por lugar de muestreo.
10. Determinación de los lugares de muestreo.
11. Requisitos de curado para vigas adicionales fabricadas por otras razones, tales como la apertura al tráfico (curadas en obra o en el laboratorio).

12. El uso de un formulario de envío que rastrea la fabricación, el curado en la obra, el transporte al laboratorio, el curado en laboratorio y el ensayo.
13. Procedimiento para la eliminación de vigas posiblemente dañadas y de los resultados de los ensayos fallidos conocidos.

La variabilidad es una característica inherente a todos los procedimientos constructivos. El ensayo de la resistencia a la flexión es particularmente sensible a la variabilidad. En la Figura 10.2 se muestra una distribución bien manejada para el ensayo de vigas en un laboratorio en obra para un gran proyecto constructivo.

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN:

Este es un elemento de inspección clave para grandes proyectos de construcción de aeropuertos. Por lo tanto, revise todos los pasos: muestreo, fabricación, transporte, curado, manipuleo y ensayo.

Controle el aparato para ensayo de vigas por

- Carga y velocidad de carga
- Uniformidad de la carga (distribución de la carga) entre los dos soportes y sobre el ancho de la viga.

Las vigas son vulnerables al daño durante el manipuleo y el transporte. Las vigas dañadas darán bajos resultados de resistencia.

Tenga cuidado durante los días calurosos de verano: la fatiga de los técnicos puede afectar el manipuleo y la fabricación.

Controle la precisión de los moldes de las vigas: el uso de moldes desparejos puede afectar la resistencia medida.



Figura 10.2 – Laboratorio en obra para fabricación y curado de vigas

10.3.5.2 Ensayos de la resistencia a la compresión

A veces se solicita ensayar la resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión se usa generalmente para proyectos militares y para aeropuertos civiles para aeronaves de diseño con un peso total máximo inferior a los 13.600 kg (60.000 lb.). Aun si no se piden ensayos de resistencia a la compresión, puede ser preferible hacer juegos de cilindros a la par con las vigas. Las probetas cilíndricas pueden ayudar a resolver disputas futuras respecto de la resistencia en el lugar del pavimento de concreto si se cuestionan los ensayos de resistencia a la flexión. Los ítems a tratar en los planes de QMP/CQC incluyen la mayoría de los correspondientes a los ensayos de resistencia a la flexión tratados previamente. Las probetas cilíndricas son menos vulnerables a los daños por manipuleo y transporte que las vigas.

10.3.5.3 Ensayos de resistencia en testigos

Cuando los ensayos de resistencia sobre vigas o cilindros no se han realizado adecuadamente, o si sus resultados se consideran sospechosos, se puede considerar ensayar la resistencia en testigos para determinar la calidad de la resistencia del concreto colocado. Si se usa el ensayo de testigos, se deben considerar los siguientes puntos:

1. Los testigos pueden ensayarse para verificar la resistencia a la compresión o a la tracción por separación..
2. Los resultados de los ensayos de resistencia se deben usar de acuerdo con los procedimientos establecidos tal como fueron definidos en las especificaciones.
 - a. Estos procedimientos involucran generalmente el uso de correlaciones específicas para el proyecto entre la resistencia del testigo y la de la viga o la probeta cilíndrica..
 - b. El FAA Engineering Brief No. 34A (Informe de ingeniería de la FAA N° 34A) de mayo del 2002 proporciona pautas para evaluar los ensayos usando testigos y las correlaciones preestablecidas.
3. Es necesario comenzar con los ensayos de testigos a una edad de ensayo lo suficientemente cercana a la edad especificada para los ensayos por flexión o compresión.
4. Es muy importante acondicionar los testigos antes de ensayarlos.
 - a. El secado mediante aire generalmente da como resultado mayores resistencias por compresión y a la tracción por separación.
 - b. Sin embargo, es necesario acondicionar los testigos de acuerdo a lo definido en las especificaciones del proyecto.

INFORME DE INGENIERÍA DE LA FAA No. 34A – ENSAYO DE ARBITRAJE DE PAVIMENTO DE CONCRETO DE CEMENTO PÓRTLAND ENDURECIDO

El informe presenta un método para evaluar la resistencia del concreto in situ cuando los resultados de los ensayos normales de resistencia a la flexión son dudosos, debido a que se sospecha que hubo problemas con los ensayos y cuando los criterios de aprobación de la resistencia del concreto se basan en el PWL.

Método de ensayo: Extracción, acondicionamiento y ensayo de testigos de acuerdo con ASTM C 42 y uso del ensayo de resistencia a la tracción por separación.

Programa de ensayo: Reproduzca el programa de muestreo estadístico utilizado para el ensayo original de resistencia a la flexión del sector o subsector en cuestión. La cantidad de testigos para un subsector debe coincidir con la cantidad de vigas que se necesitan ensayar para ese subsector. El diámetro nominal de los testigos debe ser de 150 mm (6”) para losas de pavimento de 30,0 cm (12”) de espesor o más.

Determinación de la resistencia a la flexión: El informe proporciona un conjunto de ecuaciones para convertir la resistencia a la tracción por separación en el momento del ensayo en resistencia a la flexión a los 28 días, para tres grupos de edad del concreto. Estas ecuaciones se consideran muy conservadoras y es posible que los resultados convertidos no representen la verdadera resistencia a la flexión del concreto colocado en el sitio. Por lo tanto, se recomienda que, en el caso de proyectos grandes, el contratista desarrolle una relación específica para el proyecto en el momento de la fase de diseño de la mezcla de concreto. También se deben obtener y ensayar testigos poco después que se haya determinado que los resultados del ensayo de resistencia a la flexión son dudosos, preferentemente dentro de los 3 a 5 días posteriores a los ensayos especificados para los 14 o 28 días.

10.3.6 Ensayos de asentamiento de bordes, deformación de las caras de las juntas y ensayo del perfil y sus tolerancias

El asentamiento excesivo y las deformaciones de las caras de las juntas en pavimentaciones con moldes deslizantes indican una proporción incorrecta en la mezcla del concreto, colocación incorrecta del concreto u operación inapropiada del equipo.

10.3.6.1 Ensayos del asentamiento de bordes

Las especificaciones típicas requieren que el asentamiento de borde no exceda los 6 mm (1/4”) sobre el 15% de la longitud de la junta y que el asentamiento no supere los 10 mm (3/8”). La verificación del asentamiento de borde requiere de una regla y un nivel ajustado para la pendiente transversal, tal como se muestra en la Figura 10.3 (a). El asentamiento se puede medir tanto sobre el concreto fresco como sobre el endurecido. La regla necesita tener la suficiente longitud, generalmente 3,1 m (10 pies) como para soportarse a sí misma sobre la parte central de la losa y alejada del área del asentamiento de borde unos 30 a 60 cm (12 a 24”). Los inspectores

deben tener presente que pequeñas protuberancias o desviaciones, exageradas en la Figura 10.3 (b) pueden arrojar resultados incorrectos.

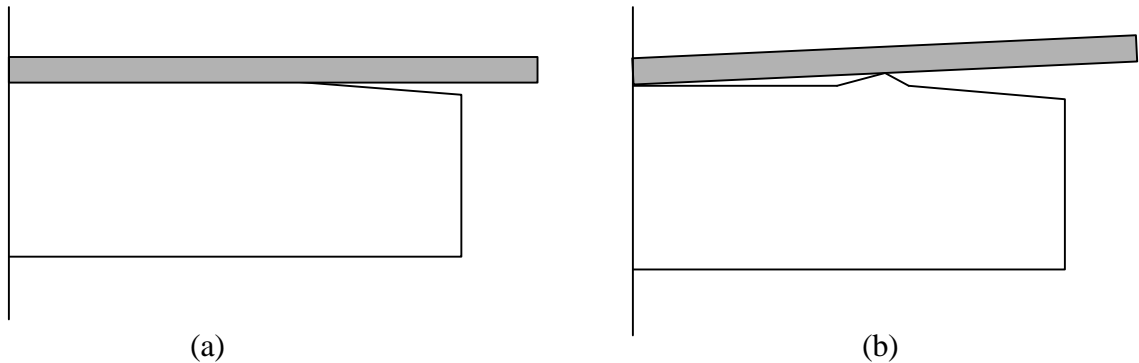


Figura 10.3 – Medición del asentamiento de borde.

Los ítems a tratar en los planes de QMP/CQC incluyen:

1. ¿Cuándo se debe empezar con la medición del asentamiento de bordes?
2. Frecuencia del ensayo de asentamiento de borde.
3. Procedimiento detallado, acordado por Aseguramiento de la calidad (QA) y control de calidad (QC), para medir el asentamiento de bordes.
4. Acordar acerca de la acción correctiva para el asentamiento de bordes que se produce en el concreto fresco y el endurecido.
5. ¿Se le permite al contratista corregir el asentamiento excesivo en el concreto fresco?
6. ¿Se permite el uso de moldes temporales en áreas donde el asentamiento es excesivo?
7. El aserrado de los bordes en el concreto endurecido, ¿es una solución aceptable para el asentamiento de bordes en el concreto endurecido? El alejamiento desde el borde depende de la medida del asentamiento de borde.

10.3.6.2 Deformación de la cara de la junta

Este requisito se aplica usualmente sólo a las construcciones militares. Los ítems a tratar en los planes de QMP/CQC incluyen:

1. Las tolerancias para las caras de las juntas, ¿son las mismas para las juntas transversales que para las longitudinales?
2. ¿Cómo se manejan las cabeceras? ¿Forman parte de los ensayos o están excluidas?
3. ¿Se pueden corregir las desviaciones verticales con sierras para concreto? Si es así, ¿deben hacerse los cortes en todo el espesor?

10.3.6.3 Ensayos de perfiles

Las especificaciones de lisura para aeródromos se basan principalmente sobre los ensayos con reglas. Las especificaciones típicas se basan sobre los ensayos con reglas de 5 m (16 pies), como sigue:

1. Aceptable: 6 mm (1/4 “)
2. Pulir: 6 a 13 mm (1/4 a 1/2”)
3. Quitar y reemplazar las losas afectadas: mayor a 13 mm (1/2”)

Las especificaciones actuales del Cuerpo de Ingenieros de los EE.UU. y algunas especificaciones regionales de la FAA permiten el empleo del perfilógrafo de California mostrado en la Figura 10.4.



Figura 10.4 – Ensayo en curso con perfilógrafo

Los ítems a tratar en los planes de QMP/CQC incluyen:

1. Tipo de equipamiento permitido.
2. Método de evaluación a emplear.
3. Los criterios para diferentes infraestructuras como pistas de aterrizaje, pistas de rodaje, carriles de rodaje y plataformas, ¿son diferentes?
4. ¿Se excluyen ciertas áreas como las pistas de rodaje de conexión?
5. ¿Se incluyen las cabeceras en la evaluación de lisura?
6. ¿Cuándo se deben llevar a cabo los ensayos de perfiles después de la pavimentación?
7. Si se usa una regla para los ensayos ¿éstos serán continuos, aleatorios o subjetivos?
8. Si se usa una regla rodante, ¿dónde se harán los ensayos? ¿En el centro de la losa, cerca de la junta longitudinal de la faja o en los tercios de la losa?
9. Si se requieren múltiples pasadas, son éstas por faja o por ancho de pavimentación (que puede comprender dos o más fajas)?

10.3.7 Alineación e inspección de los pasadores

Las especificaciones para la mala alineación de los pasadores limitan la desalineación por oblicuidad (generalmente 6 mm (1/4") por 30 cm (12") de longitud de la barra) y los desplazamientos horizontal a ± 25 mm (1"), vertical a ± 25 mm (1") y longitudinal a ± 25 mm (1"). Para pavimentos de gran espesor, se puede tolerar una desviación horizontal y vertical de hasta ± 50 mm (2").

Los ítems relacionados con la colocación de pasadores a tratar en los planes de QMP/CQC incluyen:

1. Las transmisiones del material de los pasadores y los recubrimientos antiadherentes.
2. Los procedimientos detallados para transportar, almacenar, inspeccionar, instalar y anclar los pasadores.
3. Los procedimientos detallados para los insertadores de pasadores que incluyen las verificaciones aleatorias para asegurar que el equipo funciona apropiadamente.
4. La revisión del conjunto de los pasadores en busca de precisión para eliminar las barras oblicuas.
5. La desalineación permitida de los pasadores y cómo se medirá.
6. La desviación de la línea de aserrado de la junta: ¿Cuánto es aceptable en relación con el empotramiento de los pasadores?
7. La cantidad de pasadores que pueden estar mal alineados por junta y por panel.

Debe notarse que la alineación de los pasadores puede medirse únicamente en los armazones con pasadores instalados antes de la colocación del concreto y en los pasadores perforados y fijados con grout a lo largo de las juntas longitudinales de construcción. El inspector necesita asegurarse que los armazones con pasadores precolocados hayan sido correctamente posicionados y fijados, y que la operación de la pavimentadora no indica ningún peligro de movimiento o arrastre de los conjuntos de armazones. Con respecto a los pasadores perforados y cementados con grout, se puede revisar su alineación una vez colocado el grout epoxídico. Es necesario cortar cualquier pasador que se halla desalineado por sobre los niveles permitidos, reemplazándolo por uno nuevo. Si existe alguna preocupación respecto de la alineación de los pasadores insertados mediante máquinas o precolocados, se puede emplear un radar penetrante de la superficie (GPR) para verificar su alineación cuando el concreto tenga alrededor de un día de edad. El ensayo con GPR puede determinar la alineación vertical de los pasadores con una precisión de ± 3 a 6 mm (1/8 a 1/4").

11. REPARACIÓN DE DETERIOROS TEMPRANOS

Los pavimentos de concreto pueden exhibir ocasionalmente deterioros tempranos (a corta edad). Esto puede ocurrir mientras el concreto aun está en su estado plástico o inmediatamente después de su endurecimiento. Los deterioros tempranos que se encuentran más comúnmente son:

1. Agrietamiento por retracción plástica
2. Asentamiento de los bordes
3. Astillamiento de las juntas
4. Fisuración en todo su espesor.

Cuando se observan deterioros tempranos, se debe identificar la causa de la falla y aplicar las medidas correctivas apropiadas para reducir la posibilidad de que la falla vuelva a repetirse. Es una buena práctica abordar el tema de la eliminación de las losas que exhiben deterioros tempranos en las reuniones previas a la construcción.

11.1 AGRIETAMIENTO POR RETRACCIÓN PLÁSTICA

El agrietamiento por retracción plástica, tal como se muestra en la Figura 11.1, es la formación de grietas superficiales que pueden producirse si la velocidad de evaporación es alta. Generalmente se manifiestan como grietas de poca profundidad (25 a 75 mm [1 a 3"]), con poca distancia entre ellas y paralelas entre sí. En algunos casos, el agrietamiento puede extenderse por debajo de los 75 mm (3"), pero es inusual que abarque todo el espesor. Se recomienda extraer testigos de 100 mm (4") de diámetro sobre algunas grietas, a los efectos de determinar su profundidad.



Figura 11.1 – Agrietamiento por retracción plástica

El agrietamiento por retracción plástica se puede reparar inyectando epoxi de baja viscosidad o metacrilato de alto peso molecular en cada grieta una vez endurecido el concreto. Los procedimientos para la inyección de epoxi deben realizarse en conformidad con las instrucciones del fabricante del producto. No se recomienda la técnica de introducción del epoxi por gravedad, ya que la penetración no será completamente efectiva. La fisuración con profundidad mayor a 75

mm (3") o el agrietamiento extensivo requieren el retiro y reemplazo de las losas involucradas (sección 11.4).

11.2 ASENTAMIENTO DE BORDES

Cuando una pavimentadora de moldes deslizantes avanza, existe una tendencia a que el borde no soportado se asiente, extendiendo la depresión hacia el interior de la losa. Si el asentamiento se produce en exceso, es necesario efectuar ajustes en la mezcla de concreto, el equipo de pavimentación o la operación de pavimentación. El asentamiento de los bordes es un defecto grave ya que crea un área de acumulación de agua y puede afectar el desempeño de la junta.

Si se detecta antes del fraguado inicial del concreto, se puede intentar una reparación plástica. Esta reparación debe llevarse a cabo correctamente para asegurar la durabilidad del área reparada. Los puntos importantes a tener en cuenta son:

1. Es necesario colocar moldes a lo largo del área a reparar.
2. Si para reparar el área se necesita agregar material, éste último debe contener una mezcla de partículas de agregados. No se permite la adición de mortero simple.
3. El material del área en reparación debe vibrarse hacia el material existente.
4. No se debe intentar efectuar la reparación una vez aplicado el compuesto de curado, ya que el concreto del área afectada puede contaminarse con este último.
5. La vibración no es eficaz si ya se ha producido el fraguado inicial; ya es muy tarde para hacer una reparación plástica del borde asentado.
6. El empleo de mortero simple o la adición de material al concreto endurecido puede producir desprendimientos, tal como se muestra en la Figura 11.2.
7. Una vez vibrado el concreto de reparación, deberá conformarse y terminarse lo más uniformemente posible con el concreto circundante.
8. El área reparada debe texturizarse y curarse usando los mismos procesos que para el concreto circundante.
9. Las reparaciones plásticas deben ser la excepción, no la norma.



Figura 11.2 – Desprendimientos superficiales debidos a una reparación de asentamiento de borde inapropiada

Se enfatiza que las reparaciones de asentamiento de bordes son problemas aislados y no deben volverse rutinarias. Si se produce un asentamiento excesivo, entonces se debe detener la pavimentación hasta que se haya corregido el problema.

Asimismo, si no se puede efectuar la reparación del asentamiento a tiempo, será necesario esperar a que endurezcan los paneles de losas afectados y luego reparar mediante:

1. El aserrado del borde asentado y una reparación posterior de profundidad parcial en la depresión superficial.
2. El retiro y reemplazo de la losa que tiene un asentamiento de borde excesivo.

11.3 ASTILLAMIENTOS EN LAS JUNTAS

Como resultado de la operación de aserrado de juntas, se pueden producir astillamientos y desprendimientos excesivos. Los astillamientos menores o localizados en juntas se reparan generalmente usando una técnica de reparación a profundidad parcial que emplea la mezcla de concreto usada para la pavimentación. Si el astillamiento es grave y excesivo en longitud, se debe considerar el reemplazo de la losa afectada.

11.4 AGRIETAMIENTO EN TODO EL ESPESOR

El agrietamiento de espesor completo localizado puede ser el resultado de una o más de las siguientes causas:

1. Aserrado tardío de las juntas transversales o profundidad insuficiente del corte.
2. Pasadores desalineados.
3. Combado y/o alabeado excesivos.
4. Enfriamiento rápido de la superficie.
5. Carga a edad temprana por parte del equipo de construcción.
6. Contracción por pérdida de humedad excesiva.
7. Excesiva restricción de rozamiento por parte de la base.

El agrietamiento en todo el espesor que aparece dentro de los 30 días, generalmente se debe a prácticas constructivas deficientes, un mal diseño o ambos. Los puntos importantes a tener en cuenta para la reparación de fisuras en todo el espesor incluyen:

1. Deben reemplazarse los paneles en áreas críticas del pavimento con fisuras en todo el espesor que sobrepasan el ancho o largo completo de los paneles de losas. Las áreas críticas del pavimento son aquellas sometidas a las cargas de los trenes de aterrizaje de las aeronaves.
2. El agrietamiento en todo el espesor en áreas no críticas (por ej.: los carriles más externos de una pista de aterrizaje o pista de rodaje) pueden dejarse en su lugar, a elección del comitente. La fisura se debe encaminar y sellar.

3. Las fisuras de espesor completo en áreas críticas del pavimento, que se extienden menos de un tercio del ancho o largo de la losa, deben tratarse como una fisura de ancho completo.
4. Las fisuras de espesor completo en esquinas de losas en áreas críticas deben repararse reemplazando todo el panel.
5. No se recomienda reemplazar parcialmente un panel en áreas críticas del pavimento o en pavimento nuevo.
6. Para el retiro y reemplazo de una losa se deben seguir los procedimientos apropiados. Dichos procedimientos deben incluir lo siguiente:
 - a. El retiro de la losa sin dañar las losas sanas adyacentes o la base.
 - El empleo de aserrado doble a lo largo del perímetro de la losa.
 - No usar cargas de alto impacto para quebrar las losas en trozos.
 - Aserrar el panel en varios segmentos más pequeños y levantarlos.
 - b. Se debe inspeccionar y reparar la base antes de colocar el concreto nuevo.
 - c. Se debe restaurar la transferencia de cargas a lo largo de todas las juntas usando pasadores colocados mediante la técnica de perforar y cementar con grout epoxídico.
 - d. El uso de mezcla de concreto aprobada para las tareas de colocación manual del concreto.
 - e. El empleo de vibración para consolidar el concreto.
 - f. El uso de las técnicas apropiadas para terminar, texturizar y curar la losa de reemplazo.

BIBLIOGRAFÍA

A continuación se enumeran los documentos utilizados en la preparación de este manual. La información contenida en estos documentos fue incorporada a las observaciones de campo del equipo de proyecto y otras experiencias, así como a los comentarios recibidos de varios revisores del manual.

Fuente	Título	Fecha
Federal Aviation Administration (Agencia Federal de Aviación - FAA)	<i>Standards for Specifying Construction of Airports</i> – AC 5370-10 (Normas para especificar la construcción de aeropuertos – AC 5370-10)	Versión actual y modificaciones
Federal Aviation Administration – Northwest Mountain Region (<i>FAA - Región montañosa del noroeste</i>)	<i>Construction Manual for Airport Construction</i> (Manual de construcción para la construcción de aeropuertos) (Autor: Jack Scott, P.E.)	Mayo de 1999
Departamento de Defensa de los EE.UU. (DOD)	<i>PCC Pavements for Airfields and Other Heavy Duty Pavements - Guide Specification UFGS-02753A</i> (Pavimentos de cemento Pórtland para aeródromos y otros pavimentos de servicio pesado – Especificación de la guía UFGS-02753A)	2003
National Highway Institute (<i>Instituto Nacional de Carreteras de EE.UU.</i>)/FHWA	<i>Construction of PCC Pavements – NHI Course No. 13133</i> (Construcción de pavimentos de cemento Pórtland – Curso NHI N° 13133)	Octubre de 1996
Portland Cement Association (<i>Asociación del Cemento Pórtland de EE.UU.</i>) - PCA	<i>Design and Control of Concrete Mixtures</i> (Diseño y control de mezclas de concreto), 14ª edición	2002
Department of the Army (USACE) (<i>Departamento del Ejército de EE.UU.</i>)	<i>Design and Construction Management Practices for Concrete Pavements</i> (ETL 1110-3-488) (Prácticas de diseño y dirección de construcción de pavimentos de concreto)	1º de marzo de 1998
Department of the Army and the Air Force (<i>Departamento del Ejército y la Fuerza Aérea de EE.UU.</i>)	<i>Standard Practice for Concrete Pavements</i> (Práctica estándar para pavimentos de concreto) (TM 5-822-7; AFM 88-6, Capítulo 8))	Agosto de 1987
Departamentos estatales de Transporte (por ej. Ohio, Minnesota, Iowa)	Manuales de pavimento de concreto	Diversas
Departamento de Transporte de Iowa	<i>Aggregate Proportioning Guide for PC Concrete Pavement</i> (Guía de proporciones de agregados para	29 de octubre de 2002

	pavimentos de cemento Pórtland) (Materials IM 532)	
American Concrete Pavement Association (<i>Asociación del Cemento Pórtland de EE.UU.</i>)	Publicaciones relacionadas con la tecnología del pavimento de concreto	Diversas
American Concrete Institute (<i>Instituto Norteamericano del Concreto</i>) - ACI	<i>Applicable Manual of Practice</i> (Manual de práctica aplicable) documentos orientadores relacionados con la mezcla de concreto, ensayos de concreto y construcción de pavimento con cemento Pórtland	Diversas
Portland Cement Association (<i>Asociación del Cemento Pórtland de EE.UU.</i>) - PCA	<i>Concrete Pavement Construction – Inspection at the Paving Site</i> (Construcción de pavimento de concreto – Inspección en obra de la pavimentación)	1980
Portland Cement Association (<i>Asociación del Cemento Pórtland de EE.UU.</i>) - PCA	<i>Concrete Pavement Construction – Inspection at the Batch Plant and Mixer</i> (Construcción de pavimento de concreto – Inspección en la planta y el mezclador)	1980
Gunthert & Zimmermann, Gomaco, CMI, y otros proveedores de equipos para pavimentación	Información técnica de productos, revistas de las empresas y materiales de capacitación	Diversas
Diversas	Planos de proyectos y especificaciones seleccionados de proyectos de construcción de pavimentos de concreto en aeropuertos	Diversas

CONTACTOS/SITIOS WEB DE INFORMACIÓN

Administración Federal de Aviación (FAA):

Federal Aviation Administration
800 Independence Avenue, S.W.,
Washington, DC 20591

Sitio Web: www1.faa.gov/ (página de inicio)
Sitio Web: www1.faa.gov/arp/engineering/ (Diseño de aeropuertos, ingeniería y construcción)

Asociación Norteamericana de Pavimentos de Concreto (ACPA):

American Concrete Pavement Association
5420 Old Orchard Road
Skokie, Illinois 60077

Sitio Web: www.pavement.com

Asociación del cemento Pórtland (PCA):

Portland Cement Association
5420 Old Orchard Road
Skokie, Illinois 60077

Sitio Web: www.cement.org

U.S. Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU. (USCOE):

(Asiento de Ingeniería estructural asistida por computación para pavimentos-transporte (PCASE))

U.S. Army Corps of Engineers
Transportation Systems Center
12565 West Center Road
Omaha, Nebraska 68144-3869

Sitio Web: www.tsmcx.com

Sitio Web del PCASE: www.pcase.com (ingeniería y diseño)

APÉNDICES

APÉNDICE A – NORMAS DE ENSAYOS A LAS QUE SE HACE REFERENCIA EN EL MANUAL

APÉNDICE B – PUNTOS DESTACADOS DE LA REVISIÓN DEL PROYECTO ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN

APÉNDICE C – LISTA DE CONTROL DEL QMP/CQC (INSPECCIÓN Y ENSAYOS)

APÉNDICE D – LISTA DE CONTROL PARA EL ASERRADO DE JUNTAS

APÉNDICE E – ÁRBOL PARA LA TOMA DE DECISIONES SOBRE AGRIETAMIENTO EN EDAD TEMPRANA

APÉNDICE A – NORMAS DE ENSAYOS A LAS QUE SE HACE REFERENCIA EN EL MANUAL

NORMAS DE LA ASTM (Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales)

ASTM C 31/C31M-00e1 – *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field* (Práctica estándar para elaborar y curar especímenes de ensayo de concreto en obra)

ASTM C 33-02a – *Standard Specification for Concrete Aggregates* (Especificación estándar para agregados para concreto)

ASTM C 42 – *Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete* (Método de ensayo estándar para obtener y ensayar testigos extraídos y vigas aserradas de concreto)

ASTM C 70 – *Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate* (Método de ensayo estándar de humedad superficial en agregado fino)

ASTM C 78-02 – *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)* (Método de ensayo estándar de resistencia a la flexión del concreto (usando una viga simple con carga en los tercios del tramo))

ASTM C 88-99a – *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate* (Método de ensayo estándar de sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o de magnesio)

ASTM C 94/94M-00e2 – *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete* (Especificación estándar para el concreto amasado en planta)

ASTM C 136-01 – *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates* (Método de ensayo estándar para análisis de agregados finos y gruesos mediante tamices)

ASTM C 138 – *Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete* (Método de ensayo estándar de la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto)

ASTM C 143/C 143M-00 – *Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete* (Método de ensayo estándar de asentamiento del concreto de cemento hidráulico)

ASTM C 150-02a – *Standard Specification for Portland Cement* (Especificación estándar para el cemento Pórtland)

ASTM C 156-02 – *Standard Test Method for Water Retention by Concrete Curing Materials* (Método de ensayo estándar de la retención de agua por parte de los materiales de curado del concreto)

ASTM C 173/C 173M-01e1 – *Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method* (Método de ensayo estándar por el método volumétrico del contenido de aire del concreto recién elaborado)

ASTM C 192/ C 192M-02 – *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory* (Práctica estándar para conformar y curar especímenes de concreto para su ensayo en el laboratorio)

ASTM C 227-97a – *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)* (Método de ensayo estándar de la reactividad potencial a los álcalis de las combinaciones cemento-agregados (Método de la barra de mortero))

ASTM C 231-97e1 – *Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method* (Método de ensayo estándar por el método de presión del contenido de aire del concreto recién elaborado)

ASTM C 260-01 – *Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete* (Especificación estándar de los aditivos incorporadores de aire para concreto)

ASTM C 295-98 – *Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete* (Guía estándar para el examen petrográfico de los agregados para concreto)

ASTM C 309-98a – *Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete* (Especificación estándar de compuestos líquidos conformadores de membrana para curar concreto)

ASTM C 39/C 39M-01 – *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* (Método de ensayo estándar de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto)

ASTM C 457-98 – *Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete* (Método de ensayo estándar de determinación microscópica de los parámetros del sistema de burbujas de aire atrapado en el concreto endurecido)

ASTM C 494/C 494M-99ae1 – *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete* (Especificación estándar de aditivos químicos para concreto)

ASTM C 496 – *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens* (Método de ensayo estándar para dividir la resistencia a la tracción de los especímenes cilíndricos de concreto)

ASTM C 566 – *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying* (Método de ensayo estándar mediante secado del contenido total de humedad evaporable del agregado)

ASTM C 595-02a – *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements* (Especificación estándar de cementos hidráulicos combinados)

ASTM C 618-01 – *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete* (Especificación estándar de ceniza volátil de carbón y puzolana natural, cruda o calcinada, para ser utilizadas como aditivo mineral en el concreto)

ASTM C 666-97 – *Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing* (Método de ensayo estándar de resistencia del concreto a la congelación y deshielo rápidos)

ASTM C 672/C 672M-98 – *Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals* (Método de ensayo estándar de resistencia al descascarado de las superficies de concreto expuestas a químicos de deshielo)

ASTM C 989-99 – *Standard Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars* (Especificación estándar de escoria de alto horno granulada triturada para ser utilizada en concreto y morteros)

ASTM C 1064 – *Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Portland Cement Concrete* (Método de ensayo estándar de la temperatura del concreto del cemento Portland recién elaborado)

ASTM C 1077-02 – *Standard Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation* (Práctica estándar para ensayo en laboratorio del concreto y de los agregados para uso en construcción y criterios para su evaluación en el laboratorio)

ASTM C 1157-02 – *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements* (Especificación estándar para cementos hidráulicos combinados)

ASTM C 1240-01 – *Standard Specification for Use of Silica Fume for Use as a Mineral Admixture in Admixture in Hydraulic-Cement Concrete, Mortar, and Grout* (Especificación estándar para el uso de humo de sílice como aditivo mineral incorporado al aditivo del concreto de cemento hidráulico, mortero y grout)

ASTM C 1260-97a – *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)* (Método de ensayo estándar de la reactividad potencial a los álcalis en los agregados (Método barra de mortero))

ASTM C 1293-01 – *Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction* (Método de ensayo estándar para la determinación del cambio de longitud en el concreto debido a la reacción álcali-sílice)

ASTM C – 1315 *Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds Having Special Properties for Curing and Sealing Concrete* (Especificación estándar de compuestos líquidos conformadores de membrana con propiedades especiales para curar y sellar concreto)

ASTM D 558-96 – *Standard Test Methods for Moisture-Density Relations of Soil-Cement Mixtures* (Métodos de ensayo estándar de las relaciones humedad-densidad de las mezclas de suelo cemento)

ASTM D 698-00a – *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kNm/m³))* (Método de ensayo estándar de las características de compactación del suelo en laboratorio usando esfuerzo estándar (600 kNm/m³ (12,400 ft-lbf/ft³)))

ASTM D 1556-00 – *Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method* (Método de ensayo estándar de densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el Método del cono de arena)

ASTM D 1557-00 – *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (12,400 ft-lbf/ft³ (2.700 kNm/m³))* (Método de ensayo estándar de las características de compactación del suelo en laboratorio usando esfuerzo modificado (2.700 kNm/m³ (56.000 ft-lbf/ft³)))

ASTM D 2167-94 – *Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Rubber Balloon Method* (Método de ensayo estándar de densidad y peso unitario del suelo in situ por el Método del balón de goma)

ASTM D 3155-98 – *Standard Test Method for Lime Content of Uncured Soil-Lime Mixtures* (Método de ensayo estándar del contenido de cal en las mezclas no curadas de suelo cal)

ASTM E 177 – *Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods* (Práctica para el uso de los términos Precisión y Desvío en los métodos de ensayo de ASTM)

ESPECIFICACIONES MILITARES

CRD 300 – *Specifications for Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete* (Especificaciones de compuestos conformadores de membrana para curar concreto)

RECOMENDACIONES DEL ACI (American Concrete Institute)

ACI 211 – *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete* (Práctica estándar para seleccionar proporciones para concreto normal, pesado y masivo)

ACI 214 – *Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of* (Práctica recomendada para la evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia de)

ACI 305 – *Hot Weather Concreting* (Colocación de concreto con tiempo caluroso)

ACI 306 – *Cold Weather Concreting* (Colocación de concreto con tiempo frío)

ACI 306.1 – *Standard Specification for Cold Weather Concreting* (Especificaciones estándar para la colocación de concreto con tiempo frío)

APÉNDICE B – LISTA DE CONTROL DE REVISIÓN ANTES DE LA CONSTRUCCIÓN

Puntos generales

- Identificar la cadena de mando en el proceso de toma de decisiones
- Identificar los roles y responsabilidades del personal clave para todas las partes participantes
- Revisión de todos los cambios de diseño y constructivos emitidos desde la licitación
- Certificación de las fuentes de materiales
- Propuestas de composición de la mezcla
- Certificaciones del personal y laboratorio de QMP/CQC
- Certificación de la planta y ensayos de eficiencia de los mezcladores (mixers)
- Cronograma de construcción
- Actividades de los subcontratistas
- Calles de acarreo y puntos de acceso
- Realizar un taller conjunto de ½ día sobre construcción

Actividades de elaboración

- Manejo de los acopios
- Humedades de los agregados y agua adicionada a la mezcla

Subrasante

- Revisión de los informes de ensayo de suelos
- Corte y relleno de planos (perfilado)
- Áreas de préstamo y de eliminación de desechos
- Relleno aceptable
- Extracción de material orgánico o de suelo inaceptable
- Procedimientos a realizar cuando las profundidades de corte exceden la estimación del ingeniero
- Revisión de los requisitos de compactación y ensayos para la aprobación (humedad y densidad)
- Requisitos del apisonado (rodillado) de prueba y criterios de aprobación
- Productividad esperada y cronograma tentativo

Estabilización de suelos, si corresponde

- Revisión del plan de control de calidad (QC) de estabilización de suelos
- Revisión de los datos del suelo con respecto a los requisitos de estabilización
- Propuestas de composición de la muestra (por tipo de suelo)
- Requisitos y frecuencia de los ensayos en obra (granulometría del suelo, pasa tamiz 200, plasticidad, densidad, resistencia, contenido de cal/cemento/ceniza volátil, espesor, altimetría de la rasante)
- División tentativa del proyecto en diversas áreas, basadas en los requisitos de estabilización de los suelos
- Identificación en obra del tipo de suelo y requisitos para su estabilización (ensayo visual o de plasticidad)

- Quién es responsable en el campo de la aprobación de los requisitos de estabilización del suelo y su aprobación
- Frecuencia de los ensayos de plasticidad o procedimientos para subdividir aun más el área basada en el tipo de suelo
- Procedimientos y equipos de corte
- Eliminación del material recortado
- Mezcla inicial y requisitos de producción (restricciones en días calendarios)
- Velocidades de la distribución de la cal
- Mínimo de pasadas con el equipo mezclador
- Períodos de maduración y curado
- Control y límites de humedad durante la compactación
- Requisitos de temperatura ambiente antes de cubrir
- Frecuencia y procedimientos de los ensayos para la aprobación de humedad-densidad, clasificación del suelo, pH, contenido de cal, límites líquido y plástico, sulfato soluble, densidad, resistencia y espesor
- Tolerancias para la estabilización de suelos desprotegidos (requisitos de protección para diversos períodos de tiempo y estación de pavimentación)
- Tolerancias para terminarlo alto y luego recortar si el suelo estabilizado no está protegido
- Productividad esperada y cronograma tentativo

Base estabilizada

- Revisión del plan de QC de estabilización de la base
- Propuesta de composición de la mezcla
- Especificaciones y sectores
- Procedimientos de mezclado y verificación de la cantidad
- Procedimientos de ensayo y aprobación del contenido de agua, resistencia, verificación del espesor y nivelación
- Limitaciones climáticas (temperatura) para mezclar y colocar
- Procedimientos que no cumplen con las especificaciones (espesor inferior, resistencia inferior y resistencia superior)
- Procedimientos de colocación y juntas frías
- Procedimientos de nivelación gruesa y de apisonado (rodillado) final
- Procedimientos para la construcción de juntas
- Requisitos para el curado por humedad y la membrana de curado (cobertura, tiempo y material)
- Datos de ensayo y requisitos de durabilidad de los agregados, sanidad, abrasión y granulometría
- Temas relacionados con la nivelación: quién decide las medidas a tomar si la nivelación es un problema

Pavimentación de concreto (colocación, acabado, texturizado y curado)

- Programación y colocación de la faja de relleno
- Acondicionamiento de la base
- Procedimientos en caso de desperfectos en los equipos

- Tiempos máximos de acarreo del concreto
- Procedimientos de colocación
- Verificación del espesor durante la colocación
- Especificaciones y precauciones para el tiempo frío y caluroso
- Temas relacionados con la prueba de los vibradores y consolidación
- Procedimientos de curado y texturizado
- Perforación y cementado de los pasadores con grout epoxídico
- Verificación de la alineación de las barras de unión/pasadores, espaciado y distancias de desplazamiento
- Tolerancias para la regla y el asentamiento de bordes
- Tratamientos de los agrietamientos por retracción plástica, asentamientos de bordes, astillamiento de juntas y fisuras en todo el espesor

Aserrado de juntas

- Revisión del plan de QC de aserrado
- Uso de sierras de acceso temprano
- Sierras de respaldo
- Procedimientos con tiempo lluvioso y aserrado alternado
- Construcción del reservorio y sellado, y procedimientos de aprobación
- Secuencia de aserrado y grado aceptable de disgregación
- Dimensiones y tolerancias del corte inicial y del reservorio
- Propuestas de sellador de juntas y del material para las varillas de respaldo
- Eliminación y limpieza de los residuos del aserrado de juntas
- Procedimientos para el biselado de juntas
- Tiempo de curado del sellador y del concreto
- Requisitos de arenado, limpieza del reservorio y estado de humedad antes del sellado
- Tolerancias de profundidad del sellador
- Requisitos para el material imprimador del reservorio
- Bomba de sellador, camión regador y equipo de aserrado
- Temperaturas ambientes admisibles durante las operaciones de sellado y requisitos para el reservorio de sellos por compresión
- Procedimientos para la inspección de juntas

Actividades de QMP/CQC

- Revisión del plan de QC del contratista
- Datos de ensayo y requisitos de durabilidad de los agregados, sanidad, abrasión y granulometría
- Propuestas de armaduras de refuerzo y pasadores
- Procedimientos de muestreo y ensayo de materiales
- Uso de diagramas de control
- Efectos sobre la resistencia producidos por los diseños de la mezcla de concreto y la relación agua-materiales cementicios
- Procedimientos de muestreo, fabricación, curado y ensayo de vigas de concreto

- Generalidades sobre el cómputo de muestreos, porcentaje de materiales dentro de los límites de las especificaciones (PWL) y factor de pago
- Efectos de la variabilidad de la resistencia/espesor sobre el factor de pago
- Determinación de los sitios donde realizar los ensayos de espesor
- Consideraciones sobre sectores parciales
- Tratamiento de fisuras y astillamientos prematuros
- Ensayos de asentamiento de borde y lisura y sus tiempos
- Acciones a tomar si no se cumplen los requisitos de las especificaciones
- Documentación de los resultados de los ensayos y las desviaciones
- Verificación para la aprobación de ensayos fallidos, nuevos ensayos y ensayos de arbitraje

APÉNDICE C – LISTA DE CONTROL DE INSPECCIÓN Y ENSAYOS

INSPECCIÓN

Materiales

- Boletas de cemento y ceniza volátil conforme a las fuentes aceptadas y aprobadas.
- Tipo de aditivo líquido aprobado y conformidad del fabricante para los diseños de mezclas propuestos
- Requisitos para los ensayos de agua (apta para concreto)
- Tipo y fuente del compuesto de curado aprobado
- Sellador de juntas aprobado y tipo
- Material aprobado para la varilla de respaldo
- Material de relleno de juntas de expansión aprobado y dimensiones
- Certificaciones del acero de refuerzo y los pasadores
- Epoxi aprobado para cementación con grout de los pasadores

Equipo

- Inspección de la planta completada
- Certificación de escalas (celdas y cintas transportadoras de carga), medidores de agua, dosificadores de aditivos líquidos
- Ensayos de uniformidad en planta y en el camión mezclador
- Camiones de acarreo de concreto limpios y sin residuos ni aceite
- Verificación diaria de la frecuencia y amplitud de los vibradores de las pavimentadoras con molde deslizante
- Verificación de la frecuencia y amplitud de los vibradores de inmersión y de placa/regla vibratoria
- Cantidad suficiente de sierras para minimizar la posibilidad de agrietamiento aleatorio
- Ensayos aprobados de cobertura y uniformidad del compuesto de curado
- Hojas de sierra adecuadas para el tipo de agregado grueso

Estado de la base

- Aprobación de la rasante
- No existe daño en el equipo causado por residuos sueltos
- Acondicionamiento de la humedad de la base (granular)
- Aplicación de antiadherente (base estabilizada)
- Sin agua estancada ni escarcha
- Marcación de la rasante transversal en las cuerdas de guía o moldes

Acero empotrado y pasadores

- Longitud, diámetro y recubrimiento epoxi de las barras de unión
- Longitud, diámetro y revestimiento de los pasadores que cumplan con los requisitos del proyecto/plan
- Ubicación, cota, orientación y alineación de los armazones con pasadores
- Armazones con pasadores fijados a la base

Elaboración del concreto

- Uso de paños estabilizados para acopios de agregados (si se requiere)
- Procedimientos para mitigar la contaminación de los agregados
- Carga uniforme de los acopios
- Riego para mantener la humedad de los agregados uniforme
- Utilización de los contenidos reales de humedad de los agregados
- Salida impresa de computador con fecha, hora, tiempo de mezclado, pesos de las mezclas secas, agua y aditivos líquidos
- Procedimientos para documentar el agua agregada después del mezclado
- Tiempos mínimos de mezclado que satisfagan los requisitos de ensayo de uniformidad del mezclador

Condiciones para la colocación del concreto

- Concreto colocado dentro del plazo especificado después de su elaboración
- Requisitos para tiempo frío (temperaturas del aire, que no haya hielo en los agregados, temperaturas iniciales del concreto)
- Condiciones para tiempo caluroso (temperaturas del aire, temperaturas iniciales del concreto)
- Potencial de retracción plástica (temperaturas del aire, temperaturas iniciales del concreto, humedad relativa ambiente y velocidad del viento)
- Disponibilidad de vaporizadores, protección contra el viento y/o retardantes de evaporación (tiempo caluroso)
- Disponibilidad de láminas de polietileno (u otra cubierta aprobada) en caso de lluvia

Colocación del concreto

- Colocación uniforme frente a la pavimentadora
- Inexistencia de grandes bolsones de aire atrapado o vacíos en el borde vertical construidos mediante moldes deslizantes
- Transferencia de la ubicación exacta para las juntas transversales aserradas
- Límites de acción/suspensión en el diagrama de control

Consolidación y terminación del concreto

- Superficie cerrada y consolidación adecuada en los pasadores insertados
- Minimización de flotación/terminación del concreto después de su enrasado y consolidación
- Minimización de la aplicación de agua a la superficie durante la terminación final

Tolerancias en la colocación del concreto

- Verificación periódica del espesor interior y de los bordes formados con moldes deslizantes
- Marcado de la cota final mediante alambres tendidos transversalmente sobre el pavimento
- Controles de los asentamientos de bordes
- Necesidades y procedimientos para apuntalar bordes

- Ensayos con regla

Curado del concreto

- Aplicación del compuesto de curado dentro de los 60 minutos de la terminación final
- Proporciones de cobertura y uniformidad del compuesto de curado
- Bordes verticales longitudinales cubiertos con compuesto de curado
- Requisitos de temperatura mínima para el curado del concreto

Aserrado de juntas

- Profundidad del aserrado (corte inicial y del reservorio)
- Alineación de la junta transversal en relación con los armazones con pasadores
- Cantidades aceptables de astillamiento/desintegración
- Aserrado a través del borde vertical
- Contención del agua/lechada

Apertura al tránsito de construcción

- Requisitos de resistencia y tiempo mínimos

Instalación de los pasadores para juntas (junta de construcción)

- Cota de los pasadores y su espaciado, alineación y distancia mínima de las juntas transversales
- Diámetro de los pasadores
- Dimensiones de los agujeros perforados de acuerdo con las especificaciones/requisitos del plan
- Procedimiento de inyección de epoxi
- Uso de discos de retención del epoxi

Sellado de juntas

- Dimensiones de los reservorios para el sellador
- Limpieza de los reservorios
- Colocación de la varilla de respaldo
- Temperaturas de curado del sellador de acuerdo con las especificaciones del fabricante
- Profundidades del sellador

Estriado

- Profundidad de las estrías y requisitos de espaciado
- Requisitos de distancias mínimas hasta las juntas

Agrietamiento, astillamiento y aprobación

- Criterios sobre agrietamiento y astillamientos inaceptables
- Reparación de grietas y astillamientos

ENSAYOS

Ensayos de agregados

- Requisitos para los ensayos de granulometría y durabilidad
- Muestreos diarios de granulometría desde la cinta transportadoras o muestras representativas de los acopios
- Límites de acción/suspensión del diagrama de control
- Muestreo representativo de humedades de los agregados
- Determinación de humedades de los agregados a intervalos especificados
- Requisitos de frecuencia para agregados planos y elongados

Muestreo, fabricación y curado del concreto

- Requisitos de la ubicación del muestreo sobre la rasante, frecuencia y aleatoriedad.
- Requisitos para el transporte de muestras frescas – prevención de la pérdida de humedad
- Contenido de aire y asentamiento: frecuencia y límites de acción/suspensión del diagrama de control
- Estanqueidad del molde de viga, requisitos de alabeo
- Secuencia de vibración y consolidación
- Inspección del equipo vibrador
- Criterios para el control de la pérdida de humedad del curado inicial y su temperatura
- Transporte de especímenes moldeados para resistencia al laboratorio para su curado final
- Temperaturas y acondicionamiento del curado final

Ensayos de resistencia a la flexión del concreto

- Calibración y configuración de la máquina
- Requisitos de la velocidad de carga
- Preparación de las muestras
- Calces de cuero o pulido para ensayo de vigas
- Control de la humedad durante el ensayo
- Velocidad de carga
- Dimensiones del haz de medición
- Cálculo de la resistencia
- Documentación de las deficiencias de la muestra

Ensayos de longitud de testigos (espesor del pavimento)

- Ubicaciones aleatorias
- Cantidad de mediciones
- Determinación del largo promedio de los testigos

Ensayo de lisura

- Regla y equipo para perfil
- Tiempos recomendados
- Límites de pulido

APÉNDICE D – LISTA DE CONTROL PARA EL ASERRADO DE JUNTAS

Equipo

- Cantidad de sierras
- Sierras de entrada temprana
- Tipo de hoja de sierra – compatible con el tipo de agregado del concreto

Elementos de inspección

- Aserrado en la faja de prueba
- Ubicaciones de aserrado planificadas vs. reales
- Desintegración y astillamiento aceptables
- Profundidad del aserrado (inicial y del reservorio)
- Tiempos para el aserrado longitudinal de la junta
- Aserrado a través del borde vertical
- Losas y radios con forma singular
- Situaciones con barras de unión altas

Tiempo frío, lluvia y tiempos lentos de fraguado del concreto

- Uso de aislamiento o de un geotextil
- Control de los requisitos para el uso de ceniza volátil
- Consideración del aserrado de entrada temprana
- Consideración del aserrado alternado

Temas posteriores al corte

- Limpieza con agua de las juntas
- Reaplicación del compuesto de curado
- Tiempos para la colocación de la varilla de respaldo
- Inspección por agrietamiento en edad temprana

APÉNDICE E – ÁRBOL PARA LA TOMA DE DECISIONES SOBRE AGRIETAMIENTO EN EDAD TEMPRANA

Se deben determinar de inmediato la(s) causa(s) del agrietamiento en edad temprana e implementar las acciones necesarias para minimizar/eliminar dichas causas o sus efectos antes de continuar con la pavimentación. El agrietamiento en edad temprana de los pavimentos de concreto en aeropuertos se clasifica normalmente como cualquier agrietamiento que puede desarrollarse dentro de los primeros 7 días posteriores a la colocación del concreto. Sin embargo, algunas grietas pueden iniciarse en el fondo de la losa y permanecer invisibles hasta después de transcurridos días o semanas. La siguiente es una lista de los tipos de grietas en edad temprana que pueden aparecer:

1. Agrietamiento por retracción plástica
2. Agrietamiento aleatorio (sin orientación)
3. Agrietamiento longitudinal
4. Agrietamiento transversal
5. Agrietamiento en las esquinas de losa
6. Grietas justo delante del aserrado (grietas pop-off)
7. Agrietamiento en edad posterior (agrietamiento en edad temprana en el fondo de la losa que se propaga hacia la superficie)
8. Fisuras por reflejo
9. Grietas de asentamiento sobre los pasadores o las barras de unión
10. Grietas que salen y vuelven a entrar.

Se debe tomar nota de lo siguiente cuando aparecen grietas en edad temprana:

1. Algunas grietas pueden tener una causa evidente y se deben iniciar acciones correctivas de inmediato
2. Otras grietas pueden ser el resultado de condiciones marginales
 - a. Al corregir una condición marginal se puede resolver un problema inmediato, pero puede que no se reduzca el potencial de agrietamiento de la pavimentación posterior
 - b. Es importante identificar la mayor cantidad posible de condiciones marginales y rectificar todas aquellas que estén bajo el control del ingeniero proyectista o del contratista.

El proceso de investigar los deterioros tempranos, cuya causa obvia aun no es aparente, comprende los siguientes pasos:

1. Reúna información relevante (consulte la página siguiente)
2. Identifique si las manifestaciones de deterioro son aisladas o sistemáticas (extendidas) Si el deterioro es sistemático, se debe realizar una revisión minuciosa de las características del diseño y de los procedimientos constructivos.
3. Trabaje mediante la repetición de pasos lógicos para destacar una o más causas. Esto comprende un proceso de eliminación que comienza con factores obvios que pueden ser verificados por el personal de obra y del laboratorio. A medida que avanza el proceso de

eliminación, los pasos adicionales pueden incluir una evaluación más rigurosa de datos, extracción de testigos y ensayos de laboratorio.

RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN RELEVANTE (SOBRE LA SECCIÓN DE PAVIMENTO EN CUESTIÓN)

1. Información de proyecto

- a. Espesor del pavimento según el proyecto:
- b. Espesor del pavimento según lo construido:
- c. Espaciado de las juntas
 - i. Transversales:
 - ii. Longitudinales:
- d. Tipo de base

2. Información sobre la mezcla de concreto

- a. Tipo de cemento y fuente:
- b. Historial de molienda del cemento: Recién elaborado o no
- c. Materiales cementicios suplementarios
 - i. Fuente de la ceniza volátil tipo C:
 - ii. Fuente de la ceniza volátil tipo F:
 - iii. Fuente de la escoria:
- d. Contenido de cemento
- e. Contenido de materiales cementicios suplementarios
 - i. Ceniza volátil tipo C:
 - ii. Ceniza volátil tipo F:
 - iii. Escoria:
- f. Datos sobre los agregados
 - i. Granulometría: uniforme/mala gradación/otra
 - ii. Descripción de la granulometría:
 - iii. Tipo de agregado grueso, fuente y cantidad:
 - iv. Tipo de agregado fino, fuente y cantidad:
 - v. Coeficiente de expansión térmica del agregado grueso:
- g. Fabricante, tipo y dosificación de los aditivos
 - i. Incorporador de aire:
 - ii. Reductor de agua:
 - iii. Otro aditivo:

3. Datos ambientales

- a. Estado del tiempo tres (3) días antes de la pavimentación y 14 días después o en la actualidad, lo que sea antes:
- b. Precauciones tomadas ante el tiempo caluroso/frío:

- c. Lecturas de las temperaturas tres (3) días antes de la pavimentación y 14 días después o en la actualidad, lo que sea antes (adjuntar tabla):
- d. Historial de las precipitaciones durante y hasta tres (3) días después de la pavimentación con concreto o actual, lo que sea antes:

4. Datos constructivos

- a. Historial de pavimentación
 - i. Hora de inicio:
 - ii. Hora de terminación:
 - iii. Tiempo de curado:
- b. Método utilizado para minimizar la adherencia para la base estabilizada:
- c. Estado de la superficie de la base:
- d. Método de curado del concreto:
 - i. Tipo de compuesto de curado y proporción de aplicación (si se utilizó):
 - ii. Cantidad de días de curado por humedad, si corresponde:
- e. Tiempos de aserrado
 - i. Juntas transversales:
 - ii. Junta longitudinales:
- f. Profundidad del aserrado
 - i. Junta transversal – Según especificación: Rango real:
 - ii. Junta longitudinal – Según especificación: Rango real:
- g. Resultados de la verificación de la alineación de los pasadores:
- h. Historial de carga temprana
 - i. Cargas de los equipos de construcción:
 - ii. Carga del equipo de perforación:
 - iii. Otro:

5. Otros datos relevantes

- a. Desarrolle mapas de deterioros. Estime o mida los anchos de las grietas. Apunte la temperatura ambiente en el momento de la inspección del deterioro.
- b. Actualice los mapas periódicamente (a diario o cada algunos días) para determinar si el deterioro es progresivo o si las grietas se están ensanchando.

ÁRBOL PARA LA TOMA DE DECISIONES SOBRE EL AGRIETAMIENTO EN EDAD TEMPRANA

Tipo de grieta	Retracción plástica	Agrietamiento aleatorio (sin orientación)	Agrietamiento longitudinal	Agrietamiento transversal (parcial o en todo el ancho)	Agrietamiento en las esquinas	Grietas justo delante del aserrado (grietas pop-off)	Agrietamiento tardío (entre 7 y 60 días aprox. o antes del aterrizaje de un avión)	Fisuras por reflejo	Grietas por asentamiento sobre los pasadores o las barras de unión	Grietas que salen y vuelven a entrar
Causas posibles	Velocidad elevada de evaporación - Temp. calurosa - Baja humedad - Ventoso	Adherencia de la losa a la base	Aserrado tardío para las condiciones prevalecientes	Aserrado tardío para las condiciones prevalecientes	Carga temprana	Aserrado tardío para las condiciones prevalecientes	Agrietamiento temprano del fondo de la losa que finalmente se vuelve visible	Las juntas de la faja pavimentada no coinciden con las juntas de las fajas adyacentes	Concreto con asentamiento mayor	Uso de paneles de losa con forma singular
	Mezcla de concreto seca	Fricción de la losa de concreto contra la base rugosa o penetración de concreto en la base de granulometría abierta	Aserrado superficial de la junta longitudinal de contracción en relación con el espesor real de la losa	Aserrado superficial de las juntas transversales de contracción en relación con el espesor real de la losa	Curvado y alabeo excesivos debidos a cambios de temperatura o pérdida de humedad	Aserrado contra viento fuerte	Levantamiento por la acción de las heladas	Diferentes patrones de agrietamiento de las juntas en las fajas adyacentes	Pasadores o barras de unión a poca profundidad	Penetraciones rígidas (estructuras in-situ)
	Agregados secos	Agrietamiento por reflejo (desde el agrietamiento de la base)	Losas demasiado anchas en relación con el espesor y el largo	Losas demasiado largas en relación con el espesor y el ancho	Pasadores demasiado cercanos entre sí en las juntas transversales y longitudinales		Asentamiento de la fundación	Las juntas coinciden en su ubicación pero no en el tipo	Retardo en el tiempo de fraguado	

Tipo de grieta	Retracción plástica	Agrietamiento aleatorio (sin orientación)	Agrietamiento longitudinal	Agrietamiento transversal (parcial o en todo el ancho)	Agrietamiento en las esquinas	Grietas justo delante del aserrado (grietas pop-off)	Agrietamiento tardío (entre 7 y 60 días aprox. o antes del aterrizaje de un avión)	Fisuras por reflejo	Grietas por asentamiento sobre los pasadores o las barras de unión	Grietas que salen y vuelven a entrar
	Curado tardío o inadecuado	Curado tardío o inadecuado	Descenso de la temperatura debido a un frente de frío repentino o lluvia	Descenso de la temperatura debido a un frente de frío repentino o lluvia	Curado tardío o inadecuado					
	Retraso en la terminación	Aserrado tardío para las condiciones prevaletientes	Pasadores mal alineados o adheridos en las juntas longitudinal es adyacentes que impiden que las juntas agrietadas funcionen	Pasadores mal alineados o adheridos en las juntas transversales adyacentes que impiden que las juntas agrietadas funcionen	Pasadores mal alineados o adheridos en las juntas transversales adyacentes que impiden que las juntas agrietadas funcionen					
	Descenso de la temperatura debido a un frente de frío repentino o lluvia	Aserrado superficial de las juntas de contracción en relación con el espesor real de la losa	Curvado/alabeado excesivo	Curvado/alabeado excesivo						

Tipo de grieta	Retracción plástica	Agrietamiento aleatorio (sin orientación)	Agrietamiento longitudinal	Agrietamiento transversal (parcial o en todo el ancho)	Agrietamiento en las esquinas	Grietas justo delante del aserrado (grietas pop-off)	Agrietamiento tardío (entre 7 y 60 días aprox. o antes del aterrizaje de un avión)	Fisuras por reflejo	Grietas por asentamiento sobre los pasadores o las barras de unión	Grietas que salen y vuelven a entrar
	Incompatibilidad de materiales que se traduce en una contracción mayor del concreto y a un retardo en el tiempo de fraguado	Mala granulometría del agregado (arena demasiado fina; mala graduación)	Mala granulometría del agregado (arena demasiado fina; mala graduación)	Concreto retardado						
	Mala granulometría del agregado (arena demasiado fina; mala graduación)		Carga temprana							
			Restricciones en la faja de relleno	Mala granulometría del agregado (arena demasiado fina; mala graduación)						
			Curado tardío o inadecuado	Concreto de alta contracción						
			Concreto de alta contracción	Carga temprana						
			Adherencia de la losa a la base							

Tipo de grieta	Retracción plástica	Agrietamiento aleatorio (sin orientación)	Agrietamiento longitudinal	Agrietamiento transversal (parcial o en todo el ancho)	Agrietamiento en las esquinas	Grietas justo delante del aserrado (grietas pop-off)	Agrietamiento tardío (entre 7 y 60 días aprox. o antes del aterrizaje de un avión)	Fisuras por reflejo	Grietas por asentamiento sobre los pasadores o las barras de unión	Grietas que salen y vuelven a entrar
Técnicas de investigación	Controle la calidad del compuesto de curado	Extraiga testigos a través de la base para controlar la adherencia de la losa a la base	Extraiga testigos para verificar la profundidad del agrietamiento y la rotura del agregado	Extraiga testigos para verificar la profundidad del agrietamiento y la rotura del agregado	Extraiga testigos para verificar la profundidad del agrietamiento y la rotura del agregado				Verifique las profundidades de los pasadores usando un medidor de cobertura, un radar penetrante de la superficie (GPR) o extrayendo un testigo	
		Controle la calidad del compuesto de curado	Controle la calidad del compuesto de curado	Controle la calidad del compuesto de curado	Controle la calidad del compuesto de curado					