

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción

Mejoramiento de las herramientas de control de calidad en la construcción de
pavimentos rígidos para plataformas de abordaje en el Aeropuerto Internacional
Juan Santamaría

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Andrés G. Espinoza Contreras

Cartago, Marzo 2019.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Rommel Cuevas Kauffmann, Ing. Sergio Fernández Cerdas, Ing. Mauricio Araya Rodríguez, Ing. Sonia Vargas Calderón, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



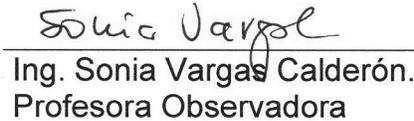
Ing. Rommel Cuevas Kauffmann.
En representación del Director



Ing. Sergio Fernández Cerdas.
Profesor Guía



Ing. Mauricio Araya Rodríguez.
Profesor Lector



Ing. Sonia Vargas Calderón.
Profesora Observadora

Mejoramiento de las herramientas de control de calidad en la construcción de pavimentos rígidos para plataformas de abordaje en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría.



Abstract

This project was carried out under the modality of professional practice at the company Edica LTDA, in the project called Block V at the Juan Santamaría International Airport. At first, was necessary a compilation of the regulations for the construction of rigid pavements, as well as the quality control tools implemented by the company. Which form the basis for a diagnostic analysis of the compliance of the specifications for the construction of rigid pavements. This was done in the form of a comparative table.

The diagnostic analysis shows that the company fulfills in a satisfactory manner the implementation of its quality management system in the areas corresponding to the P-501 concrete acceptances in accordance with AC 150 5370-10 G, Standards for Specifying Construction of Airports.

As a result of the diagnosis, it is determined that the best opportunity for improvement is presented in the results of quality control tests for the concrete slabs and the pavings. This improvement is solved through the implementation of a digital tool that fulfills this function. A checklist is also modified for the same purpose and one that works as a guide in coordination processes for the construction of rigid pavements is proposed.

Finally, in response to the company's request, a technical manual is made for the construction of rigid pavements on boarding platforms.

Keywords: construction, concrete slabs, boarding platforms, infrastructure, technical construction manual, quality controls, concrete, airport, checklists, construction processes, rigid pavements.

Resumen

Este proyecto fue realizado bajo la modalidad de práctica profesional en la empresa Edica LTDA en el proyecto denominado Bloque V en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. En este se desarrolla una recopilación de la normativa para la construcción de pavimentos rígidos, así como de las herramientas de control de calidad implementadas por la empresa. Estos documentos forman la base para un análisis diagnóstico del cumplimiento de las especificaciones para los procesos constructivos de los pavimentos rígidos. Este fue realizado en forma de cuadro comparativo.

El análisis diagnóstico arroja que la empresa cumple de una manera satisfactoria el implemento de su sistema de gestión de calidad en las áreas respectiva a las aceptaciones de concreto P-501 de acuerdo con la AC 150/5370-10G, Standards for Specifying Construction of Airports.

Como resultado del diagnóstico se determina que la mayor oportunidad de mejora se presenta en la vinculación de los resultados correspondientes a las pruebas de control de calidad realizadas para las losas de concreto y los paños de los pavimentos construidos. Esta mejora se genera mediante la implementación de una herramienta digital que cumple con esta función. También se modifica una lista de verificación con el mismo fin y se propone una que funcione como guía en los procesos de coordinación para la construcción de los pavimentos rígidos.

Finalmente, en respuesta de la solicitud de la empresa se realiza un manual técnico para la construcción de los pavimentos rígidos en las plataformas de abordaje.

Palabras claves: construcción, losas de concreto, plataformas de abordaje, infraestructura, manual técnico de construcción, controles de calidad, concreto, aeropuerto, listas de verificación, procesos constructivos, pavimentos rígidos

Contenido

Prefacio	1
Agradecimientos.....	2
Resumen Ejecutivo	3
Marco teórico.....	4
Metodología.....	11
Resultados.....	17
Análisis de los resultados.....	39
Conclusiones.....	43
Recomendaciones.....	45
Apéndices.....	46
Anexos.....	55
Referencias	61

Prefacio

El control de la ejecución en procesos constructivos tiene como fin, poder garantizar que al desarrollar las actividades dentro de una obra civil; están siendo realizadas de una manera correcta. De modo que los elementos construidos posean calidad, en términos de funcionalidad, servicio, resistencia y estética.

A su vez las herramientas de control proveen un mecanismo de detención temprana de fallos durante el proceso de construcción y brinda una ventana de intervención para solucionar fallencias encontradas o situaciones adversas para el elemento. Es debido a estas herramientas, que se reducen los errores que puedan incurrir en una reparación postrera del elemento o bien en la demolición y reconstrucción de este. De manera que, en el momento de realizar la entrega de los productos acordados, la calidad sea de satisfacción al cliente.

En proyectos de infraestructura y estructuras de gran relevancia e impacto, como lo es el proyecto de ampliación de las terminales y salas de abordaje en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, la calidad de los productos por entregar debe satisfacer las altas exigencias de normas internacionales, con el fin de garantizar una operación segura y de alto nivel. De modo que las obras realizadas por la empresa Edica Ltda., deben poseer la mayor calidad posible.

Edica es una empresa que cuentan con una alta experiencia en manejo y ejecución de obras de gran magnitud y su sello de calidad en estas es notorio. La empresa Edica Ltda. se encuentra certificada por su sistema de gestión de calidad mediante la norma ISO 9001:2008 y ha sido galardonada por su amplio historial en la construcción de proyectos, tanto para el sector privado como público.

De forma que este proyecto de graduación pretende realizar un análisis de los procedimientos de control, herramientas, especificaciones y normativa implementados por Edica Ltda., en la construcción de pavimentos rígidos para las rampas de abordaje Pos.19 y

Pos.20. Esto mediante la observación y el desarrollo de la práctica profesional en este proyecto. La investigación culmina con la elaboración de un manual de procedimiento técnico para la construcción de pavimentos rígido, basado en buenas prácticas constructivas, especificaciones técnicas y normativa aplicable. Además, se genera herramientas integrales de inspección que aporten mejoras a los modelos existentes y utilizados por la empresa.

Agradecimientos

Debo iniciar agradeciendo a mi familia, seres queridos y pareja por el apoyo brindado durante esta etapa de formación y durante mi vida en general. Agradezco inmensamente a mis padres, por los incontables sacrificios hechos para que este proceso de educación logre culminar.

A mis compañeros, colegas y amigos, Ignacio Rodríguez y Wense Rodríguez (en representación de todos los demás) que me acompañaron durante esta travesía. Asimismo, todos los profesores que he tenido, ya que soy producto de sus enseñanzas y transmisión de conocimiento. En especial a los profesores Sergio Fernández, por su apoyo y guía durante este proyecto, a Sonia Vargas, por su comprensión y disposición a siempre ayudar al estudiante y a Gustavo Rojas, por ser un profesor no solo en lo académico sino también de vida.

Por último, a la Empresa Edica Ltda., por abrirme las puertas para realizar la práctica profesional y a los ingenieros Pablo Vargas, Alexander Barquero y Marco Santos, así como su excelente equipo de trabajo; por colaborar para que este proyecto sea una realidad.

Con todos, les estoy eternamente agradecido.

Resumen Ejecutivo

El aumento en la cantidad de turistas que visitan a Costa Rica mediante las instalaciones del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría ha llevado a la necesidad de una expansión de la estructura aeroportuaria y consecuentemente, las obras de infraestructura de estas. Obras que deben cumplir con estándares de calidad muy estrictos para su aprobación final.

Por lo tanto, los productos y los procesos constructivos en dichos proyectos deben garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas y de las normas, para brindar la mejor calidad. Esto se logra mediante los distintos controles de calidad y evaluaciones constantes en los procesos de construcción y materiales empleados.

El objetivo principal del proyecto correspondió a desarrollar mejoras, en los procedimientos y herramientas de inspección para la construcción de los pavimentos rígidos, en las plataformas de abordajes del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, como parte de la ampliación realizada por la empresa Edica Ltda.

El cumplimiento del objetivo general se obtuvo mediante la realización de los objetivos específicos y la metodología propuesta. Se inició con la recopilación de la normativa aplicable para la construcción de estos elementos para proyectos de esta naturaleza (Infraestructura Aeroportuaria). Asimismo, se recopilaron y analizaron las herramientas de verificación implementadas por la empresa. Esto con el fin de analizar los parámetros, procedimientos de control, especificaciones y normativa implementados por Edica Ltda., con relación a la gestión de calidad en la ejecución de pavimentos rígidos y determinar oportunidades de mejoras o falencias dentro del mismo. Del mismo modo, mediante un cuadro comparativo; se realizó un diagnóstico para observar el cumplimiento de las normas.

Luego se realizó un manual de procedimiento técnico para brindar una herramienta de capacitación. Este manual contiene los procedimientos y recomendaciones para la construcción de pavimentos rígido, basado en buenas prácticas constructivas, normativa aplicable y especificaciones técnicas.

Además, se realizaron mejoras a las listas de verificación de campo y de inspección con las mejoras identificadas y basadas en el manual de buenas prácticas para los procesos de elaboración de pavimento rígido. Del mismo modo, se propone una herramienta de vinculación de resultados de pruebas de resistencia del concreto a la compresión y flexión, así como de las pruebas de compactación de las distintas capas del paquete estructural del pavimento.

De esta manera se pretende implementar las nuevas herramientas de control e inspección para los procesos constructivos de los pavimentos rígidos.

Marco teórico

Para una mayor comprensión del proyecto desarrollado, se procede a citar principios teóricos. Los cuales funcionaron como base o referencia para el desarrollo del tema expuesto y las herramientas elaboradas.

Pavimento

Responde a una estructura, asentada sobre una fundación apropiada, cuya finalidad consiste en proporcionar una superficie de rodamiento confortable y segura; que permita el tráfico de vehículos, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática¹.

Estructura del pavimento

La combinación de la subbase, base y superficie de rodamiento, colocadas sobre una subrasante para soportar y distribuir las cargas del tránsito sobre la subrasante de la carretera, según lo dicte el diseño elaborado por un profesional en el área².

Pavimento Rígido

Consiste en los pavimentos, un tipo de pavimento donde la principal resistencia a las cargas proviene de la acción de la capa o su superficie. Su principal característica es que su superficie,

¹ AC 150/5370-10G, Standards for Specifying Construction of Airports.

² Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010.

una losa de concreto hidráulico con cemento Portland (P.C.C.).³

Su paquete estructural está conformado por una subbase, una base granular y la superficie de rodamiento. Sin embargo, puede presentar variantes en su estructura, según el tipo de pavimento rígido.

En este proyecto se maneja tres tipos de estructuras para los pavimentos rígidos:

- a) Pavimento Rígido tipo A
- b) Pavimento Rígido tipo B
- C) Pavimento Rígido tipo C

Fases constructivas

Las fases constructivas de los pavimentos rígidos se muestran a continuación, así como los procesos que la conforman:

Fase previa a la colocación del concreto

- Demolición
- Excavación
- Preparación de la subrasante
- Preparación de la subrasante (según el tipo de pavimento)
- Preparación de base

Fase de colocación de concreto

- Colocación toba concreto (Según el tipo de pavimento).
- Colocación de concreto P-501.
- Acabado de la losa de concreto.

³ AC 150/5370-10G, Standards for Specifying Construction of Airports.

Fase Posterior a la colocación del concreto.

- Cortado de juntas de contracción.
- Limpieza de juntas.
- Sello de juntas.

Juntas de contracción

La Junta entre losas de concreto, cuya función consiste en controlar el movimiento causado por los cambios volumétricos (contracción y dilatación) y los esfuerzos de tensión producidas por las mismas.

Asimismo, estas juntas brindan un control sobre fisuras que los esfuerzos de tensión pueden llegar a ocasionar. Estas “guían” a la fisura, evitando que se propague por el medio de losa y genere un daño que culmine en una reparación o demolición total de la losa de concreto.

Estas juntas se pueden clasificar según el sentido de estas. Se dividen en dos tipos: transversales y longitudinales.

Juntas de contracción transversales

Este tipo de junta se construye perpendicularmente con sentido de colocación del pavimento. Su espaciamiento se determina en función de evitar el agrietamiento provocado por el secado del concreto en la fase de fraguado o debido a los cambios de temperatura y humedad⁴.

Juntas de contracción longitudinales

Son aquellos que dividen a los carriles en la dirección longitudinal, se utilizan cuando se van a construir dos o más carriles al mismo tiempo⁵.

⁴ AC 150/5370-10G, Standards for Specifying Construction of Airports

Por motivos de acabado, este tipo de juntas se procura evitar ya que complica el proceso de acabado de modo que lo que se realiza es la construcción en un sentido y luego se procede con la construcción del otro sentido. Dejando así una junta fría que cumple con la misma función que esta.

Agregado

Consiste en un material granular duro de composición mineralógica y en distintos tamaños usado para ser mezclado como por ejemplo la arena, la grava, la escoria o la roca triturada en diferentes tamaños⁶.

Sus dos principales clasificación por tamaño de partícula:

Agregado fino

El agregado fino corresponde a aquel agregado que pasa por el tamiz de 4.75 mm (No.4).⁷

Este agregado debe tener una granulometría acorde con la siguiente tabla para

Designación de Tamiz	Porcentaje por Peso Pasando
3/8 (9.5mm)	100
No.4 (4.75mm)	95-100
No.8 (2.38mm)	80-100
No.16 (1.18mm)	50-85
No.30 (600micro-m)	25-60
No.30 (500micro-m)	10-30
No.30 (150micro-m)	2-10

Agregado Grueso

Por otro lado, el agregado grueso es aquel que es retenido en el tamiz de 4.75 mm (No.4).

^{6,7} Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010.

Asimismo, los agregados gruesos deben cumplir con la granulometría propuesta en el cuadro 2.⁸

Cuadro 2. Granulometría para agregado grueso				
Aberturas cuadradas		Porcentaje Pasando por Tamices		
		De 1-1 / 2 pulg a No. 4 (38 mm - 4,75 mm)		De 1 pulg a No. 4 (25,0 mm-4,75 mm)
		# 4 1-1 / 2 pulg - 3/4 pulg	# 67 3/4 pulg. - No. 4	# 57 1 pulg - No. 4
Pulgada	mm			
2-1 / 2	60	---	---	---
2	50	100	---	---
1-1 / 2	38	90-100	---	100
1	25	20-55	100	95-100
3/4	19	0-15	90-100	---
1/2	13	---	---	25-60
3/8	9	0-5	20-55	---
No. 4	4.75	---	0-10	0-10
Nº 8	2.36	---	0-5	0-5

Calidad

Se considera calidad como el conjunto de propiedades o características de un producto o servicio, que le confieren idoneidad para satisfacer necesidades requeridas⁹. En la construcción de pavimentos rígidos, para las plataformas de abordaje o descarga de pasajeros, estas propiedades son dictadas por los administradores del aeropuerto y son

⁸ Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010.

⁹ Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010.

expresadas en las especificaciones contractuales.

Sistema de Gestión de Calidad

Corresponde a un conjunto de acciones planificadas y sistemáticas, cuya finalidad es el aseguramiento del cumplimiento de los parámetros en los procesos constructivos, evaluando el desempeño institucional en términos de calidad y satisfacción social.

El alcance del Sistema de Gestión de Calidad debe incorporar los procesos constructivos y control de proyectos civiles, de obras industriales, habitacionales y de infraestructura, así como una serie de procesos de la gestión de calidad, fundamentales para la adecuada administración del sistema.¹⁰

El Sistema de Gestión de Calidad en términos de documentación, debe estar estructurado como mínimo de la siguiente manera, según las normas de certificación correspondientes¹¹:

- Procedimiento de gestión para el control de documentos
- Procedimiento de gestión para el control de registros
- Procedimiento de gestión para las auditorías internas
- Procedimiento de gestión para las acciones correctivas y preventivas

Documentos varios

- Planificación
- Operación
- Control de procesos

Registros

- Revisión por la dirección
- Registros de capacitación

¹⁰ Edica Ltda. Documento del Sistema de Gestión de Calidad: Manual de calidad MGC-001.

¹¹ Chacón (2016), Modelo de inspección de calidad para los procesos constructivos involucrados en la construcción de rampas aéreas en el AIJS.

- Listas de verificación para la visita de campo

Parte importante de los sistemas de gestión de calidad es la trazabilidad de la información que respalde el cumplimiento de los procesos (evidencia de controles)¹². Esta información debe ser accesada con facilidad, de manera clara y que sea entendible para cualquier persona que desee buscarlo, por ello debe estar bien ordenado.

a) Parámetros de aceptación. Requerimientos de calidad regulados por especificaciones vigentes que le permiten a la Administración aceptar o rechazar una materia prima, un producto manufacturado o un proceso constructivo.

b) Parámetros de control. Requerimientos de calidad establecidos por la Administración para que el Contratista los utilice con el fin de garantizar la uniformidad y demostrar el cumplimiento de todas las especificaciones contractuales. Y para los cuales se recomienda emplear métodos estadísticos de control, tales como cartas de control con la frecuencia requerida para asegurar la calidad en los resultados.

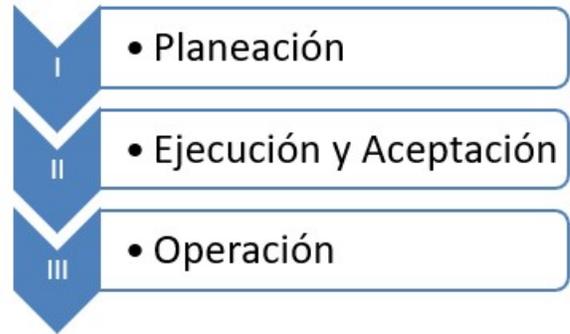
Control Técnico

Enfocado a la construcción, hace referencia al seguimiento y evaluación de los procesos constructivos correspondientes a la ejecución de una obra o elemento de esta¹³. En este se consideran las características de los materiales usados, normas relacionadas a la actividad o elemento ejecutado, especificaciones técnicas, ensayos, entre otras áreas. Igualmente verifica la concordancia entre lo que se construye y lo que se presenta en los respectivos planos, programación y presupuesto.

El objetivo primordial del control técnico es velar por la calidad final del proyecto. Para lograr este objetivo es necesario realizar ciertos controles en tres distintas etapas:

¹² Vargas (2018), Entrevista en Auditoría Interna del Sistema de Gestión de Calidad Edica

¹³ UMSS (2004), Pavimentos texto guía.



Microsoft Word. Elaboración propia.

Es importante dejar registro físico de estos controles como evidencia de que cumple con las especificaciones establecidas dentro del sistema de gestión de calidad y los manuales de calidad.

ISO 9001:2015

Esta norma internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad cuando una organización:

- Necesita demostrar su capacidad para proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables, y
- Aspira a aumentar la satisfacción del cliente por medio de la aplicación eficaz del sistema, incluidos los procesos para la mejora del sistema y el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables.

Todos los requisitos son genéricos y se pretende que sean aplicables a todas las organizaciones, sin importar su tipo o tamaño, o los productos y servicios suministrados.

El ciclo PHVA

El ciclo PHVA puede aplicarse a todos los procesos y al sistema de gestión de la calidad como un todo.

El ciclo PHVA puede describirse brevemente como se muestra continuación¹⁴:

- **Planificar:** establecer los objetivos del sistema y sus procesos, y los recursos necesarios para generar y proporcionar resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización, e identificar y abordar los riesgos y las oportunidades;
- **Hacer:** implementar lo planificado;
- **Verificar:** realizar el seguimiento y la medición de los procesos y los productos y servicios resultantes respecto a las políticas, los objetivos, los requisitos y las actividades planificadas, e informar sobre los resultados;
- **Actuar:** tomar acciones para mejorar el desempeño, cuando sea necesario.

RAC 139

Corresponde al diminutivo para las Regulaciones Aeronáuticas Costarricenses. En este documento, el RAC No. 139, hace referencia a la certificación de los aeropuertos por parte de Aviación Civil para la operación de este. En este se establece las normas que regulan la certificación y opera acción de aeropuertos terrestres que sirven a:

Operaciones regulares y no regulares de carácter internacional, con aeronaves grandes de más de treinta asientos, para el transporte de pasajeros, carga y correo.

Además de operaciones regulares y no regulares, locales o internacionales, con aeronaves pequeñas de más de nueve asientos, para el transporte de pasajeros, carga y correo.¹⁵

Verificación

Proceso que consiste en evaluar si un producto, servicio o resultado cumple o no con determinada regulación, requisito o especificación o condición impuesta.

¹⁴ Norma ISO 9001:2015.

¹⁵ Aviación Civil, RAC 139.

Hojas de verificación

Hoja de anotaciones que puede utilizarse como lista de control cuando se recopilan datos.

Documentos de prueba y evaluación

Documentos del proyecto que describen las actividades utilizadas para determinar si el producto cumple los objetivos de calidad establecidos en el plan de gestión de la calidad.

Diagrama de flujo

Representación en formato de diagrama de las entradas, acciones del proceso y salidas de uno o más procesos dentro de un sistema.¹⁶

Soft Cut

Corte longitudinal en las juntas que se le realiza a las losas de concreto apenas adquiera dureza, entre 4 a 6 horas después de colocado el concreto.

Plataforma

Área definida, en un aeródromo terrestre, destinada a dar espacios a las aeronaves para los fines de embarque o desembarque de pasajeros, correo o carga, abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.¹⁷ Toda parte de la plataforma debería poder soportar el tránsito de las aeronaves que circulen sobre estas.

¹⁶ Project Management Institute, Guía de fundamentos para la dirección de proyectos.

¹⁷ Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional de la Organización de Aviación Civil

Introducción

Costa Rica se caracteriza por ser un país donde parte importante de su economía es impulsada por el turismo. Solo en el 2017, en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría se registraron más de 1.6 millones de extranjeros en nuestro país.

Para junio de este año esa cantidad aumentó 7 mil personas más que el mismo mes, un año atrás.

Este aumento ha llevado a la necesidad de una expansión de la estructura aeroportuaria y por consecuente también de las obras de infraestructura. Obras que deben cumplir con estándares de calidad muy estrictos para su aprobación.

De modo que las empresas que trabajen en dichos proyectos deben garantizar que tanto el producto como los procesos que se realizan cumplen con lo especificado en las normas y brindan la mejor calidad. Esto se logra mediante los distintos controles de calidad y evaluaciones constantes en los procesos de construcción y materiales empleados.

Este proyecto se desarrolla en las instalaciones del Aeropuerto Juan Santamaría, ubicado en la provincia de Alajuela, Costa Rica. Específicamente se realiza en las obras de infraestructura perteneciente a la ampliación de las salas de abordaje, denominada Bloque V.

Es realizado con el objetivo de generar mejoras en el desempeño y manejo de información de las herramientas de control de calidad en la construcción, específicamente los

controles para la construcción de pavimentos rígidos.

Esto se logró mediante las recopilaciones de información y normativa relacionada con la construcción de los pavimentos rígidos en aeropuertos internacionales, con el objetivo de conocer la normativa aplicable para estos elementos. Con ello se da paso a un diagnóstico de las herramientas y controles empleados por la empresa, de forma que se identificaron las oportunidades de mejoras y se realizaron mediante la implementación de dos listas de verificación, una previa al proceso y otra durante el proceso.

Además, se da el desarrollo de una herramienta digital de correlación de información relacionada con los ensayos de calidad y control de juntas de los pavimentos rígidos.

Finalmente, en respuesta a la solicitud de la empresa se desarrolla un manual técnico para la construcción de pavimentos rígidos.

Es importante mencionar que en el 2016 se realizó un proyecto con la misma empresa en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. Sin embargo, se desarrolló en obras y ubicaciones distintas. Dentro de los productos de este proyecto destacan diagramas de flujo para la construcción de pavimentos rígidos, los cuales son analizados y actualizados con respecto a la norma vigente. Son los diagramas los únicos productos de dicho proyecto que son utilizados para la ilustración del proceso constructivo.

Objetivo General

- Desarrollar mejoras, en los procedimientos y herramientas de inspección para la construcción de los pavimentos rígidos, mediante la elaboración de un manual de ejecución y listas de verificación específicas en las plataformas de abordajes del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, como parte de la ampliación realizada por la empresa Edica Ltda.

Objetivos Específicos

- 1- Analizar los parámetros, procedimientos de control, especificaciones y normativa implementados por Edica Ltda., con relación a la gestión de calidad en la ejecución de pavimentos rígidos.
- 2- Elaborar un manual de procedimiento técnico con recomendaciones para la construcción de pavimentos rígido, basado en buenas prácticas constructivas.
- 3- Desarrollar una herramienta integral de inspección con las mejoras identificadas y basada en el manual de buenas prácticas para los procesos de elaboración de pavimento rígido.
- 4- Implementar las nuevas herramientas de control e inspección para los procesos constructivos de los pavimentos rígidos.

Metodología

Este proyecto de graduación fue realizado bajo la modalidad de práctica profesional, con un enfoque de investigación cualitativa. De modo que la línea de acción para el desarrollo de este proyecto fue basada en la observación, recopilación de normativa e información, análisis diagnóstico y comparativo de las herramientas utilizadas por la empresa Edica LTDA. e implementación de mejoras en estas.

El desarrollo del proyecto fue realizado en tres distintas ubicaciones; dentro del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. Estas corresponden a dos plataformas de abordaje o de descarga, denominadas Posición 20 y Posición 19, además de una calle vehicular que divide ambas posiciones identificada como Calle de Servicio.

Con el fin de generar una mayor comprensión de las ubicaciones mencionadas se describen con mayor detalle a continuación:

Bloque V

Es un nuevo edificio de alrededor 6000 m² de construcción. Este está dividido en cuatro niveles: Sótano, Nivel de Rampa, Primer Nivel y Segundo Nivel. Este edificio colinda con el Bloque A al este, al Sur con la Posición 19, al norte un edificio también en construcción y al oeste con la Calle de Servicio. Se conecta con la Posición 20 mediante un puente de abordaje.

El Nivel de Rampa y Primer Nivel poseen salas de abordaje y este último contiene dos puentes de abordaje. El Bloque V es el edificio que recibirá los pasajeros de los aviones que se coloquen en la Posición 20 y la Posición 19.

Posición 20

Consiste en el área de acceso destinada para el puente de abordaje No.20. Este puente forma parte de la nueva edificación, Bloque V.

El área de la plataforma de abordaje se extiende alrededor de 3500 m², lo que representa cerca de 126 losas de pavimento rígido con dimensiones de cinco metros por cinco metros. Esta posición está diseñada para soportar el tránsito pesado, es decir soportar el peso de aviones por lo que los pavimentos que la conforma poseen un paquete estructural tipo A.

En esta posición se realizaron constantes visitas para la observación del proceso constructivo y se generó conocimiento acerca de las herramientas y métodos de inspección en campo, para el control de la calidad de los pavimentos rígidos.

Posición 19

Al igual que la Posición 20, esta es producto de la ampliación del Bloque V, pero de menor dimensión. Su área es de 2150 m²; 86 pads de los cuales 35 son losas existentes y el resto fueron construidas producto de la ampliación de la plataforma. Esta zona colinda con una calle de tránsito vehicular de asfalto hacia el este y el sur, mientras al oeste y norte limita con la calle de servicio. Al igual que en la Posición No. 20, la No. 19 cuenta con un diseño de pavimento tipo A por los tipos de tránsito y carga a las que será sometida.

Esta posición contaba con unas estructuras de pavimento flexible, que rodeaban una plataforma de abordaje en pavimento rígido de un menor tamaño. De modo que fue necesario

sustituir los flexibles por pavimentos nuevos de concreto.

Fue en esta posición, junto con la Calle de Servicio, donde se implementaron las listas de verificación desarrolladas a lo largo del proyecto.

Calle de servicio

Corresponde a un área de pavimento rígidos destinados para el tránsito de camiones de bombero, camiones de asistencia para los aviones, buses de pasajeros y también los vehículos encargados de trasportar el equipaje a las zonas de carga en los aviones a las terminales y en sentido opuesto. Su extensión es de 2100 m² (86 paños aproximadamente).

La Calle de Servicio conecta la zona de descarga de maletas del Bloque A y la calle vehicular paralela a la pista de aterrizaje. A diferencia de la Posición No.20 y Posición No.19, los pavimentos corresponden a un pavimento Tipo B en una sección y Tipo C en otra. Que poseen un espesor menor de la losa de concreto, y un paquete estructural distinto al pavimento tipo A.

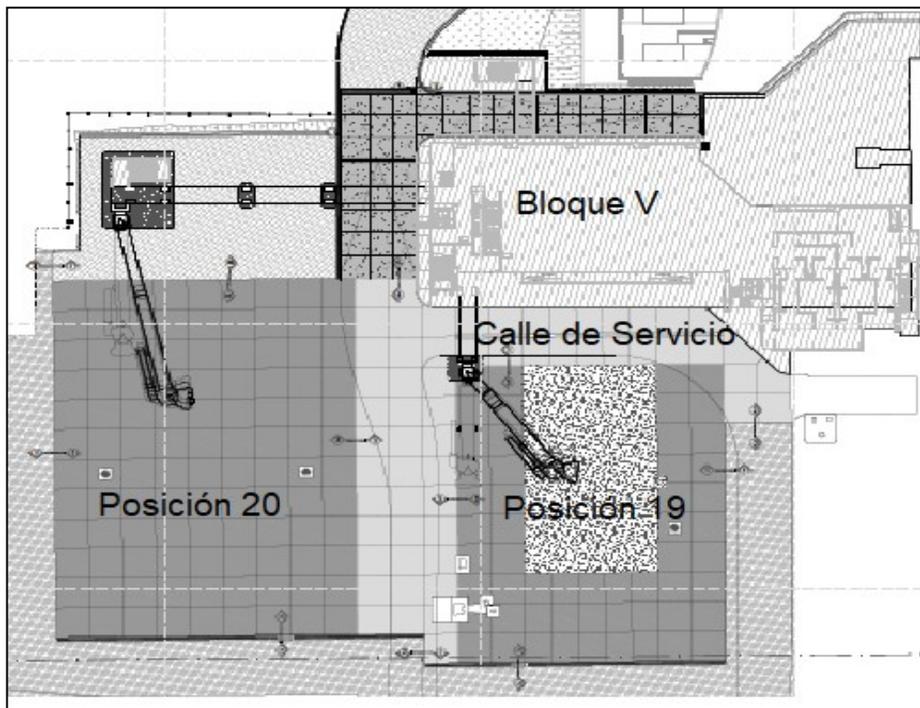
Expansión al sur del Posición 20

Consiste en una zona de 900 m² que se extiende hacia el sur de la Posición 20. Esta zona es parte de la transición de la pista de rodaje a las calles vehiculares del aeropuerto. Es una zona de alto tránsito, principalmente pesado (aeronaves y vehículos de asistencia). Por lo que su paquete estructural corresponde a un pavimento rígido tipo A.

Expansión al norte del Posición 20

Corresponde a una zona de 1500 m² que se extiende hacia el norte de la Posición 20. Es una zona de bajo tránsito, principalmente vehículos de asistencia. Por lo que su paquete estructural corresponde a un pavimento rígido tipo B.

En la figura 1 es posible observar un mapa de la ubicación de cada una de las posiciones mencionadas anteriormente.



Ubicaciones descritas.
obra Civil. Edica LTDA

Durante el desarrollo se estuvo presente en la construcción de cada una de las posiciones. De las cuales solo en la posición 20 no se participó en su totalidad, debido a que al iniciar este proceso ya se había elaborado un 60 % de las losas de concreto de esta posición. Por lo que al desarrollar las herramientas ya esta posición y la expansión al sur estaban terminadas.

Para la realización de este proyecto fue necesario desarrollarlo en cinco fases. Estas se dividen de la siguiente manera:

- I. Recopilación de la información y observación del proceso constructivo.
- II. Comparación de la normativa vs las herramientas utilizadas.
- III. Desarrollo de una herramienta e implementación de esta.
- IV. Desarrollo de un manual técnico para la construcción de pads.
- V. Implementación de las herramientas.

A continuación, se detalla cada una de las fases y el razonamiento de las mismas para generar un mayor entendimiento

I. Recopilación de información y observación del proceso constructivo.

Consistió en el punto de inicio del proyecto, en el cual se concentró la atención en el estudio del proceso constructivo de los pavimentos rígidos y recopilación de normativa y documentos de interés para el desarrollo del proyecto.

Con el fin de alcanzar un entendimiento y conocimiento claro del proceso constructivo, se indagó cuáles son los parámetros y razonamiento para escogencia del paquete estructural del pavimento, así como las etapas que componen la construcción de estos. Sin embargo, no se profundizó en temas de diseño, como programas de diseño, tasa de crecimiento proyectada, ni memorias de cálculo.

Por otro lado, fueron identificados y recolectados las herramientas y procedimientos de inspección para control de calidad, implementados por la empresa en la construcción de los pavimentos rígidos y la manera en que estos son ejecutados.

Se prestó principal atención al proceso de inspección y control en la colocación de concreto. Esto debido al material que interviene en proceso, que posee mayores cuidados que las demás etapas.

Asimismo, se investigó los intermediarios directos e indirectos en la elaboración de los pavimentos rígidos y su rol dentro del proceso. Como parte del proceso de aprendizaje sobre la construcción de los pavimentos rígidos, se realizaron visitas durante las fechas de construcción de estos elementos. En las cuales se observó de cerca los procesos de ejecución de estas obras de infraestructura, y se participó en la implementación de las herramientas de control e inspección en campo, que la empresa implementa. Por otro lado, se investigó el proceso descrito en Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010 para la construcción de losas de concreto, del mismo modo se estudia el proceso propuesto por al FAA en al AC/150-5232-10G.

Las participaciones en las visitas fueron frecuentes y durante toda la duración de la práctica profesional. Estas fueron realizadas en la Posición 20, Expansiones al sur y norte de la Posición 20, Posición 19 y Calle de servicio. En estas visitas se utilizaron y se formó parte de los procesos de inspección con los que contaba la empresa

Por otro lado, se investigó documentación existente de proyectos anteriores, realizados en la misma empresa que ilustrará dichos procesos y actividades. Posterior a esto se analizaron los diagramas encontrados y se le realiza una actualización con respecto a la normativa existente para cada proceso.

Paralelamente, se recopiló la normativa vigente relacionada con la construcción de los pavimentos rígidos en aeropuertos internacionales, así como las especificaciones, parámetros y estándares estipulados.

Fue necesario investigar la normativa y especificaciones que exige Aviación Civil. Esto se logró mediante una visita a las oficinas de esta institución y una entrevista con empleados enterados del tema.

Además, se comparó el proceso estudiado con diagramas de flujo propuestos en trabajos anteriores realizados en la empresa, en el año 2016. Se identificaron mejoras dentro de

los diagramas y se actualizó según la norma en ellos.

II. Comparación de la normativa versus las herramientas utilizadas.

En la segunda etapa del proyecto se realizó un análisis comparativo entre las herramientas empleadas por la empresa y las normativas relacionadas a la construcción de los pavimentos rígidos. Esto con el fin de generar un diagnóstico e identificar las oportunidades de mejora en las herramientas implementadas.

Para esto se realizó un cuadro comparativo, en el cual se tomó la documentación recopilada y se realizó una comparación entre las características de aceptación estipuladas por las FAA en la AC/150-5232-10G y los documentos o herramientas que la empresa implementó, en el momento que se desarrolló este proyecto, para cubrir y cumplir con lo estipulado en la normativa.

Posterior a esto se identificó las oportunidades de mejoras en cada área comparada y la respectiva herramienta de control. Producto de esto se genera un análisis del alcance de los métodos de inspección en la colocación y preparación de los pavimentos rígidos, es decir si su estructura permite inspeccionar adecuadamente todo el proceso del conformado del pavimento de concreto hidráulico.

Para esto se analizaron las herramientas en tres etapas de la construcción de los pavimentos rígidos:

- Antes (los procedimientos de preparación del terreno sobre el cual se colocará el elemento).
- Durante (la ejecución y elaboración de la estructura del pavimento).
- Después (los procesos de curado y acabado de las losas y sellos de juntas).

III. Desarrollo de herramientas

Luego de identificar las mejoras posibles a las áreas evaluadas en la fase II, se desarrolló tres herramientas, utilizando el programa *Microsoft Excel*. Estas fueron dos listas de verificación y

una herramienta digital de vinculación de los ensayos de laboratorio en las distintas capas que conforman los pavimentos rígidos en las Posición No.20, Posición No.19 y Calle de Servicio.

Listas de verificación

La empresa contaba con listas de verificación y evaluación en campo para los procesos anteriores, durante y posteriores de la colocación de concreto. Sin embargo, se identificaron oportunidades de mejoras.

Se procedió a implementar mejoras a las evaluaciones en campo para procesos constructivos del pavimento rígido existentes. Para esto fue utilizado el criterio obtenido de la experiencia producto de las visitas realizadas y de las especificaciones técnicas para construcción de pavimentos rígidos recopiladas.

Se integró un chequeo de la realización de ensayos de compactación a las capas que conforman el paquete estructural del pavimento (subrasante, base, subbase). Estos chequeos varían según la capa estructural de cada pavimento, por lo que se le agregó una casilla para poder identificar el paquete estructural.

La incorporación de los rubros descritos anteriormente se realizó como una manera para evidenciar que la zona donde se construyen los pads, está verificada y cumple con los requisitos de compactación mínima.

Posterior a esto se realizó una nueva lista de verificación, esta con una orientación más hacia el área de la planificación y coordinación. Con el fin de brindar a nuevos encargados que no se encuentren familiarizados con el proceso, una herramienta para poder gestionar la logística para el adecuado proceso de colocación del concreto.

Esta lista fue realizada mediante la experiencia y consulta de los ingenieros encargados de la coordinación para la construcción de los pavimentos rígidos y protocolos destinadas para el aeropuerto.

En ella se abarca desde los intermediarios directos e indirectos del proceso y los principales agentes de coordinación para la obra del aeropuerto y el equipo necesario para la construcción de los pads.

Esta herramienta se le colocó el nombre de lista de brigada y se realizó en paralelo con las demás herramientas.

Herramienta digital

Para el desarrollo de la herramienta digital se determinó que una de las principales mejoras que se podía implementar era en el control posterior. Esta mejora consiste en el acceso a la información relacionada con los ensayos de control de calidad para cada paño concreto construido.

La herramienta fue basada en un control de programación de colocación de concreto utilizado. Este control previo a la intervención constaba en una hoja de Excel cuadriculada y acomodadas en ejes de coordenadas alfanuméricas para una mejor ubicación. Se tomó este formato de ubicación de la losa de concreto y se generan una base de datos donde se incluye el número de informe, resultados de las pruebas de laboratorio, tipo de pavimento, ubicación. Se genera bases de datos para las capas inferiores de agregado que conforman el paquete estructural del pavimento concreto hidráulico, además, se genera un control de juntas, donde se muestra su estado.

Posterior a esto se programó las hojas para que al seleccionar la celda, que sea de interés para el usuario, emerja una ventana con la información relevante al pad consultado. La información que surge dentro de la ventana informativa depende del material que se consulte. En el caso del concreto hidráulico P-501 se incluyen variables como la resistencia a la compresión en distintas edades, módulo de rigidez, así como el número de informe y la fecha de colado. Esta ventana es distinta para el movimiento de tierras y el control de juntas.

Esto con la filosofía de mejorar la trazabilidad de información aportada por los ensayos de calidad y vincularlo con la ubicación de capa losa de concreto construida con la colocación de base o subbase. De manera que se posea un panorama más claro de todo el paquete estructural y los ensayos que respalda la calidad de cada proceso.

La codificación del programa se basó en los conocimientos adquiridos en los cursos previos de la Escuela de Ingeniería de Construcción. Utiliza funciones simples como LOOP, IF, AND, ACTIVE CELL, entre otras que no representan ni requieren un conocimiento profundo en programación. En el programa que se preparó el código consistió en *Visual Basic*.

IV. Desarrollo de un manual técnico para la construcción de Pads.

El desarrollo del manual técnico para la construcción de pavimento rígidos se basó en tres fuentes principalmente. Se realizó siguiendo las especificaciones técnicas solicitadas por el diseñador, las disposiciones que solicita la circular AC 150 5273 10G y Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010. La experiencia adquirida en las visitas e inspecciones de la colocación brindó un apoyo importante para el entendimiento de los procesos de construcción.

El manual se dividió en tres fases, donde se utilizó los diagramas previamente validados para la secuencia de los subprocesos que conforman estas fases. Se tomaron las fases de construcción y se describen el paso a paso de cada una; para un cumplimiento de los requerimientos de la norma.

Una parte importante del desarrollo del manual fue el registro fotográfico que ilustra los distintos procesos que conforman la construcción de los pavimentos rígidos. Estas imágenes fueron captadas con el fin de explicar de una manera gráfica las actividades que se describen en el manual.

Es importante destacar que el manual fue desarrollado para describir de una manera práctica y detallada la construcción de los pavimentos rígidos y paquetes estructurales desarrollados en las ubicaciones.

V. Implementación de las herramientas desarrolladas.

Una vez obtenidas las listas de verificación, se procedió a implementar las herramientas en las zonas que faltaban por construir. Debido a velocidad de avance del proyecto en el momento de implementar las herramientas la Posición 20 y la expansión al sur de esta ya se encontraban construidas a un 95 %, la Posición 19 ya contaba con un 60 % de avance aproximadamente y un 40 % de la Calle Vehicular.

La implementación de las listas fue realizada durante la construcción de las losas restantes. Las listas de verificación propuestas

son directamente desarrolladas al proceso de colocación de concreto, por lo que los subprocesos evaluados son los relacionados a este. Por ejemplo, el vibrado del concreto, el estado y alineación de las dovelas, revisión de los niveles, acabado con flota, entre otros.

Esta implementación duró alrededor de tres semanas y se realizó durante las horas de colocación de concreto. Estas variaban entre las 10 pm y 6 am, según el volumen de trabajo. Las listas fueron llenadas con el uso de una tableta electrónica por lo que la información se maneja de forma digital. El proceso de implementación iniciaba con una visita previa a la llegada de los camiones mezcladores, donde se revisaba el estado de la formaleta, es decir, que esta contara con el nivel adecuado y una alineación correcta. Posterior a la realización de esta, se procedía a revisar la colocación de las dovelas, el diámetro y si contenían grasa.

Una vez que los camiones llegaban, se monitoreaba la frecuencia de colado y la duración de espera de estos. Paralelamente se controlaba el proceso de colocación del concreto, en especial al vibrado del concreto y la nivelación mediante los codales, tanto manual como el vibratorio. Con la lista se revisaba que los procesos fueran realizados de manera correcta y que no se omitiera ningún paso. Una vez colocado el concreto se revisaba la presencia de irregularidades en la superficie, estas mediante la observación detallada. Al mismo tiempo se verificaba que el acabado con flota quedara sin presencia de huecos ni irregularidades. Luego se aseguraba de que no existieran vacíos en el perímetro que llevara angular, y se detallaba el perímetro con una llaneta. Por último, una vez que el concreto tuviera la dureza necesaria, se verificaba que se realizara el rayado de la superficie, para luego proceder con la lista de verificación posterior a la colada con la que cuenta la empresa.

Es importante mencionar que en el momento que se detectara una anomalía en alguno de los procesos, se anotaba en la herramienta propuesta y se corregía inmediatamente.

En relación con la implementación de la herramienta de vinculación de los resultados de las pruebas de laboratorio, se tomaron los informes entregados y se ingresaron a la base de datos. Posteriormente se ingresaban los datos conforme estos informes eran entregados y se

actualizaba la base de datos. Asimismo, conforme se realizaban los cortes y sellos de juntas, se actualizaba los estados en el control de juntas propuesto, de forma que se observaba el avance de las obras y los frentes faltantes por intervenir.

Resultados

I. Recopilación de información y observación del proceso constructivo.

De acuerdo con los parámetros y el razonamiento de la escogencia, se determinó que la función de las plataformas de abordaje o descarga es soportar el peso del avión mientras estos son atendidos por el personal operativo del aeropuerto o por periodos de cierre del aeropuerto. De modo que las cargas a las que se ven sometidas las plataformas, son cargas estáticas, a lo que un pavimento rígido posee un mejor rendimiento frente a este tipo de cargas que un pavimento flexible. Además, los costos de mantenimiento de losa de concreto suelen ser menor que las carpetas asfálticas y con menor frecuencia. Esto brinda un beneficio operativo para el aeropuerto, que mantiene en constante operación sus plataformas de abordaje.

Por otro lado, dentro de la recopilación de información, se determinó la participación de múltiples intermediarios, pero se destacan a continuación tres principales entidades o intermediarios directos en la construcción de los pavimentos. Estos corresponden a:

Diseñadores: La empresa a cargo del diseño del pavimento es la empresa PIASA Consultores. Quienes además de realizar el diseño, son los encargados de revisar los procesos constructivos y dar el visto bueno de la ejecución de estos, realizar informes mensuales y evidenciarlos en actas.

Además, son los responsables de revisar las etapas constructivas y brindar indicaciones para corregir falencias dentro de los mismos. Son ellos los que determinan las especificaciones técnicas para la construcción de los pads, y los procesos que las conforman.

Los constructores: EDICA LTDA., son los ejecutores y administradores de la obra, por lo que son los que brindan cuentas de todo lo que se está realizando y los controles que implementan. Estas son herramientas que funcionan como respaldo para ellos de que cumplen con las especificaciones técnicas. Asimismo, son los encargados de coordinar toda la logística detrás de la colocación del concreto. Por lo que para garantizar la calidad de la colocación, subcontrata una empresa especializada en esta actividad y en el acabado de las losa de concreto.

Dentro de sus políticas de calidad, siempre debe haber un encargado que presencie el proceso de colado de las losas y que brinde soluciones en caso de una eventualidad. Este encargado debe conocer bien el proceso de ejecución y construcción de los pads, para poder cumplir a satisfacción con esta tarea.

Además, se realizan auditorías internas para verificar que se esté realizando un adecuado control de calidad, ya que los estándares para mantener la acreditación ISO 9001 son altos y la empresa implementa un sistema de evaluación para que en todos sus proyectos se cumpla satisfactoriamente con este.

Inspectores: la inspección final está a cargo de la empresa DEHC Consultores, los cuales son los encargados del proceso de aceptación de las obras de infraestructura.

Se determina que el proceso de construcción de los pavimentos consiste en los subprocesos mencionados a continuación;

- Demolición de obras existentes
- Excavación a nivel de paquete estructural
- Preparación de la subrasante
- Preparación y conformado de la subbase
- Preparación y conformado en de la base
- Colocación y consolidación de toba concreto

- Colocación del Concreto P-501
- Corte y sellado de juntas.

Respecto a la comparación entre los procesos descritos en los diagramas propuestos en los trabajos anteriores, se determina que estos sí ilustran correctamente los procesos constructivos de acuerdo con lo especificado en la norma y las especificaciones técnicas. Estos diagramas se encuentran en el apartado de anexos.

Los documentos recopilados en relación con los controles de calidad respecto a la construcción de pavimentos rígidos corresponden a:

- Control de Pavimentos (herramienta digital para control de avance constructivo).
- Hoja de Evaluación de Calidad en Campo Previo a la Colada de Concreto.
- Hoja de Evaluación de Calidad en Campo Durante la Colada de Concreto.
- Hoja de Evaluación de Calidad en Campo Posterior a la Colada de Concreto.
- Matriz de Calidad para Obras de Infraestructura, Edica LTDA.
- Especificaciones técnicas Sección 32-13-13.1 Pavimento de Concreto Rígido Aeropuerto P-501.
- Especificaciones técnicas Sección 32 11 36.13. Base Estabilizada para Aeropuertos o P-306.
- Especificaciones técnicas Sección 31 23 25 Agregado para Sub-Base P-154 para Aeropuerto.
- Especificaciones técnicas Sección 31 23 14 Excavación Estructural y Material para Relleno Granular Compactado (CBR 30 y 80).
- Especificaciones técnicas Sección 31 23 23 Relleno con Material Selecto Compactado.

Además, producto de la entrevista realizada con el Ing. Ignacio Acuña, ingeniero de Aviación Civil, se determinó que la normativa que rige para la construcción de obras de infraestructura en aeropuertos son el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010 y el Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional de la Organización de Aviación Civil

Internacional (OACI). Ambos documentos son revisados y estudiados, sin embargo, en la misma entrevista se aclaró que estas no son limitantes para el uso de las normas brindadas por la Federación Americana de Aviación (FAA) en modo de circulares. Además, se recopiló el RAC 139 que es necesario para la operación legal de cualquier aeropuerto, ya sea de vuelos nacionales o internacionales.

También, mediante reuniones y consulta a los ingenieros encargados del diseño y los encargados de la ejecución de la obra; se determina que su principal fuente de referencia de normativa son las circulares publicadas por la FAA.

Por lo que la normativa recopilada se resume en la siguiente lista:

- Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010.
- Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional de la Organización de Aviación Civil.
- Advisory Circular 150/5320-6F, Airport Pavement Design and Evaluation,
- Advisory Circular 150/5370-10G, Standards for Specifying Construction of Airports.

Por último, se actualiza en términos de normativa los diagramas de flujo encontrados, que describen los procesos que conforman la construcción de los pavimentos rígidos.

No se cuenta con una herramienta de registro de la ubicación de donde se han realizado pruebas de subbase, más que la descripción en las hojas de los ensayos de compactación. Cabe mencionar que durante la implementación de las herramientas propias de la empresa para el colocado de concreto, se encuentran rubros faltantes. De estos se pueden mencionar verificación del acabado o corte posterior de la chorrea; estos aspectos se consideran oportunidades de mejoras.

II. Comparación de la normativa versus las herramientas utilizadas.

En el cuadro 1 se puede observar la comparación entre la normativa y las herramientas, documentos implementados por Edica LTDA., que ayudan a que los procesos constructivos cumplan con estas especificaciones.

Para la escogencia de las áreas evaluadas, fueron tomados los rubros de control de calidad que deben existir en pavimentos rígidos de acuerdo con la AC 150/5370-10G, *Standards for Specifying Construction of Airports*. Estos son:

- Diseño de Mezcla
- Granulometría de los Agregados
- Calidad de los Materiales
- Manejo de Reservas
- Dosificación.
- Proceso de Mezcla y transporte.
- Colocación y consolidación.
- Colocación y alineamiento de Dovelas
- Juntas.
- Resistencia a la Flexión y compresión
- Acabado y curado.

El cuadro 3. presenta la especificación según las distintas normas que apliquen al área de evaluación, la documentación y/o la herramienta por parte de la empresa Edica y las acciones que se toman para cumplir con la norma.

CUADRO 3. Herramientas y acciones por parte de Edica LTDA para el cumplimiento de la normativa recolectada para la construcción de pavimentos rígidos en aeropuertos.

Área por evaluar	Normas	Detalle de Normativa	Documento / Edica	Acciones/Edica
Diseño de Mezcla	<ul style="list-style-type: none"> •AC 150/5370 -10G, capítulo 6 sección 1 •ASTM C94 •ASTM 318 	<ul style="list-style-type: none"> •El laboratorio de la preparación del diseño de la mezcla deberá estar acreditado de acuerdo con ASTM C1077. •El diseño de la mezcla debe ser respaldado por la firma del ingeniero profesional responsable del laboratorio. •Concreto, deberá ser proporcionado para alcanzar una resistencia mínima a la flexión, a los 28 días, entre 600 psi y 700 psi (4,136 MPa y 4,826 MPa) por ASTM C78. •Para pavimentos diseñados para soportar pesos brutos de aviones de 30.000 libras (13500 kg) o menos, el hormigón deberá estar diseñado para lograr una resistencia a la compresión a los 28 días de 4.400 psi (30.337 MPa). •El Ingeniero debe especificar una relación agua / cemento máxima de 0,49. 	<ul style="list-style-type: none"> • Informe de Diseño de Mezcla. • Sumittal de diseño de mezcla aprobado. 	<p>El diseño de mezcla debe cumplir con las especificaciones técnicas, las cuales son dictadas por los diseñadores. Para esto la empresa cuenta con un informe del diseño de mezcla, donde se muestra que la resistencia de flexión alcanza lo estipulado en la norma y especificaciones por el diseñador de 42 kg/cm² (4.2 MPa). Asimismo, logra una resistencia a la compresión mayor a 450 kg/cm² a los 28 días de edad. Ya que esto lo dicta el diseño realizado por PIASA SA. Además, realiza un sumittal del diseño de mezcla y este documento debe ser aprobado por la inspección, diseñadores e ingenieros del aeropuerto. Esto es un respaldo de que el concreto colocado en las losas, es de la satisfacción del cliente, y cumple con las especificaciones técnicas del diseñador.</p>
Granulometría de los Agregados	<ul style="list-style-type: none"> •AC 150/5370 -10G, capítulo 6 sección 1 •ASTM C33, •ASTM C136 	<ul style="list-style-type: none"> •Se debe cumplir con los requerimientos del ASTM C33 tanto agregado fino como grueso. •En los cuadros 1 y 2 se indican la granulometría para agregados finos y gruesos respectivamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Informe de Diseño de Mezcla. • Informe de Caracterización de material. • Sumittal de base y subbase aprobado. 	<p>En el informe presentado con el diseño de mezcla, viene incluido un análisis granulométrico de los agregados utilizados en la mezcla. Estos deben cumplir con lo dictado en el ASTM C33 y deben ser calificados como óptimos.</p>

Continuación de CUADRO 3. Herramientas y acciones por parte de Edica LTDA para el cumplimiento de la normativa recolectada para la construcción de pavimentos rígidos en aeropuertos.				
Calidad de los Materiales	<ul style="list-style-type: none"> •AC 150/5370 -10G, capítulo 6 sección 1 •CR-2018 	<p>Agua: Deberá cumplir con lo especificado en AASHTO T-26. El agua que se emplee para la mezcla o para el curado del pavimento deberá estar limpia y libre de aceites, ácidos, azúcar, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial para el pavimento terminado.</p> <p>Agregado Grueso: Pérdida por abrasión, AASHTO T-96. 50 % máximo.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Sanidad de los agregados gruesos utilizando sulfato de sodio (5 ciclos), AASHTO T-104. 18 % máximo. •Partículas con una o más caras fracturadas producto de la trituración (retenido malla N° 4). 50 %, mínimo. •Porcentaje que pasa por el tamiz N° 200, AASHTO T-11. 1.0 %, máximo. •Contenido de arcilla y partículas friables AASHTO T-112. 3 %, máximo. <p>Agregado Fino: Sanidad de los agregados finos, utilizando sulfato de sodio (5 ciclos), AASHTO T-104 (15% máximo).</p> <ul style="list-style-type: none"> •Equivalente de arena, AASHTO T-176, método de arbitraje (75 mínimo). •Porcentaje que pasa el tamiz N° 200, AASHTO T-11 (4 %, máximo). •Libre de materia orgánica o impurezas, según ensayo AASHTO T-21. •Contenido de arcilla y partículas friables AASHTO T-112 (3 %, máximo). <p>Cementos: de baja alcalinos (menos de 0,6% álcalis equivalentes, la opción baja reactividad en ASTM C595, o la opción R en la norma ASTM C1157) se especificarán cuando no se añaden otras medidas de mitigación. Deberá satisfacer los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico RTCR 479:2015.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Informe de Diseño de Mezcla • Informe de Caracterización de material • Sumittal del agregado y material de subbase 	<p>Como parte de los informes, tanto de diseño de mezcla como de caracterización de los agregados, se debe certificar la calidad y sanidad de los estos.</p> <p>El agua utilizada para la mezcla y curado de las losas de concreto es limpia y libre de agentes perjudiciales para el pavimento. Se utiliza agua potable para la mezcla como para el curado. No se permite el uso de cualquier material, solo se puede utilizar material previamente caracterizado y certificado por un laboratorio. En caso de que se cambie la fuente de material, se debe realizar todo el proceso de nuevo. No se permite arena de tajo para la realización de la mezcla.</p>

Continuación de CUADRO 3. Herramientas y acciones por parte de Edica LTDA para el cumplimiento de la normativa recolectada para la construcción de pavimentos rígidos en aeropuertos.				
Almacenamiento y manejo	<ul style="list-style-type: none"> •AC 150/5370 -10G, capítulo 6 sección 1 •ASTM C94 		<ul style="list-style-type: none"> •Control de las guías de concreto. •Control de la hora de llegada de los camiones al proyecto. 	<p>Dada la naturaleza del proyecto y la ubicación de este, no se almacenan cantidades importantes de material de agregados, esto porque se debe mantener limpia la zona de trabajo. El material se maneja de manera que los camiones entren en el proyecto, con la cantidad de material por colocar, se trabaja con el material necesario ya que, por condiciones de limpieza del proyecto, se debe minimizar el stock de material. Se maneja cantidades pequeñas y en los casos que requiera una mayor cantidad de material, los rellenos se programan en varios días con base en la capacidad de colocación del personal.</p> <p>En cuanto al concreto, este es premezclado y producido en planta, por lo que las mezcladoras móviles deberán llegar al proyecto con el sello de garantía metálico o de nylon que le colocan en planta. No se autoriza el descargue de concreto de los camiones que hayan estado más de 45 min esperando ser vaciados en el proyecto.</p>
Dosificación	<ul style="list-style-type: none"> •AC 150/5370 -10G, capítulo 6 sección 1 	<p>Las proporciones de mezcla recomendadas deberán ir acompañadas de los resultados de pruebas que demuestran que las proporciones seleccionadas producirán concreto de las cualidades indicadas, proporciones, depresiones, y contenido de aire adecuadas para el trabajo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> •Informe de Diseño de Mezcla. •Sumittal de diseño de mezcla aprobado. 	<p>Se cerciora que el diseño de mezcla sea aprobado por los diseñadores mediante un sumittal de aprobación del diseño de mezcla. Se compara con las especificaciones del diseño de mezcla.</p>

Continuación de CUADRO 3. Herramientas y acciones por parte de Edica LTDA para el cumplimiento de la normativa recolectada para la construcción de pavimentos rígidos en aeropuertos.					
Proceso de Mezcla y transporte		<ul style="list-style-type: none"> •AC 150/5370 -10G, capítulo 6 sección 1 •ASTM C94. 	<ul style="list-style-type: none"> •Camión mezclador utilizado para la mezcla y el transporte de hormigón deberá ajustarse a los requisitos de la norma ASTM C94. •La temperatura máxima del concreto producido con áridos calentados, agua calentada, o ambos, en ningún momento durante su producción o transporte debe exceder los 32 ° C. 	<ul style="list-style-type: none"> •Control de Acceso de Camiones al Aeropuerto. •Sellos de garantía de los camiones. 	<p>Por tratarse de camiones de entrega de concreto premezclado, no se posee un control directo sobre esto, ya que al subcontratar el servicio del premezclado de concreto es la empresa contratada la encargada de velar por estos factores. Sin embargo, para que el camión, al igual que el chofer, ingresen al proyecto, se asegura que cualquier camión que entregue el concreto debe cumplir con las normas especificadas en la sección 12.5 de la norma ASTM C94.</p> <p>Por otro lado, los camiones no son cargados a su capacidad total para que exista más espacios y una mejor mezcla y así minimizar la presencia de grumos.</p>
Colocación y consolidación	Topografía	<ul style="list-style-type: none"> •AC 150/5370 - 10G,501-5.2 Criterios de Aceptación de P-501 	<ul style="list-style-type: none"> •La desviación de línea de losas en una dirección no podrá variar más de 30mm. El nivel indicado en planos no deberá variar en ± 12 mm en el sentido vertical. 	<ul style="list-style-type: none"> •Especificación Técnica. •Documento de control RSIG-014-004. •Matriz de Calidad. 	<p>La empresa mantiene un control topográfico de niveles, desviaciones y pendientes durante todo el proceso de colocación del paquete estructural. Además, posee dos entidades exteriores a la empresa que se encargan de la inspección y colocación de los pavimentos. Además, se debe contar con la autorización de la inspección para poder seguir con la colocación del concreto. Se supervisa todo el proceso de colocación de manera que se garantice la correcta colocación del concreto, de acuerdo con lo que se dicta en la norma.</p>

Continuación de CUADRO 3. Herramientas y acciones por parte de Edica LTDA para el cumplimiento de la normativa recolectada para la construcción de pavimentos rígidos en aeropuertos.					
	Subrasante	<ul style="list-style-type: none"> •AC 150/5320 -6C, capítulo 3 sección 3 •ASTM D1557 •ASTM D2922 •AASHTO T99 	<ul style="list-style-type: none"> •La subrasante debe tener un CBR mayor a 3.5 y un grado de compactación mayor a 92%. 	<ul style="list-style-type: none"> •Informe de laboratorio CBR de material en sitio. •Prueba de Compactación en sitio. •Informe topográfico. 	<p>Una vez alcanzada la profundidad del paquete estructural se realizan pruebas de caracterización para determinar el CBR del material. En caso de que no se alcance el CBR necesario o se identifique un material no apto se debe excavar una mayor profundidad y sustituir por un material óptimo. Además, se realizan pruebas de compactación para determinar si la subrasante es la adecuada para el paquete estructural.</p>
	Relleno CBR 30 (Subbase granular P-154)	<ul style="list-style-type: none"> •AC 150/5320 -6C, capítulo 3 sección 3 	<ul style="list-style-type: none"> •En el caso del material utilizado como subbase, debe cumplir con la granulometría un CBR mayor a 10. Debe tener un nivel de compactación mayor 	<ul style="list-style-type: none"> •Informe de laboratorio Caracterización del material •Sumittal de material de subbase y base aprobado 	<p>El material utilizado para base y subbase es mandado para ser caracterizado y se envía a aprobación del diseñador. El material comprado solo puede ser de la zona y proveedor que posea la caracterización. De existir un cambio se debe realizar un nuevo ensayo de caracterización. En el momento de su colocación se revisan y guardan la guía de despacho del material para garantizar que lo entregado es lo solicitado. Se revisa que el material cumpla con lo especificado para ser colocado según su uso. Se coloca en capas de 20 cm y compacta mayor al 95%.</p>
	•Relleno CBR 80 (Base granular P-209)	<ul style="list-style-type: none"> •AC 150/5320 -6C, capítulo 3 sección 3 		<ul style="list-style-type: none"> •Informe de laboratorio 	

Continuación de CUADRO 3. Herramientas y acciones por parte de Edica LTDA para el cumplimiento de la normativa recolectada para la construcción de pavimentos rígidos en aeropuertos.					
	Base P-306 (toba concreto)	<ul style="list-style-type: none"> •ASTM D4318, C150 •AC 150/5370 -10G capítulo 4, sección 3		<ul style="list-style-type: none"> •Informe de laboratorio. 	<p>A pesar de ser un concreto con baja resistencia, se mantienen los cuidados de la colocación de losas de concreto de mayor resistencia. En cada colada debe presentarse un inspector de calidad que fiscalice el proceso que se está llevando a cabo, al final de la colocación del concreto, este debe realizar un informe donde declare los atributos positivos y negativos de elaboración de la losa del pavimento rígido.</p>
	Losa concreto P-501	<ul style="list-style-type: none"> •ASTM C150 AC 150/5370 -10G Capítulo 6, sección 1, CR-2010	<ul style="list-style-type: none"> •Vibradores se insertan en el hormigón a una profundidad que proporcionará la mejor consolidación de profundidad total, pero no más cerca del material subyacente de pulgadas (50 mm). No se aceptará ninguna vibración excesiva. 	<ul style="list-style-type: none"> •Informe de laboratorio. •Hoja de evaluación de calidad en campo durante la colada de concreto. 	<p>El material colocado debe ser el aprobado en los sumittal de diseño de mezcla. No se permite un material inferior a este. No debe existir un contacto entre los colocadores y el concreto, se usa una plataforma apoyada en los laterales de la formaleta para este fin. Además, en cada colada; debe presentarse un inspector de calidad que fiscalice el proceso que se está llevando a cabo, al final de la colocación del concreto, este debe realizar un informe donde declare los atributos positivos y negativos de elaboración de la losa del pavimento rígido.</p>

Continuación de CUADRO 3. Herramientas y acciones por parte de Edica LTDA para el cumplimiento de la normativa recolectada para la construcción de pavimentos rígidos en aeropuertos.					
Resistencia a la flexión y compresión		<p>•AC 150/5370 -10G, capítulo 6 sección 1</p>	<p>•La resistencia se verificará con especímenes (4 mínimo) moldeados durante el colado del concreto, correspondientes a vigas estándar compactadas, curadas y ensayadas según la norma AASHTO T-97. Deberán también, moldearse especímenes (4 mínimo) para el control de la resistencia a la compresión del concreto, según AASHTO T-22; y, además, se deberá establecer la correlación de la resistencia a la compresión con la resistencia a la flexotracción, del concreto utilizado en el pavimento.</p>	<p>•Informe de laboratorio.</p>	<p>La empresa mantiene un control constante sobre los resultados de las fallas a compresión en cilindros de concreto y a flexión en vigas a edades de 7, 14 y 28 días como lo dicta la norma. El seguimiento se hace mediante los informes presentados por el laboratorio y estos son compartidos y chequeados por personal de Edica y los encargados de la inspección. Los informes son guardados, tanto en físico como en una carpeta digital por el número de informe. En la descripción del informe se detalla el elemento y la ubicación de estos.</p>

Continuación de CUADRO 3. Herramientas y acciones por parte de Edica LTDA para el cumplimiento de la normativa recolectada para la construcción de pavimentos rígidos en aeropuertos.					
Colocación y alineamiento de dovelas	Dovela diámetro 30 mm	<ul style="list-style-type: none"> •ASTM A615 •ASTM 1078 •AC 150/5370 -10G Capítulo 6, sección 1 	<ul style="list-style-type: none"> •Deben fabricarse con barras lisas, libres de rebabas u otra deformación restrictiva para el libre movimiento dentro del concreto, deberán satisfacer la especificación AASHTO M 254, tipo A o B. •Se pintará la mitad de cada dovela con una capa de pintura, cuando esté seca, la mitad pintada se lubricará antes de colocarla, para evitar la adherencia. •Se fijarán rígidamente por medio de canastas de asiento u otros soportes aprobados, para evitar su desplazamiento. •Las dovelas se colocarán paralelas entre sí y al eje de la calzada. •Para evitar que el concreto se adhiera, la mitad de cada dovela deberá estar recubierta con una capa de algún elemento o sustancia lubricante, que impida la adherencia entre el acero y el concreto. •Para juntas de expansión, deberá colocarse un tubo de expansión pintado de cada dovela usada en las juntas de expansión (de 50 ± 5 mm). Dichos capuchones o camisas deben entrar ajustadamente en la barra. •El extremo cerrado será impermeable y dejará libre 25mm desde el extremo de la dovela. 	<ul style="list-style-type: none"> •Orden de compra. •Sumittal de dovelas. •Sumittal de pintura. 	<p>En el momento de la inspección, por parte de los diseñadores para la aprobación de la colocación del concreto, las dovelas deben estar colocadas en su sitio alineadas, pintadas, con grasa en las zonas donde se debe colocar y rectificadas, para poder contar con el visto bueno de la inspección. La empresa compra el material, las barras de acero de acuerdo con la especificación de la norma.</p>

Continuación de CUADRO 3. Herramientas y acciones por parte de Edica LTDA para el cumplimiento de la normativa recolectada para la construcción de pavimentos rígidos en aeropuertos.					
			<ul style="list-style-type: none"> •Juntas transversales de expansión: el relleno de expansión será continuo, de borde a borde. Se empleará una barra de instalación aprobada u otro dispositivo, para asegurar que el relleno tenga la fijación y alineación adecuadas durante la colocación y la terminación del concreto. •Las juntas terminadas no podrán desviarse en más de ¼ de pulgada (0,64cm) en la alineación horizontal de una línea recta. •Si los rellenos de las juntas se armaran por secciones, no debe haber desplazamientos radiales entre las unidades adyacentes. •No se admitirán tapones o rebabas de concreto en ninguna zona dentro del espacio de expansión. •La zona cortada con sierra se limpiará bien y se secará totalmente con aire comprimido, antes de la colocación del material de sellado. •En estos casos, todos los defectos que se detecten, tales como agrietamientos, desconche de juntas, desgaste prematuro de la superficie u otros, deberán ser reparados. En todo caso, la metodología de reparación deberá ser aprobada por el ingeniero antes de proceder con la reparación. •Ninguna junta transversal deberá construirse dentro de los tres metros de distancia de una junta de expansión o junta de contracción. Si no hubiese suficiente concreto mezclado para formar una losa que tenga por lo menos tres metros de longitud, al ocurrir la interrupción, deberá retirarse el concreto colocado atrás, hasta la última junta precedente. 		<p>Se monitorea la frecuencia de colocado con el fin de no generar juntas de construcción en un mismo paño, por lo que se planifica la colocación del concreto de forma continua. Se mantiene una constante comunicación con la concretera para que los camiones estén en el sitio al momento de terminar la descarga del anterior. Además, se mantiene esa comunicación para tener una rápida reacción en caso de una posible eventualidad. Todas las juntas deben ser cortadas de acuerdo con el tipo de pavimento rígido e inicialmente se deben cortar de 4 a 6 horas después del colado para evitar grietas con el corte Soft Cut, a una profundidad de T/4 donde T corresponde al espesor de losa.</p>
Juntas					

Continuación de CUADRO 3. Herramientas y acciones por parte de Edica LTDA para el cumplimiento de la normativa recolectada para la construcción de pavimentos rígidos en aeropuertos.					
Acabado y curado		<ul style="list-style-type: none"> •AC 150/5370 -10G, capítulo 6 sección 1 •CR-2010 	<ul style="list-style-type: none"> •El acabado final de la superficie consistirá en lograr una micro textura longitudinal áspera, que tenga una profundidad entre 3 y 6 milímetros, espaciadas no más de 19 mm. •La superficie deberá quedar exenta de áreas ásperas, porosas, irregulares y sin depresiones, y con un acabado parejo. •El acabado de textura rugosa debe ser transversal al eje del camino. •El curado deberá hacerse inmediatamente después del acabado final. Esta operación se efectuará aplicando en la superficie una membrana de curado a razón de un litro por metro cuadrado (1 L/m²), para obtener un espesor uniforme de aproximadamente un milímetro (1 mm), que deje una membrana impermeable y consistente de color claro que impida la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto fresco. •Su aplicación debe realizarse con irrigadores mecánicos a presión o por medio de aspersores manuales que garanticen la perfecta aplicación de la membrana en todas las caras expuestas de la losa vertical u horizontal. •En el caso de que durante la época de pavimentación se presenten vientos fuertes rasantes, combinados o no con temperaturas ambiente elevadas, se deberá proveer una doble capa de membrana de curado. •Durante el tiempo de endurecimiento del concreto, deberá protegerse contra acciones accidentales de origen climático, de herramientas o del paso del equipo o seres vivos. mencionadas. 	<ul style="list-style-type: none"> •Hoja de evaluación de calidad en campo posterior a colada de concreto. 	<p>Dentro del chequeo de control de calidad existe un ítem en el cual se verifica la colocación del curador sobre la losa, sin embargo, no posee una verificación del acabado final del pavimento rígido. Un mal acabado es motivo de demolición, según las políticas de la empresa se supervisa todo el proceso de colocación de manera que se garantice la correcta colocación del concreto de acuerdo con lo que se dicta en la norma. Además, en cada colada debe presentarse a la actividad un inspector de calidad que fiscalice el proceso que se está llevando a cabo y al final de la colocación del concreto este debe realizar un informe donde declare los atributos positivos y negativos de elaboración de la losa del pavimento rígido.</p>

Se identificó que no existe un registro, además de los informes de laboratorio que permita saber si en la posición donde se van a realizar los pad se realizaron las pruebas de compactación. Además, no se identificó ninguna herramienta que asista al ingeniero con la coordinación con los diferentes intermediarios para la construcción de los pavimentos rígidos.

Por otro lado, se identificó que a pesar de que existe un registro de las pruebas de laboratorio realizadas en las capas del paquete estructural y las resistencias a distintas edades de los concretos, el proceso de rastreo del informe es lento. Esto debido a la identificación de los informes, ya que esto solo es identificado con el número de informe y la fecha de ingreso al archivo que contiene.

III. Desarrollo de herramientas

Se determinó que una de las principales mejoras que se puede implementar es en el control posterior que consiste en el acceso a la información relacionada a cada paño. Con el uso de *Microsoft Excel* se realizó una herramienta de vinculación de las losas de concreto con los ensayos de control de calidad a paño.

La herramienta consiste en una cuadrícula donde se dibujan todos los pavimentos rígidos por construir, como se puede apreciar en la figura 2. En esta figura se pueden ver en blanco todos paños de concreto, mientras que los recuadros de color negro representan las áreas que no llevan ningún tipo de pavimento rígido.

En la figura 3, queda en evidencia el sistema de ubicación e identificación que se maneja; en donde en el eje horizontal se identifican con letras y en el eje vertical con números. Cada recuadro representa un paño de cinco metros por cinco metros. De manera que cada paño de 5 m x 5 m está identificado y ubicado por un número y letra.

Figura 2. Coordenadas completas de herramienta digital.

Fuente. Herramienta de control digital, propia.

		EDICA		CONSTRUCTORA		CONTROL DE PAVIMENTOS TIPO A Y B					
						PROYECTO: BLOQUE V					
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
15											
14											
13											
12											
11											
10											

Figura 3. Detalle de coordenadas de herramienta digital.

Fuente. Herramienta de control digital, propia.

- La herramienta posee distintas hojas, las cuales las contienen o se vincula con distintas:
- Mov Tierras- Rellenos General
 - Control Calle Bomberos
 - Control Pav General
 - Control Juntas

- Base de datos Concretos
- Base de datos Mov. Tierras

En todas las hojas existe información vinculada con las bases de datos, según la ubicación de las coordenadas alfanuméricas. La información de la base de datos se presenta mediante una ventana que se abre al pulsar y posicionarse en la celda de interés. La información varía según en la hoja en la que el usuario se encuentre.

En el caso de la hoja del control del concreto, la ventana que se despliega al consultar en una celda es la que se muestra en la figura 5. En esta se muestra el número de informe, la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, al igual que el número de informe para el módulo de ruptura. Esta información proviene de los ensayos realizados en los cilindros y vigas extraídos durante el proceso de colocación de concreto. Los ensayos corresponden a los descritos en el ASTM C78 para la resistencia a la flexión del concreto y ASTM T 22 para la resistencia de testigos cilíndricos de concreto de ser necesario.

Se coloca esta información, ya que son las correspondientes a los ensayos que se les realizan a las muestras frescas tomadas en campo.

En la figura 4 se puede observar la herramienta en funcionamiento, donde se escoge la celda I/19 y la información correspondiente a este paño aparece.

CONTROL DE PAVIMENTOS TIPO A Y B
PROYECTO: BLOQUE V

F	G	H	I	J
25-jun	#REF!	####	####	15-jun
25-jun	#REF!	####	####	18-jun
25-jun	#REF!	####	####	18-jun
####	####	####	####	18-jun
####	####	####	####	18-jun
####	####	####	####	18-jun

Información

Paquete Estructural tipo: A

Fecha de Colado: 5/3/2018

Número de Informe : 2095-2018

Resistencia a Compresión a 7 días (kg/cm2): 0

Resistencia a Compresión a 14 días (kg/cm2): 0

Resistencia a Compresión a 28 días (kg/cm2): 510

Proyección Resistencia a Compresión a 28 días (kg/cm2): 510

Número de Informe : 2096-2018

Módulo de Ruptura a 7 días (kg/cm2): 0

Módulo de Ruptura a 14 días (kg/cm2): 0

Módulo de Ruptura a 28 días (kg/cm2): 58.7

Proyección Modulo de Ruptura a 28 días (kg/cm2): 58.7

Figura 4. Herramienta en funcionamiento con la información para pavimentos de concreto P-501.

Fuente. Herramienta de control digital, propia

Información

Paquete Estructural tipo: B

Fecha de Colado: 6/15/2018

Número de Informe : 2950b-2018

Resistencia a Compresión a 7 días (kg/cm2): 353

Resistencia a Compresión a 14 días (kg/cm2): 0

Resistencia a Compresión a 28 días (kg/cm2): 497

Proyección Resistencia a Compresión a 28 días (kg/cm2): 497

Número de Informe : 2954a-2018

Módulo de Ruptura a 7 días (kg/cm2): 49.9

Módulo de Ruptura a 14 días (kg/cm2): 0

Módulo de Ruptura a 28 días (kg/cm2): 51.7

Proyección Modulo de Ruptura a 28 días (kg/cm2): 51.7

Figura 5. Ventana de información para la hoja de concreto P-501.

Fuente. Herramienta de control digital, propia

Para la hoja de movimiento de tierra la función es la misma, selección de una celda y la ventana emerge con la información relacionada a esa losa. Sin embargo, la información que se muestra es distinta, es la información de la compactación por capas de cada material que conforma el paquete estructural. Asimismo, se implementa un medidor de avance del movimiento de tierra basado en los ensayos realizados y según el paquete estructural. Esto permite saber si una zona de pavimentos de hormigón está chequeada y lista para que se prosiga con la colocación del concreto.

Figura 6. Ventana de información para la hoja Mov. De Tierra.

Fuente. Herramienta de control digital, propia

Como se muestra en la figura 6, la información que arroja es el porcentaje de compactación que posee cada capa, según el material colocado. En la figura 7 se puede observar la herramienta en función.

Figura 7. Ventana de información para la hoja Mov. De Tierra en funcionamiento.

Fuente. Herramienta de control digital, propia

Por último, en la hoja de control de corte y estado de juntas, se desarrolla con el fin de generar una manera gráfica de definir el estado de los cortes en los pavimentos rígidos. Esta funciona según el color de los bordes de cada

cuadro que representa los pads. Según el estado de la junta, cambia el color del borde de la celda. Al pulsar click en la celda de interés se genera una ventana como se muestra en la figura 8. En esta se muestra una ilustración de los límites del pad elegido en cuatro direcciones (norte, sur, este, oeste).

Figura 8. Ventana de la herramienta digital correspondiente a la hoja de control de corte.

Fuente. Herramienta de control digital, propia

En la figura 9, se muestran los estados que el usuario puede elegir. Según el estado elegido cambia el color del borde de la celda.

Figura 9. Lista de opciones de la ventana de la herramienta digital correspondiente a la hoja de control de corte.

Fuente. Herramienta de control digital, propia

Los códigos de colores responden a la figura 10, mientras que la ventana en la cual se puede elegir está la de las cuatro juntas que rodean el paño, que se puede observar en la figura 8.



Figura 10. Código de colores para los estados de las juntas de

Fuente. Herramienta de control digital, propia

Por otro lado, las listas de verificación fueron modificadas de forma tal que se mantuviera el formato existente. En la sección Apéndices se puede observar ejemplos de las listas empleadas en los distintos paquetes estructurales. En la figura 28 y figura 29, se muestran los resultados de las modificaciones realizadas en las hojas.

IV. Manual técnico para la construcción de los pavimentos rígidos

Se genera un manual técnico basado en los procesos descritos en la Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010 y en la AC 150/5370-10G, *Standards for Specifying Construction of Airports* Además, para los procesos constructivos se utiliza de base los diagramas mostrados en la sección de Anexos. El manual se muestra en el Apéndice 3.

V. Implementación de las herramientas

Se procedió con la implementación de las herramientas de generadas durante el desarrollo de estas prácticas profesional, la implementación se realizó mayormente en las Posición 19 y Calle de Servicio. En los Apéndices 1 y 2 se muestra un ejemplo de las listas implementadas en cada una de las zonas.

A continuación, se procede a mostrar imágenes del proceso donde se implementó la herramienta, el cual corresponde a la colocación del concreto P-501. En estas imágenes se puede ver los subprocesos que conforman la colocación del concreto, desde la colocación de la formaleta hasta el acabado y corte de las losas.

La verificación del corte y colocación del curador corresponde la hoja de evolución de campo de posterior a la colección de concreto, existente de la empresa.



Figura 11. Sistema de formaleta y dovelas para la chorrea de concreto P-501 de los pavimentos rígidos.

Fuente. Fotografía propia



Figura 12. Colocación de dovelas en el sistema de formaleta e inspección previa a la colocación del concreto.

Fuente. Fotografía propia



Figura 13. Colocación de grasa en dovelas que no poseían momentos antes de la chorrea.

Fuente. Fotografía propia



Figura 14. Dovelas correctamente engrasadas, en canasta para juntas de contracción transversales.

Fuente. Fotografía propia



Figura 17. Uso del codal vibratorio para la superficie del pavimento tipo A.

Fuente. Fotografía propia



Figura 15. Inicio de colocación de concreto, en pavimento tipo B.

Fuente. Fotografía propia



Figura 18. Colocación y vibrado de concreto en pavimento tipo A, utilizando el puente.

Fuente. Fotografía propia



Figura 16. Inicio de colocación de concreto, en pavimento tipo A, sin puente para el vibrado y colocación del concreto.

Fuente. Fotografía propia



Figura 19. Uso del codal vibratorio y el puente de colocación, en pavimento tipo A.

Fuente. Fotografía propia



Figura 20. Uso del codal vibratorio y el puente de colocación, en pavimento tipo A.

Fuente. Fotografía propia



Figura 23. Cilindros y vigas de muestras para las pruebas de laboratorio de resistencia a compresión y flexión.

Fuente. Fotografía propia



Figura 21. Acabado mediante el paso de la flota, simultaneo a la colocación de concreto.

Fuente. Fotografía propia



Figura 24. Medición de la temperatura del concreto, lectura de 30.8 C.

Fuente. Fotografía propia



Figura 22. Proceso de rayado de la superficie de los pavimentos rígidos.

Fuente. Fotografía propia



Figura 25. Vibración inadecuada (arrastre de material con el vibrador).

Fuente. Fotografía propia



Figura 26. Aplicación de curador sobre la superficie acabada mediante bomba manual.

Fuente. Fotografía propia



Figura 27. *Soft cut* en junta transversal, posterior al rayado de la losa.

Fuente. Fotografía propia

EDICA CONSTRUCTORA		Evaluación de Calidad en Campo				
Evaluación Durante la Colocación de Concreto						
FECHA:		FECHA DE COLADO:				
NOMBRE DEL PROYECTO:		CANTIDAD DE m3 COLOCADOS :				
NOMBRE DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL A REVISAR:						
Cantidad de Paños a colar (7 máximo):						
Ubicación de los Paños Ejes:						
Tipo de Paquete Estructural:						
Descripción		Responsables que ejecutan y revisan				
Pruebas de laboratorio		Número de Camiones		Resultados		
<input type="checkbox"/> Asentamiento a todos los camiones mezcladores						
<input type="checkbox"/> Medir temperaturas del concreto al inicio de la descarga						
Encargados de Colado		Nombre		Firma		
Técnico a cargo de los ensayos						
Encargado de la supervisión de calidad (Piasa)						
Supervisor de colocación (Edica)						
Colocadores de concreto						
Lista de tareas a verificar		Detalle		Estado		Firma
<input type="checkbox"/> Revisión previa al colado y corrección de imprevistos						
<input type="checkbox"/> Superficie limpia						
<input type="checkbox"/> Dovelas colocadas, alineadas y engrasadas						
<input type="checkbox"/> Revisión de los tiempos de salida, llegada a la obra e inicio descarga (Hoja #2)						
<input type="checkbox"/> Revisión de niveles guías metálicas						
<input type="checkbox"/> Colocación y uso de puente para colado						
<input type="checkbox"/> Revisión de vibrado de forma vertical @ 40 cm, duración por punto < 20 s						
<input type="checkbox"/> En orillas con angular, revisión de su adecuada colocación						
<input type="checkbox"/> En orillas con angular, revisión de vacíos en angular						
<input type="checkbox"/> Paso de codal para nivelación						
<input type="checkbox"/> Paso de codal vibratorio						
<input type="checkbox"/> Chequeo de niveles de la colada en estado fresco (colocador)						
<input type="checkbox"/> Acabado de superficie con Flota						
<input type="checkbox"/> Acabado de orillas perimetrales						
<input type="checkbox"/> Rayado de concreto en la dirección correspondiente						
Condiciones Adversas		Acción realizada				
<input type="checkbox"/> Se presentó lluvia significativa						
<input type="checkbox"/> Presencia de rafagas de viento						
<input type="checkbox"/> Concreto con temperaturas mayores a 32 °C						
<input type="checkbox"/> Imprevistos con la planta de concreto						
Nota 1 : En caso de los ítems que no apliquen colocar un NP (no procede)						

Figura 27. Lista de verificación durante el proceso de colado de concreto.

Fuente. Elaboración propia

EDICA CONSTRUCTORA		Evaluación de Calidad en Campo		
Evaluación Previa a Colocación de Concreto				
FECHA:		FECHA DE COLADO:		
NOMBRE DEL PROYECTO:				
NOMBRE DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL A REVISAR:				
Descripción		Responsables que ejecutan y revisan		
Lista de Brigada y Coordinación		Nombre	DETALLE	Firma
Coordinación Previa				
Coordinación con Aeris (Operaciones)				
Capacidad de servicio de la conretera				
Mano de obra para la colocación del concreto				
Coordinación con los responsables de salud ocupacional				
Coordinación con los responsables de inspección de calidad				
Coordinación con encargados de pruebas de control de calidad				
Pruebas Anteriores		Cumple	No cumple	Notas
Chequeo de Compactación de Subrasante				
Chequeo de Compactación de Sub Base (CBR 30)				
Chequeo de Compactación de Base (CBR 80)				
Resistencia a la compactación a 7 días, Tobaconcreto P-306				
Brigada de trabajo				
Materiales y Equipo		Encargado		
Palas				
Vibradores (al menos dos)				
Puente de colocación				
Codales de vibración				
Codales				
Herramientas de mano, corte alambre , martillo , cinta metrica, Etc.				
Grasa para dovelas				
Retardante				
Curador				
Disco de corte para Concreto				
Flota				
Rayador o rabillo				
Llanetas y espátulas				
Geotextil				
Malla para viento				
Plástico				
Brigada de trabajo				
Colocadores de concreto (al menos 10 personas)				
Maestro de obras o encargado de cuadrilla				
Técnico del Laboratorio				
Formaleteros				
Auxiliar de seguridad				
Escolta de camiones				
Todo los permisos al día				

Figura 28. Lista de brigada de trabajo para la construcción de los pavimentos rígidos.

Fuente. Elaboración propia

Análisis de los resultados

Luego de la recolección de información y normativas en entidades como Aviación Civil, las empresas encargadas de la construcción y diseño de los pavimentos rígidos para las plataformas, Edica LTDA., y Piasa SA., respectivamente; se determina que no existe un código nacional desarrollado para la construcción de pavimentos rígidos para aeropuertos. Por lo que se debe recurrir al Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010 y a las circulares emitidas por la Federación Americana de Aviación (FAA) para solventar esta carencia de normativa específica.

Basado en la experiencia adquirida durante el proceso de desarrollo de la práctica profesional y la investigación de la normativa realizada, se observa que ambas normas poseen prácticas similares con relación a la construcción de este tipo de infraestructura y un amplio abarcamiento de los puntos necesarios para garantizar la calidad de los pavimentos. Ambas normas proponen requisitos de construcción y con especificaciones similares. De manera que se complementan y no son excluyentes una con otra.

Por ejemplo, ambas normas destacan cómo la granulometría de los agregados finos y gruesos debe cumplir con lo estipulado en la norma ASTM C33. Estas granulometrías se muestran en los cuadros 1 y 2 en la sección de marco teórico. Además, en ambas normas se encuentran que la temperatura del concreto es un limitante de colocación. Esta no puede ser mayor a 32 C, de lo contrario no se permite su colocación.

Otro ejemplo es en el proceso y equipo de vibración del concreto. En ambas normas se pide un equipo con una potencia mínima de 5000 RPM y su radio de acción debe ser mayor a 30 cm de diámetro. La vibración debe de realizarse de forma vertical y con espaciamientos donde se cubra toda el área de la losa de concreto.

Asimismo, no se permite el exceso de vibrado, por lo que en ambas normas está prohibido colocar el concreto con el vibrador, "arrastrándolo" con la vibración. También en términos de acabado, ambas normativas piden una superficie homogénea sin valles o montículos y la fricción que genere debe ser la adecuada para el tránsito.

Esta homología entre la norma local y las especificaciones extranjeras permite una satisfacción de las especificaciones, tanto nacionales como internacionales. Esto resulta de gran beneficio para los administradores del aeropuerto, ya que dentro de los certificados que debe poseer se encuentra el RAC 139 que faculta al aeropuerto para poder operar y recibir vuelos nacionales e internacionales. El cual es brindado por Aviación Civil y evalúa, dentro de otros aspectos, el estado de los pavimentos y su calidad para la operación adecuada del aeropuerto. De no poseer este certificado, el aeropuerto no podría operar de manera actual, por lo que la calidad y correcta construcción de estos elementos debe ser indiscutible.

Asimismo, se estima que el sistema de gestión de calidad cumple con el ciclo de descrito como PHVA por la norma ISO 9001:2015. Esto debido a que la construcción de los pavimentos son planeadas, coordinadas, ejecutadas, verificadas mediante controles de calidad y de ser necesario intervenidas.

Esto lleva a una evaluación de los controles de calidad y de las acciones de la empresa para cumplir con dichas normas; el cuadro 3 cumple con este propósito. Además, la evaluación ayuda a identificar las oportunidades de mejoras dentro de los controles utilizados y permite tener un diagnóstico de las áreas controladas.

El diagnóstico realizado favorece en la mayor parte a la empresa ya que se cubre una totalidad de las áreas evaluadas, como se muestra en el cuadro 3. Evidenciando que la

ejecución de su sistema de gestión de calidad es satisfactoria y mostrando que mantiene un control sobre las actividades subcontratadas por parte de la empresa.

Tal es el caso del concreto premezclado, ya que, pese a no poseer una herramienta directa para el control sobre el proceso de realización de la mezcla, poseen documentación que garantiza el producto colocado e implementado en los elementos construidos. Además, mediante la aprobación de los sumitales la empresa hace partícipe a los diseñadores de la aprobación de los materiales utilizados, generando una satisfacción de la calidad de estos, tanto con los diseñadores como del cliente.

Sin embargo, al implementar, en las visitas realizadas, las herramientas existentes de control del proceso de colocación del concreto utilizadas por la empresa, se identifican oportunidades de mejoras. Ya que existen procesos que quedan por fuera de la evaluación de estas herramientas. Como por ejemplo el uso del puente que para colocar el concreto y evitar alteraciones en la mezcla, el vibrado, el acabado con la flota y rayado de concreto. Esto se debe a que la herramienta utilizada por la empresa se centra en el monitoreo de la frecuencia de colado, duración de la colocación y tiempo de espera de los camiones para evitar la generación de juntas frías o la devolución del material. El resto del proceso queda a responsabilidad de los encargados, ingenieros y maestro de obras, de la construcción del pavimento.

Se considera que la lista de verificación realizada en este proyecto, brinda una herramienta a los encargados para no omitir procesos que repercuten directamente en la calidad del elemento. Esta lista fue realizada con la idea de guiar a ingenieros o encargados con poca experiencia en el proceso de construcción.

Al implementar las listas de verificación propuestas, se logró observar procesos erróneos y prácticas inadecuadas, realizadas por los colocadores del concreto. Por ejemplo, el exceso de vibrado al arrastrar el concreto con el vibrador. En la figura 25, de la sección de resultados, se muestra cómo un constructor se encuentra "jalando" el concreto con el fin de acomodarlo de una mejor manera. Esto es un inadecuado uso del vibrador, dado que puede generar una segregación de los agregados en la mezcla, alterando significativamente la calidad del

pavimento e inclusive perjudicando la resistencia del material colocado.

Este tipo de error es detectado gracias a que en la herramienta desarrollada se indica la manera correcta de vibrado y permite la detención de este tipo de irregularidades.

Asimismo, en la figura 13 se observa un operario untando de grasa la mitad de las dovelas en una canasta. Esta fotografía fue tomada luego de que se identificó que las dovelas no poseían grasa en su superficie, como es requerido. Este proceso suele ser omitido por los operarios encargados de la colocación de las dovelas debido al alto ritmo y volumen de trabajo. Por lo que el proceso de revisión indicado en la lista propuesta de evaluación, durante la colocación del concreto, resulta una manera para determinar estas omisiones. Es importante mencionar que este tipo de omisiones eran frecuentes, por lo que incluir esta revisión en la modificación, resultó de gran utilidad.

También, mediante la implementación de la lista propuesta, se mejora el control del uso del puente para colocación y vibrado del concreto. Este puente es utilizado para que las propiedades del concreto se mantengan lo más intactas y cómo provienen de la planta, de esta manera generar un mejor rendimiento del concreto y por ende una mayor calidad. En ocasiones no se utilizaba por omisión de los colocadores o por comodidad, ya que el uso del puente implica la movilización de este y no suele ser tan sencillo. Como se muestra en las figuras 15, 16 y 17, se observan los procesos de descarga de concreto, vibración y colocación del concreto y paso del codal vibratorio con la falta del uso del puente lo cual no debería suceder. Una vez implementada la lista de verificación se corrige estas situaciones como se muestra en las figuras 18 y 19.

Otro proceso en el cual se identificó mejoras es la aplicación del curador. Dado a la duración de la práctica, no se implementó una mejora en el proceso, sin embargo, se determina que este proceso representa una oportunidad de mejora. Ya que, de acuerdo con la norma, existe una cantidad mínima de 1 L/m² que no se está garantizado por la forma de aplicación del curador. La manera de aplicación consiste en una bomba de rocío, manual, que es operada por un peón y este aplica el rocío a lo largo de la superficie, como se muestra en la figura 26.

Una manera de mejorar este proceso, sería medir la cantidad de bombeos necesarios

para esparcir un litro sobre un metro cuadrado y luego extrapolar para los 25 m² que poseen los paños de concreto. No obstante, esta solo es una solución teórica, es decir no se ha probado si funciona y garantiza la razón exigida por la norma.

Por otro lado, un beneficio alcanzado mediante la implementación de la lista de brigada de trabajo fue la detención temprana de equipo defectuoso. Este fue el caso de la hoja mostrada en el apéndice 3, donde se identificó que el codal vibratorio no funcionaba un día antes de la colada, por lo que permitió una ventana de tiempo para poder intervenir y lograr la sustitución del equipo dañado.

Este tipo de identificaciones tempranas permite que el proceso de colocación sea mucho más fluido, minimizando las posibilidades de devolución de camiones y de imprevisto que atrasen la construcción de los pavimentos.

Dentro de la lista de verificación propuesta para los procedimientos durante la colocación del concreto, se incluyen mejoras que corresponden a una identificación del tipo de capa estructural del pavimento en construcción, una verificación de las cantidades y ubicación de paños por construir, los pasos pertenecientes a los procesos de construcción del pavimento rígido. Asimismo, se incorpora un registro de acciones en caso de alguna eventual situación adversa o perjudicial para el proceso de colocación de concreto.

Esto con el fin de solucionar una carencia de la evaluación de campo, ya que a pesar de que se prestaba un especial control a esos pasos; no se detallaba en un registro, y el único respaldo que se registraba era los tiempos y frecuencia de colado. Con esta propuesta de lista de verificación permite generar un registro del proceso y su adecuada ejecución.

Además, al implementar la lista de brigada de trabajo genera una herramienta que cumple con el fin de servir como guía, para nuevos encargados, en la preparación y coordinación de colocación del concreto. Esto debido a que el personal de Edica está altamente capacitado y familiarizado con el proceso, mientras que un nuevo integrante puede dificultarle el proceso de adaptación y familiarización del proceso. Por lo que se propone la lista de brigada como una guía para los futuros encargados que no posean una experiencia basta

en el procedimiento de coordinación de colocación de concreto.

Con el implemento de esta lista, se logró observar una mejora en la programación de la colocación de concreto, así como una mejor noción de la realización de los ensayos en las capas anteriores, además, de las detenciones de equipos defectuoso anteriormente mencionado.

Cabe mencionar que, en el momento de finalizar la práctica profesional, no se indicó si las herramientas propuesta iban a ser tomadas como parte del sistema de gestión de calidad o solo como controles internos en el proyecto.

Por otro lado, se identificó que el acceso a la información de los ensayos presentaba una oportunidad de mejora importante. Como parte de todo sistema de gestión de calidad, el rastreo de información y registros de los procesos son de vital importancia. Esto debido a que representan el respaldo, de que el procedimiento se realizó de acuerdo con las especificaciones. Además, el tiempo de resteo es un factor de sumo valor en cualquier operación. De manera que una mejora implementada que reduzca el tiempo de búsqueda de un informe para vincularlo a una losa en específico resulta una mejora atractiva.

Por lo que la herramienta digital brindó un acceso de una manera gráfica y velocidad al acceso de información y resultados de las pruebas de laboratorio. Una vez implementado la herramienta se observó una mejor en las accesibilidad y vinculación de información. Se reduce el tiempo de búsqueda por lo que se maneja la información a la mano en caso de ser necesitada. Se maneja de una manera más ordenada la información relacionada con las pruebas de laboratorios y sus respectivos informes. Asimismo, se genera un control del corte y de estado de juntas. Esta herramienta por sencilla que luzca su potencial, dado a que se puede determinar frentes de trabajo y espacios en los que se puede manejar y planificar el avance de las obras. Además, al ser una herramienta gráfica, se puede apreciar mejor y una manera clara el avance del proyecto en temática de construcción de infraestructura.

Limitaciones de la herramienta digital

- Al ser una herramienta de registro de información y vinculación, está limitada a los datos que se le ingresen en la base de datos. Por lo que en caso de que la

- información es errónea, la herramienta arrojará datos falsos o errados
- No se tiene parámetros de indicación cuando un concreto está por debajo de lo que especifica la norma, esto puede ser una mejora futura para esta herramienta.
 - Parte del hecho que el usuario conoce las ubicaciones de las cuadrículas y se familiariza con las zonas y los pavimentos de cada zona.

El manual técnico para la construcción se realizó en respuesta de la solicitud de la empresa. Pese a poseer una amplia experiencia en la construcción de estos elementos, no poseen un manual interno para la construcción de los pavimentos rígidos. La empresa cuenta con un paso a paso de la construcción de pavimentos rígidos donde se explica brevemente el proceso de construcción. Si embargo se realiza un manual técnico basado en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010 y en la AC 150/5370-10G, *Standards for Specifying Construction of Airports* así como en las especificaciones de los diseñadores y la experiencia adquirida durante el desarrollo de este proyecto. Además, se utilizan los diagramas de flujos anteriores, una vez evaluados y actualizados, de trabajos anteriores realizados para la empresa Edica LTAD.

Esto con el fin de brindarle a la empresa una herramienta de capacitación para nuevos empleados o subcontratistas que no están familiarizados con el proceso de construcción de los pavimentos.

En el manual se discute desde equipo, materiales utilizados, los distintos tipos de pavimentos rígidos, la fase previa, durante y posterior a la colocación del concreto con detalle. Además, se indica condiciones y aspectos que se deben evitar en el proceso de construcción, entre otros aspectos de importancia.

Conclusiones

El desarrollo de este proyecto fue de gran ayuda para la empresa ya que generó una actualización y mejoras para un modelo de inspección y de control de calidad existente. Mediante las herramientas desarrolladas se logra ver una mejora en el manejo de la información y se le brinda a la empresa herramientas para la capacitación y guía del personal. A continuación, se discuten las conclusiones por objetivo:

1- Se concluye que la empresa Edica LTDA. rige sus procesos constructivos, de inspección y de control de calidad en el cumplimiento de las especificaciones de diseño, la AC 150/5370-10G Standards for Specifying Construction of Airports y el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010; al no existir un código nacional específico para la construcción de obras en aeropuertos. Asimismo, se basa en las normas ASTM A615, C94, C33, C136, entre otras; para la aceptación de los materiales utilizados en la construcción de los pavimentos rígidos.

2- Se destaca que la empresa basa su matriz de calidad en normas internacionales, las cuales regulan materiales que no necesariamente representan las propiedades de los materiales que se encuentran en el país.

Existen normas nacionales desarrolladas por el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) que equivalen a las normas ASTM pero para los materiales característicos de Costa Rica. Además, al ser una normativa nacional posee un peso legislativo mayor que las normas internacionales.

Una actualización e implementación de estas normas (INTECO) en la matriz de calidad permitiría a la empresa poseer rangos de aceptación más reales a los materiales que se pueden encontrar en nuestro país.

En el apéndice 4 se puede observar un cuadro de correlación entre las normas ASTM e INTE.

3- Se demostró que los procesos realizados por la empresa abarcan con éxito las aéreas de control de calidad propuestas por la FAA en la AC 150/5370-10G. Cumplen con las especificaciones de la normativa y es en el manejo y vinculación de información con los elementos donde se encuentra la oportunidad de mejora más grande del sistema de calidad.

4- Al existir un modelo de rastreo lento y complejo de los resultados de los ensayos de laboratorio de los pavimentos rígidos, la herramienta digital propuesta generó un modelo gráfico de ubicación de las losas de concreto y la información de los controles de calidad de cada uno. Mejorando la trazabilidad de la información correspondiente a cada uno de los pavimentos construidos. Asimismo, se disminuye el tiempo que se debe invertir para el rastreo de información y se brinda un acceso veloz a los resultados de los ensayos de laboratorio.

Esto agiliza el acceso a la información y permite una mejor ubicación espacial de las losas y una rápida identificación en caso de existir una anomalía.

No obstante, esta herramienta depende directamente de los datos ingresados por lo que resulta de vital importancia un control preciso de la información que se maneje y una correspondencia entre la información que se brinda en los ensayos y las ubicaciones dadas para los datos del laboratorio.

5- Se logra satisfacer la solicitud de la empresa de un manual técnico para la construcción de pavimentos rígidos. Este cumple con la misión de brindarle a la empresa una herramienta de capacitación específica para la mano de obra o bien nuevo personal encargado

de la construcción de pavimentos rígidos, que no estén familiarizados con el proceso constructivo.

6- Con base en lo desarrollado en este proyecto, se concluye que sí se genera un mejoramiento de las herramientas de control de calidad para la construcción de pavimentos rígidos, esto mediante la implementación de las listas de verificación. Gracias a estas se logra observar mejoras dentro del proceso constructivo, como el vibrado del concreto, revisión de las dovelas, detención de irregularidades previas al inicio del colado de las losas de concreto, defectos de equipo, entre otros.

Recomendaciones

A continuación, se brinda una serie de recomendaciones producto del proyecto desarrollado, la información recopilada y la experiencia adquirida:

- 1- Se recomienda la actualización e incorporación en la matriz de calidad de las siguientes normas nacionales INTECO:
 - INTE C400:2017: Requisitos para barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto.
 - INTE C14:2018 Concreto hidráulico premezclado. Requisitos
 - INTE C15:2018. Agregados para Concreto.
 - INTE C46:2016. Concreto. Análisis granulométrico en tamices de agregado fino y grueso. Método de ensayo
- 2- Además, solicitar que los subcontratos del concreto y del laboratorio cumplan con la normativa INTE en los respectivos ensayos y procedimientos relacionados al concreto y materiales colocados en el pavimento rígido.
- 3- La herramienta digital posee un gran potencial de mejora, se pueden programar parámetros de resistencias con los cuales se pueda indicar si la proyección de los resultados de las pruebas está por debajo de lo esperado y debe ser demolido. Asimismo, se puede utilizar en otro tipo de estructura agregando funciones que ayuden a medir el control de avance de la obra, entre otras posibilidades. Por lo que se recomienda que se dé seguimiento a la herramienta y su a las mejoras de manera continua.
- 4- Se recomienda que las listas de verificación propuestas en este proyecto sean utilizadas siempre que exista la actividad de construcción de pavimentos rígidos. Es decir, que sea un control constante y presente en todas las construcciones de las losas.
- 5- Del mismo modo se recomienda que las herramientas sean utilizadas e implementadas por personal del cuerpo de ingeniería de la empresa y que se encuentre muy actualizado en el avance del proyecto, así como en la identificación de las obras.
- 6- Se recomienda la implementación de las herramientas desarrolladas en otros proyectos parte del sistema de gestión de calidad de la empresa. De manera que se implemente las mejoras desarrolladas durante este documento.
- 7- Difundir el manual en la cuadrilla que va a participar de la construcción de los pavimentos rígidos, de manera que la experiencia se complemente con el conocimiento de las buenas prácticas de construcción y así formar cuadrillas capacitadas y minimizar los fallos producto de desconocimiento del proceso de construcción.
- 8- En este proyecto no se abarca el proceso de demarcación de las losas de concreto, ya que es amplio con estrictas especificaciones y protocolos. Se recomienda la elaboración de un proyecto que investigue más sobre este proceso de demarcación y pueda culminar en un manual y sus especificaciones.
- 9- Esta investigación es cualitativa, por lo que resultaría de interés el desarrollo de un proyecto que cuantifique la efectividad de las listas de verificación propuestas e implementadas en este proyecto.

Apéndices

Apéndice 1. Ejemplos de hoja de verificación para el proceso durante la colocación.

Apéndice 2. Ejemplos de hoja de brigada trabajo para la construcción de pavimentos rígidos.

Apéndice 3. Manual técnico para la construcción de pavimentos rígidos.

Apéndice 4. Tabla de correlación de las normas internacionales ASTM y nacionales INTECO.

Apéndice 1

Ejemplo de hoja de verificación para el proceso durante la colocación.



Evaluación de Calidad en Campo

Evaluación Durante la Colocación de Concreto

FECHA: 28/08/2018		FECHA DE COLADO: 30/08/2018				
NOMBRE DEL PROYECTO: Pos. 20 (Bloque V)		CANTIDAD DE m3 COLOCADOS :				
NOMBRE DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL A REVISAR: Pavimento rígido en Posición 20, colindante a muro Coopesa						
Cantidad de Paños a colar (7 máximo): CUATRO PAÑOS EN SENTIDO NORTE-SUR						
Ubicación de los Paños Ejes: ENTRE EL EJE 19 Y 16 SOBRE EL EJE A (A/19-16)						
Tipo de Paquete Estructural: TIPO A						
Descripción		Responsables que ejecutan y revisan				
Pruebas de laboratorio		Número de Camiones	Resultados			
<input type="checkbox"/>	Revenimiento a todos los camiones mezcladores	C85,C116,C93,C90	14.5	15	14.5	13
<input type="checkbox"/>	Medir temperaturas del concreto al inicio de la descarga	C85,C116,C93,C90	30	29.5	29.5	29.5
Encargados de Colado		Nombre		Firma		
Técnico Acargo de las Pruebas		Alejandro Alvarez				
Encargado de la supervisión de calidad (Piasa)		Ing. Adrian Quiros				
Supervisor de colocación (Edica)		Andrés Espinoza				
Colocadores de concreto		Concretico				
Lista de tareas a verificar		Detalle	Estado	Firma		
<input type="checkbox"/>	Revisión previa al colado y corrección de imprevistos	Realizada por el Ing. Adrian Quiros	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Superficie limpia	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Dovelas colocadas, alineadas y engrasadas	Se debió engrasar al momento del colado	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Revisión de los tiempos de salida, llegada a la obra e inicio descarga (Hoja #2)	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Revisión de niveles guías metálicas	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Colocación y uso de puente para colado	No se utilizó el puente de colocación	No Cumple			
<input type="checkbox"/>	Revisión de Vibrado de forma vertical @ 40 cm, duracion por punto < 20 s	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	En orillas con angular, revision de su adecuada colocacion	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	En orillas con angular, revision de vacios en angular	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Paso de codal para nivelación	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Paso de codal vibratorio	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Chequeo de niveles de la colada en estado fresco (colocador)	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Acabado de superficie con Flota	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Acabado de orillas perimetrales	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Rayado de concreto en la direccuón correspondiente	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
Condiciones Adversas		Acción realizada				
<input type="checkbox"/>	Se presentó lluvia significativa	NA				
<input type="checkbox"/>	Presencia de rafagas de viento	Se colocó una barrera de zaran, evitando el choque directo				
<input type="checkbox"/>	Concreto con temperaturas mayores a 32 grados	NA				
<input type="checkbox"/>	Imprevistos con la planta de concreto	NA				
Nota 1 : En caso de los ítems que no apliquen colocar un NP (no procede)						



Evaluación de Calidad en Campo

Evaluación Durante la Colocación de Concreto

FECHA: 18/09/2018		FECHA DE COLADO: 19/09/2018				
NOMBRE DEL PROYECTO: Calle Vehicular (Bloque V)		CANTIDAD DE m3 COLOCADOS :				
NOMBRE DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL A REVISAR: Pavimento rígido en Calle Vehicular						
Cantidad de Paños a colar (7 máximo):		CINCO PAÑOS EN SENTIDO NORTE-SUR				
Ubicación de los Paños Ejes:		ENTRE EL EJE 11 Y 17 SOBRE EL EJE M (M/11-17)				
Tipo de Paquete Estructural:		TIPO B				
Descripción		Responsables que ejecutan y revisan				
Pruebas de laboratorio		Número de Camiones	Resultados			
<input type="checkbox"/>	Asentamiento a todos los camiones mezcladores	C85,C116,C93,C90	12.5	15	14.5	13
<input type="checkbox"/>	Medir temperaturas del concreto al inicio de la descarga	C85,C116,C93,C90	29.5	31	30.8	31.5
Encargados de Colado		Nombre		Firma		
Técnico a cargo de los ensayos		Alejandro Alvarez				
Encargado de la supervisión de calidad (Piasa)		Ing. Adrián Quiros				
Supervisor de colocación (Edica)		Andrés Espinoza				
Colocadores de concreto		Concretico				
Lista de tareas a verificar		Detalle	Estado	Firma		
<input type="checkbox"/>	Revisión previa al colado y corrección de imprevistos	Realizada por el Ing. Adrián Quiros	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Superficie limpia	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Dovelas colocadas, alineadas y engrasadas	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Revisión de los tiempos de salida, llegada a la obra e inicio descarga (Hoja #2)	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Revisión de niveles guías metálicas	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Colocación y uso de puente para colado		N/A			
<input type="checkbox"/>	Revisión de vibrado de forma vertical @ 40 cm, duración por punto < 20 s	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	En orillas con angular, revisión de su adecuada colocación		N/A			
<input type="checkbox"/>	En orillas con angular, revisión de vacíos en angular		N/A			
<input type="checkbox"/>	Paso de codal para nivelación	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Paso de codal vibratorio		N/A			
<input type="checkbox"/>	Chequeo de niveles de la colada en estado fresco (colocador)	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Acabado de superficie con Flota	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Acabado de orillas perimetrales	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
<input type="checkbox"/>	Rayado de concreto en la dirección correspondiente	Realizada por Andrés Espinoza	Cumple			
Condiciones Adversas		Acción realizada				
<input type="checkbox"/>	Se presentó lluvia significativa	Se secó el agua excedente en la superficie con espumas				
<input type="checkbox"/>	Presencia de rafagas de viento					
<input type="checkbox"/>	Concreto con temperaturas mayores a 32 °C					
<input type="checkbox"/>	Imprevistos con la planta de concreto					

Nota 1 : En caso de los ítems que no apliquen colocar un NP (no procede)

Apéndice 2

Ejemplos de hoja de brigada trabajo para la construcción de pavimentos rígidos.

		Evaluación de Calidad en Campo		
Evaluación Previa a Colocación de Concreto				
FECHA: 28/08/2018		FECHA DE COLADO: 30/08/2018		
NOMBRE DEL PROYECTO: Bloque V				
NOMBRE DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL A REVISAR: Pavimento rígido en Posición 20, colindante a muro Coopesa				
Descripción		Responsables que ejecutan y revisan		
Lista de Brigada y Coordinación		Nombre	DETALLE	Firma
Coordinación Previa				
Coordinación con Aeris (Operaciones)		José Castro		
Capacidad de servicio de la concretera		José Murillo (Concretera Nacional)		
Mano de obra para la colocación del concreto		Agustín Mora (Concretico)		
Coordinación con los responsables de salud ocupacional		Ing. Melissa Bedolla		
Coordinación con los responsables de inspección de calidad		Ing. Yván Infante		
Coordinación con encargados de pruebas de control de calidad		Alejandro Álvarez		
Pruebas Anteriores		Cumple	No cumple	Notas
Chequeo de Compactación de Subrasante		X		Compactado al 95%
Chequeo de Compactación de Sub Base (CBR 30)		X		Compactado al 98%
Chequeo de Compactación de Base (CBR 80)		X		Compactado al 97%
Resistencia a la compactación a 7 días, Tobaconcreto P-306		X		> 35 kg/cm ²
Brigada de trabajo				
Materiales y Equipo		Encargado		
<input checked="" type="checkbox"/>	Palas	Oscar Rivera		
<input checked="" type="checkbox"/>	Vibradores (al menos dos)	Oscar Rivera		
<input checked="" type="checkbox"/>	Puente de colocación	Oscar Rivera		
<input checked="" type="checkbox"/>	Codales de vibración	Se encuentra descompuesto, es sustituye		
<input checked="" type="checkbox"/>	Codales	Concretico		
<input checked="" type="checkbox"/>	Herramientas de mano, corte alambre , martillo , cinta metrica, Etc.	Oscar Rivera		
<input checked="" type="checkbox"/>	Grasa para dovelas	Oscar Rivera		
<input checked="" type="checkbox"/>	Retardante	Oscar Rivera		
<input checked="" type="checkbox"/>	Curador	Oscar Rivera		
<input checked="" type="checkbox"/>	Disco de corte para Concreto	Oscar Rivera		
<input checked="" type="checkbox"/>	Flota	Concretico		
<input checked="" type="checkbox"/>	Rayador o ratrillo	Concretico		
<input checked="" type="checkbox"/>	Llanetas y espátulas	Concretico		
<input checked="" type="checkbox"/>	Geotextil	Oscar Rivera		
<input checked="" type="checkbox"/>	Malla para viento	Oscar Rivera		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plástico	Oscar Rivera		
Brigada de trabajo				
<input checked="" type="checkbox"/>	Colocadores de concreto (al menos 10 personas)	Concretico		
<input checked="" type="checkbox"/>	Maestro de obras o encargado de cuadrilla	Harold Wallace		
<input checked="" type="checkbox"/>	Técnico del Laboratorio	Alejandro Álvarez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Formaleteros	Baillardo Gazo		
<input checked="" type="checkbox"/>	Auxiliar de seguridad	Armando Castillo		
<input checked="" type="checkbox"/>	Escolta de camiones	José Gómez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Todo los permisos al día	Eloña Hernández		

Apéndice 3

Manual técnico para la construcción de pavimentos rígidos

Apéndice 4

Tabla de correlación de las normas internacionales ASTM y nacionales INTECO.

En el siguiente se muestra las normas nacionales que se correlacionan con algunas de las normas ASTM utilizadas en este proyecto, así como normas ASTM de interés para el tema desarrollado.

Cuadro A4. Cuadro de normas nacionales homologas a las normas ASTM utilizadas.		
Norma Internacional	Norma Nacional	Detalle
ASTM C470/C470M-15	INTE C122:2018	Especificaciones: Moldes para el formado de cilindros verticales de concreto para ensayo.
ASTM C309-11	INTE C121:2018	Compuesto líquidos formadores de membrana de curado para el concreto.
ASTM C33 / C33M – 18	INTE C15:2018	Agregados para Concreto. Requisitos.
ASTM C78/C78M-18	INTE C45:2018	Método de ensayo: Determinación de la resistencia a la flexión del concreto (usando una viga simple con carga en los tercios medios).
ASTM A615	INTE C400:2017	Requisitos: Barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto, requisitos.
ASTM C183-16	INTE C153:2018	Muestreo y cantidad de ensayos de cemento hidráulico.
ASTM C39/C39M-18	INTE C39:2018	Método de ensayo: Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto.
ASTM C136	INTE C46:2016	Análisis granulométrico en tamices de agregado fino y grueso. Método de ensayo.
ASTM C150	INTE C147:2018	Requisitos: Cemento hidráulico.
ASTM C188-17	INTE C141:2018	Método de ensayo para la determinación de la densidad del cemento hidráulico.
ASTM C172/C172M – 17	INTE C17:2018	Muestreo de concreto recién mezclado
ASTM C94 - 17/ C94M - 17a	INTE C14:2018	Requisitos: Concreto hidráulico premezclado.

Anexos

Anexo 1. Diagrama de flujo de preparación de subrasante.

Anexo 2. Diagrama de flujo de preparación de subbase.

Anexo 3. Diagrama de flujo de preparación de Base.

Anexo 4. Diagrama de flujo de preparación de losa de Toba concreto

Anexo 5. Diagrama de flujo de preparación de losa de concreto P-501

Anexo 1.

Diagrama de flujo de preparación de subrasante



Manual para la construcción de Pads en Rampas Aéreas



Objetivo General

Brindar una guía técnica para la ejecución, evaluación y control de la construcción de pavimentos rígidos en rampas de acceso en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, para garantizar la calidad de estos.

Contenido

- I. Generalidades
- II. Materiales
- III. Equipo y Maquinaria
- IV. Proceso de construcción
- V. Recomendaciones

I. Generalidades

- ¿Qué es un pad?

Consiste en un tipo de pavimento donde la principal resistencia a las cargas proviene de la acción de la capa superior o su superficie. Su principal característica es que su superficie es una losa de concreto hidráulico con cemento Portland (P.C.C.).

Su paquete estructural está conformado por una subbase, una base granular y la superficie de rodamiento. Sin embargo puede presentar variantes en su estructura según el tipo de pavimento rígido.

- Paquete estructural.

Previo a iniciar con cualquier proceso, es indispensable tener claro cual paquete estructural se debe realizar según la zona donde se va a trabajar. Esto debe ser consultado en los planos.

Se trabajan tres tipos de paquetes estructurales para pavimentos rígidos:

- Tipo A
- Tipo B
- Tipo C

Pavimento Tipo A

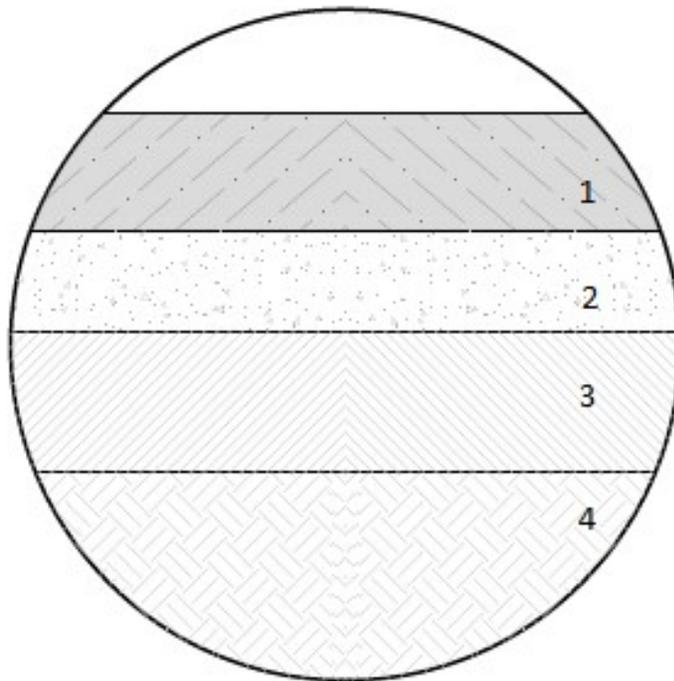


Figura 1. Detalle de pavimento tipo A

Este paquete estructural está conformado por:

1. 42 cm de Concreto P-501.
2. 35 cm de Tobacemento P-306.
3. 50 cm de Base Granular ,P-209 CBR 80% mínimo, compactada al $97,5\% \pm 2.5\%$ de Proctor modificado.
4. Subrasante compactada al 92% del Proctor estándar.

Pavimento Tipo B

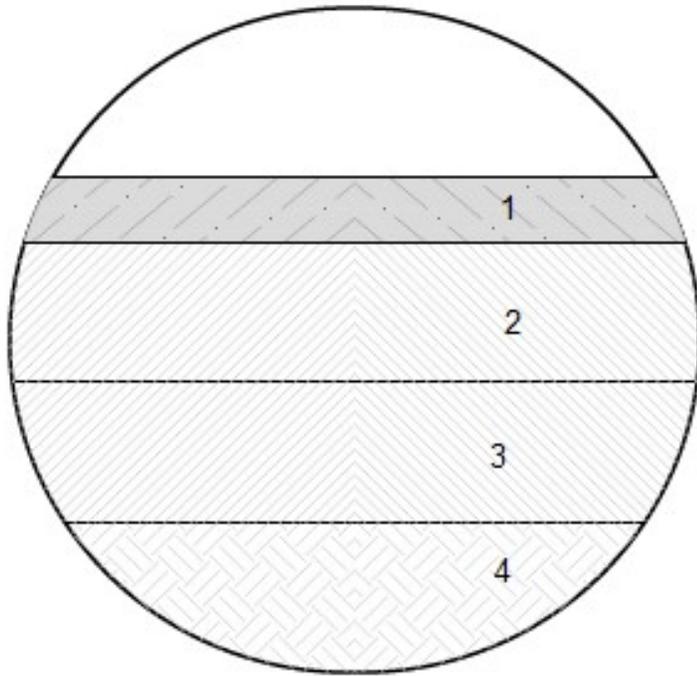


Figura 2. Detalle de pavimento tipo B

Este paquete estructural esta conformado por:

1. 23 cm de Concreto P-501.
2. 50 cm de Base Granular, P-209 CBR 80% mínimo, compactada al 95% de Proctor modificado.
3. 54cm de Sub Base Granular, P-154 CBR 30% mínimo, compactada al $95\% \pm 2.5\%$ de Proctor modificado.
4. Subrasante compactad al 92% del Proctor estándar.

Pavimento Tipo C

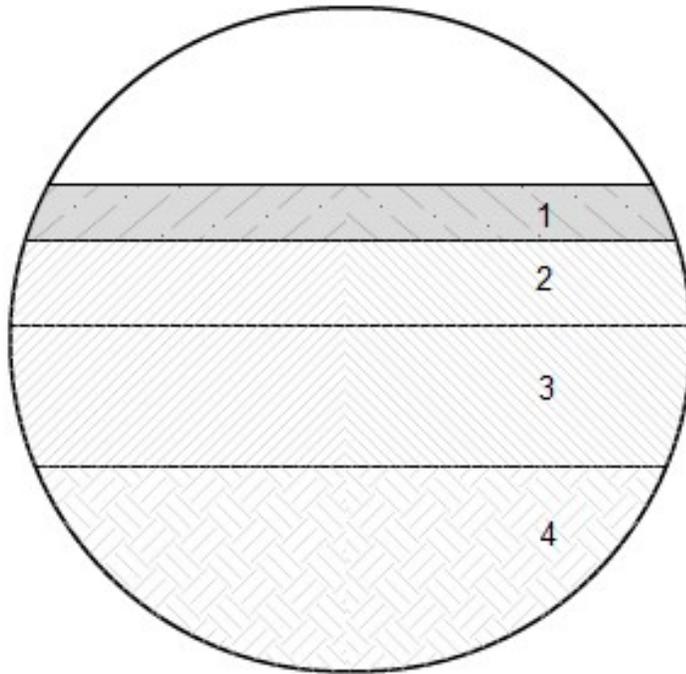


Figura 3. Detalle de pavimento tipo C

Este paquete estructural esta conformado por:

1. 20 cm de Concreto P-501.
2. 30 cm de Base Granular, P-209 CBR 80% mínimo, compactada al 95% de Proctor modificado.
3. 50 cm de Sub Base Granular, P-154 CBR 30% mínimo, compactada al $95\% \pm 2.5\%$ de Proctor modificado.
4. Subrasante compactada al 92% del Proctor estándar.

II. Materiales

- **SUBBASE (P-154):**

Nombre: Agregado CBR 30

Proveedor: AMCO

Uso: Relleno en paquete estructural

- **BASE (P-254):**

Nombre: Agregado CBR 80

Proveedor: AMCO

Uso: Relleno en paquete estructural

II. Materiales

- **TOBACONCRETO:**

Nombre:	Tobaconcreto P-306
Proveedor:	Concretera Nacional
Resist. A la Compresión:	35 kg/ cm ² a los 7 días
Descarga:	Directa

- **CONCRETO:**

Nombre:	Concreto P-501
Proveedor:	Concretera Nacional
Resist. a la Compresión:	450 kg/ cm ² a los 28 días
Descarga:	Directo

II. Materiales

- **FIBRA:**

Nombre:	Fiberstrand 100 $\frac{3}{4}$
Presentación:	Bolsas de 600 g
Proveedor:	Renteco
Dosis:	1 bolsa de 600 g x cada m ³ de concreto

- **CURADOR:**

Nombre:	Kurez Vox White
Presentación:	Estañones (55 galones)
Proveedor:	Renteco
Rendimiento en Concreto:	15 m ² x galón
Aplicación:	Rociado con bomba

II. Materiales

- **RETARDANTE:**

Nombre:	Eucobar Est LPU
Presentación:	Estañones (55 galones)
Proveedor:	Renteco
Aplicación:	Rociado con bomba

III. Equipo y Maquinaria



Equipo de compactación

➤ Compactadora manual: Se utiliza para la compactación y conformación de las distintas capas de agregado cuando no es posible utilizar maquinaria pesada.



➤ Compactadora con rodillo de acero 4 y 8 ton: Utilizada para la conformación de la subrasante, Subbase y carpeta asfáltica en zonas que permitan su adecuada operación

III. Equipo y Maquinaria

Equipo para el movimiento de tierra.



- Vagonetas, Esta maquinaria interviene en las actividades de acarreo de material tanto de excavación como de relleno.



- Excavadora : Utilizada para los trabajos de excavación.



- Retroexcavadora: Se usa para acarreo de material, excavación y demolición.

III. Equipo y Maquinaria



Equipo de control

- Estación total: Equipo para controles topográficos en general.
- Nivel: Equipo utilizada para la verificación de niveles.
- Termocupla, usado para la verificación de temperaturas de colocación del concreto.
- Densímetro Nuclear, usado para las pruebas de compactación de sitio.

IV. Proceso de Construcción

Para mayor facilidad, se divide el proceso de construcción de pads en las siguientes fases:

- **Fase I.** Movimiento de tierra.
- **Fase II.** Colocación de concreto.
- **Fase III.** Procesos Posteriores.

Fase I. Movimiento de tierra

Como parte del inicio para la construcción de pads, se debe preparar el terreno en la zona donde se planea la realización de los pavimentos rígidos.

Esta fase está compuesta principalmente por cuatro procesos:

1. Demolición de obras existentes.
2. Preparación de la subrasante.
3. Preparación de la subbase.
4. Preparación de la base.



1. Demolición de obras existentes:

Luego de identificado el paquete estructural, se inicia con la demolición de cualquier obra de infraestructura o estructura existente en el área de trabajo.

Por el tipo y magnitud de obra, se recomienda el uso de maquinaria adecuada para realizar esta tarea. Además, se debe realizar con orden y procurar que la zona que se esté demoliendo esté debidamente identificada para garantizar la seguridad.



Para este proceso se recomienda utilizar equipo de alta potencia tal como lo es un Backhoe con cabeza de martillo hidráulico. En caso de la existencia de elementos que se deseen conservar como posos, tanques o cajas de registro, se recomienda el uso de un martillo hidráulico manual como se muestra en la imagen.



Para el caso en el que se deban demoler paños dañados, sustituir pavimentos de concreto viejo o pavimento flexible por un pavimento rígido nuevo y estos se encuentren colindando con estructuras que no se deseen demoler, se recomienda:

1. Trazar con una cuerda y pintura el perímetro de los paños a demoler.



2. Una vez demarcado el perímetro, se debe realizar un corte con sierra (con el disco adecuado para cortar concreto o bien asfalto), aislando esta sección de las estructuras a conservar. La profundidad del corte depende del paquete estructural a demoler pero se recomienda un mínimo de 10 cm.



3. Terminado el aislamiento de la estructura, se procede a la demolición desde el centro hacia los cuatro costados. Se recomienda realizar la demolición de los costados con equipo manual para mayor cuidado.



4. Una vez finalizada la demolición de las obras existentes, se debe limpiar el área de todos los escombros e iniciar con el proceso de preparación de subrasante.



2. Preparación de Sub Rasante:

Este proceso se inicia con una excavación hasta la profundidad del paquete estructural. Para esto es necesario un control topográfico como el que se muestra en las imágenes, que determine y señale los niveles del paquete estructural del pavimento.



Al tener preparada la excavación:

- Primero se debe extraer material para pruebas de laboratorio y determinar su CBR. De ser un $CBR < 3.5$ se debe excavar más y sustituir por un material de CBR 10 o mayor .
- Una vez que se determine que el CBR del Subrasante es mayor a 3.5 se debe compactar la capa con equipo mecánico .
- Luego, se rectifican lo niveles y deben cumplir con las estipulaciones dichas en los planos.
- Con un densímetro nuclear se debe probar la compactación del material, esta debe ser mayor a al 92% para que sea correcta. De no ser así, se debe añadir agua o secar la capa de acuerdo a la humedad óptima de laboratorio y compactar luego hasta alcanzar el porcentaje requerido.

Una vez alcanzado el nivel de subrasante se colocan todos los elementos que atraviesen el área, como tuberías de sistemas pluviales o sistemas de tuberías para incendios. Posteriormente se rellena la zanja y se prosigue con el proceso de conformado de la subrasante.



3. Preparación de Subbase (CBR 30):

Este proceso se efectúa solo en los pavimentos tipo B y tipo C, y se deben tomar ciertos puntos en cuenta:

- El equipo de topografía debe estar presente indicando los niveles a los cuales se debe llegar con este material, con un margen de nivelación de ± 15 mm. En caso de que la sección posea acartelado, el topógrafo debe indicar el punto y el nivel de inicio de la pendiente, así como el nivel de final del acartelado.
- Se debe rellenar hasta el nivel indicado en el paquete estructural acarrear el material caracterizado previamente como CBR 30 .
- Este material es acarreado en vagonetas con lonas para evitar el vertimiento no deseado de material en el aeropuerto. Estas descargan en la zona de relleno y son retiradas. Además, se debe coordinar la escolta con un vehículo autorizado para el ingreso de las mismas.

- El relleno se hace en capas no mayores a 20 cm de espesor, las cuales son compactadas con equipo mecánico y probadas de manera que alcancen como mínimo de un $97.5\% \pm 2.5$ del Proctor modificado. Así hasta llegar al nivel de relleno estipulado en los planos.

4. Preparación de la base (CBR 80):

Como en los procesos anteriores, también se requiere la presencia del equipo de topografía que supervise e indique los niveles especificados en planos.

La tolerancia en los niveles finales de la capa de lastre para base es de ± 15 mm y se debe rellenar hasta el nivel indicado en el paquete estructural con una base granular de CBR 80 mínimo.





En la preparación de esta base también aplica que el relleno se hace en capas no mayores a 20 cm, compactadas con equipo mecánico.

Se deben probar la compactación en cada capa manera que alcancen un $97.5\% \pm 2.5$ del Proctor modificado. Así hasta llegar al nivel de relleno estipulado en los planos.



Fase II. Colocación de concreto.

1. Colocación de Toba cemento P-306:

Este proceso solo se efectúa para pavimentos tipo A. Para proceder con él debe estar aprobada la conformación de la base y subbase, en términos de chequeos de compactación y niveles.



La cantidad requerida debe ser cubicada con anterioridad para programar con el proveedor de concreto premezclado la entrega del material. Usualmente las dimensiones de los paños son de 5 m x 5 m, sin embargo estas pueden variar según los planos.

Para iniciar con el proceso se debe hacer una rectificación de niveles de la base y revisar los niveles de las capas colocadas con ayuda de control topográfico. De igual manera, revisar si existe un acartelado en la estructura del pavimento.

Existen datos importantes que hay que tomar en cuenta para la colocación del toba cemento:

- No colocar más de 7 paños consecutivos, y no más de 2 colindantes. Cuando se coloquen dos paños colindantes o de un grosor importante se pueden colocar guías internas que se retiran una vez colocado el concreto. Al momento del colado se debe verificar el producto entregado mediante la guía de despacho.

- La resistencia esperada para el concreto es de 35 kg/cm² a los 7 días de colado.
- Las losas van construidas de forma longitudinal, para esto se colocan formaletas de metal que contengan el concreto y funcionen como guías. La formaleta debe ser lo suficientemente rígida para que no se deformen en el momento que se vierta el concreto, no pueden tener un deformación vertical mayor a 1.2 mm o 3.2 mm horizontalmente.
- Se debe humedecer la superficie antes de efectuar el colado.



Al empezar a colocar el concreto debe ser un proceso continuo (con paradas mínimas) y con un avance uniforme, por lo que una buena coordinación de transporte y extensión del concreto es de vital importancia. El seguimiento se explica a continuación:

1. El concreto colocado debe ser vibrado de manera vertical, se debe introducir el vibrador @ 40 cm generando una matriz de puntos de vibración que abarque todo el área del paño colado. **No** se permite una duración mayor a 20 s en cada punto de vibración.
2. Extraer muestras para la confección del cilindro por parte de los técnicos calificados durante la colocación. Se extraen dos cilindros por lote, para un total de 4 lotes los cuales se fallan a 7 días.

3. Nivelar la superficie del concreto de forma que no queden montículos ni valles. Este proceso se recomienda hacerlo conforme el avance de la extensión del concreto.
4. Dar acabado con una flota lo suficientemente larga para que cubra la superficie. Al mismo tiempo, detallar los laterales, esquinas y límites perimetrales de los paños colados. El acabado culmina una vez la superficie posea un acabado casi liso, lo mejor posible.
5. Colocar curado con la ayuda de una bomba manual. Esta colocación debe darse de manera homogénea a razón de 1L por metro cuadrado, formando una película de uniforme de un 1 mm de espesor.
6. Colocar un geotextil que proteja la superficie y se debe mantener húmeda para el proceso de curado.

7. Cortar las juntas según los planos. El corte será hecho con discos abrasivos de diamante de 6 mm. Se inicia por las juntas de contracción (transversales) y luego por las longitudinales; con una tolerancia de 0 ± 5 cm del punto medio de la junta. La profundidad se indica en planos pero no será menor a 10 cm y se debe realizar a cada 5m.

Importante: las juntas están desfasadas en 7.5 cm y 15 cm con respecto a la proyección de las juntas del P-501. El desfase de 7.5 cm es de acuerdo con las juntas de contracción y el de 15 cm corresponde a las longitudinales.



2. Colocación de Concreto P-506:

Se da en el caso de los Pavimentos tipo B y C, y es necesario contar con la aprobación de las inspecciones de las capas colocadas de base y subbase así como la rectificación de nivel. En el caso del Pavimento tipo A se debe revisar la superficie del toba, que no posea grietas ni valles o montículos que pueda perjudicar en el espesor y despiece de las losas de P-501. En caso de encontrar grietas en la superficie estas se debe cubrir con “roofing paper” al igual que las juntas del toba.

Usualmente las dimensiones de los paños son de 5 m x 5 m, sin embargo estas pueden variar según los planos.



Para iniciar con el proceso se debe hacer una rectificación de niveles de la base y revisar los niveles de las capas colocadas con ayuda de control topográfico. De igual manera, revisar si existe un acartelado en la estructura del pavimento.

Existen datos importantes que hay que tomar en cuenta para la colocación de Concreto P-506:

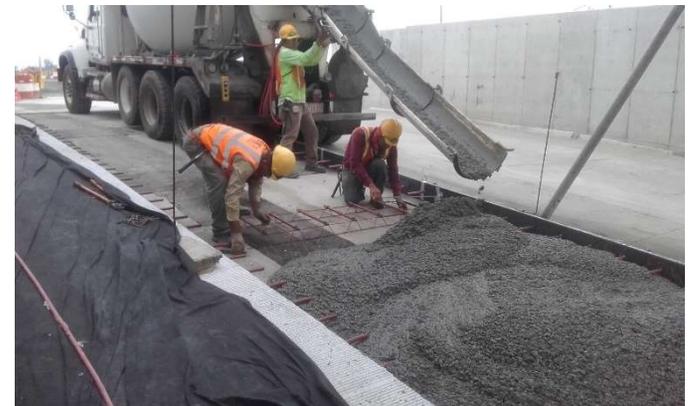
- La resistencia esperada para el concreto es de 450 kg/cm^2 a los 28 días de colado.
- No se debe colocar más de 7 paños consecutivos y no más de dos colindantes.

- Se colocan formaletas de metal que contengan el concreto y funcionen como guías. La formaleta debe ser lo suficientemente rígida para que no se deformen en el momento que se vierta el concreto, no pueden tener un deformación vertical mayor a 1.2 mm o 3.2 mm horizontalmente.
- Las formaletas deben tener una abertura que permita la colocación y alineación de las dovelas. Estas se fijarán rígidamente por medio de canastas de asiento u otros soportes aprobados, para evitar el desplazamiento de todas aquellas dovelas en juntas transversales. Todas las juntas longitudinales, deberán colocarse dovelas en sentido perpendicular a las juntas.

Proceso para colocación de dovelas:

1. Paralelas entre sí y al eje de la calzada en la ubicación que se tenga prevista para la junta transversal, de acuerdo con lo que establezcan los planos del proyecto. Se debe dejar una referencia precisa que defina esa posición a la hora de completar la junta.

2. Para evitar que el concreto se adhiera, la mitad de cada dovela deberá estar recubierta con una capa de algún elemento o sustancia lubricante, que impida la adherencia entre el acero y el concreto.
3. En el caso de las dovelas para los pavimentos tipo B y C, el diámetro debe de ser de 25 mm de longitud 480 mm @305 mm. Para las de los pavimentos tipo A, el diámetro debe de ser de 30mm de longitud 510 mm @380 mm.
4. Colocar una lamina de poliestireno de 11 mm para separar las estructuras y evitar adherencia en los lugares que colinden con paredes, columnas o cualquier elemento vertical.





Proceso para la colocación de concreto:

1. Descargar el concreto. No se debe hacer a una altura mayor a un metro.
2. La frecuencia de colocación del concreto debe ser de 12 min en el caso óptimo. Para el vibrado, colocación y nivelación del concreto, se debe evitar el contacto con el concreto mediante el uso de una plataforma que se apoya en la formaleta.
3. Nivelar la superficie del concreto una vez colocado, de forma que no queden montículos de concreto ni valles. Este proceso se recomienda hacerlo conforme el avance de la extensión del concreto.





Controles de Calidad

Realizar pruebas y muestreos para la calidad simultáneo a la colocación. Muestrear el lote en 4 puntos y sacar 2 cilindros para falla de resistencia y 2 vigas para la falla a flexión, como mínimo.

4. Pasar el codal vibratorio para eliminar imperfecciones en la superficie y dar acabado con una flota lo suficientemente larga que cubra la superficie. Al mismo tiempo, detallar los laterales, esquinas y límites perimetrales de paños colados.
5. El proceso de acabado culmina una vez la superficie posea un acabado casi liso, lo mejor posible.



Proceso de acabado:

El acabado es parte fundamental de la construcción al punto que si el acabado no es el adecuado puede incurrir en la demolición de un elemento.

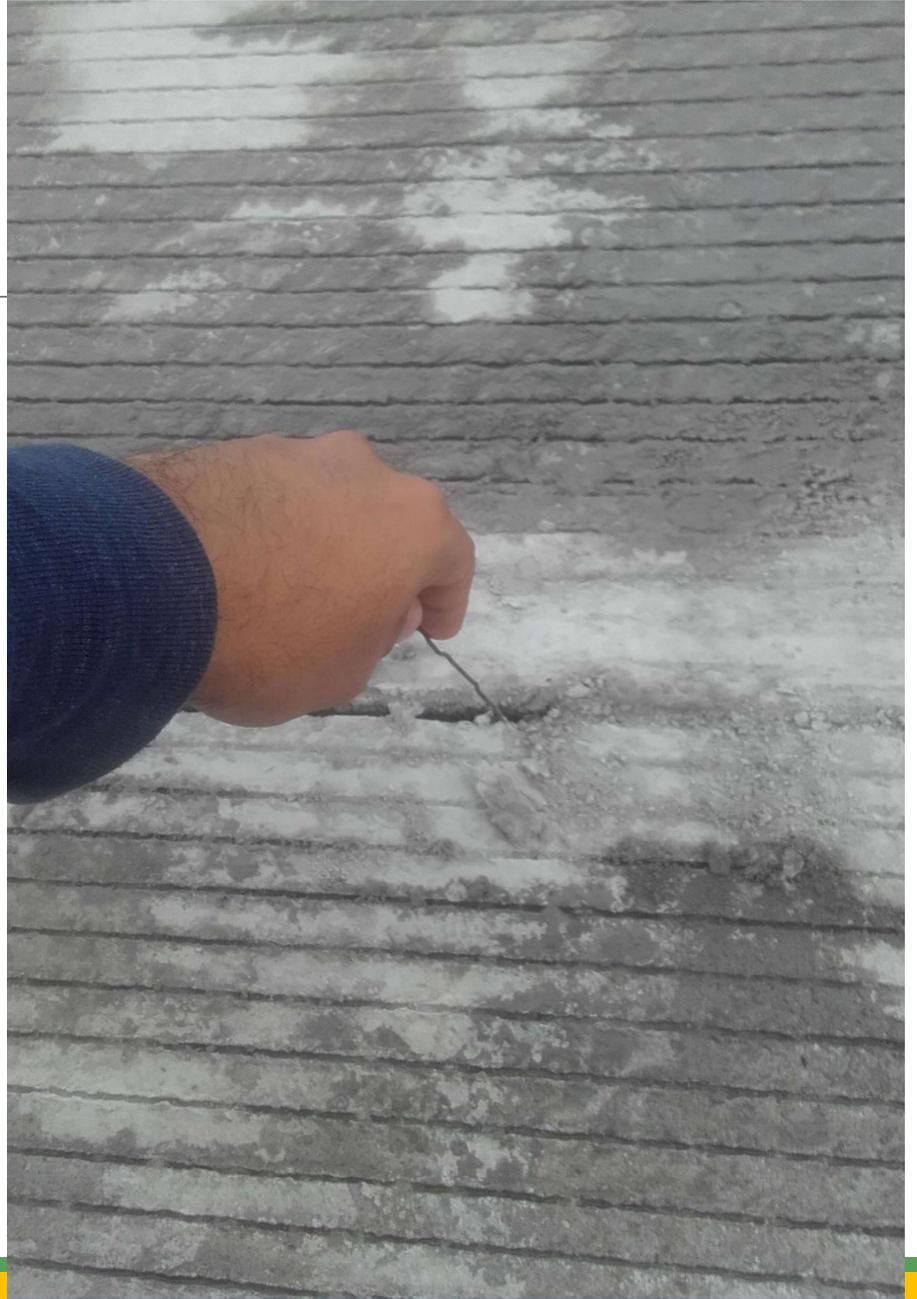


Lograr una micro textura suavemente estriada transversalmente, que tenga una profundidad entre 3 mm y 6 mm, espaciadas no más de 19 mm. La superficie deberá quedar exenta de áreas ásperas, porosas, irregulares y sin depresiones; con un acabado parejo y uniforme.





2. El acabado debe ejecutarse mientras el concreto se encuentre en estado fresco. Las superficies acabadas con el método manual, deben tener el mismo acabado final indicado en el inciso a) anterior, hasta obtener una textura estriada transversal al eje del camino.
3. Logrado el acabado, colocar curado con la ayuda de una bomba manual. Esta colación se da de manera homogénea a razón de un 1 L/m², formando una película uniforme de un 1 mm de espesor.
4. Colocar un geotextil que proteja la superficie y la mantenga húmeda para el proceso de curado.
5. Una vez el concreto adquiera cierta dureza, se realiza el corte Soft Cut a $h/4$ donde h es el espesor de la losa planos. El corte es hecho con discos abrasivos de diamante de 6mm.



Datos de importancia general

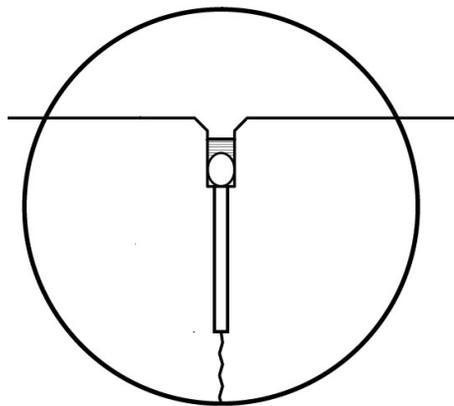
- No añadir agua a los camiones mezcladores.
- Si existe la presencia de agua estancada en la zona a colar, esta se debe retirar.
- No colocar los camiones con más de 45min en espera en el proyecto.
- No descargar camiones cuando la temperatura del concreto exceda los de 32°C

-
- Evitar el exceso de vibrado por la segregación de los agregados y también la carencia de vibrado por los “hormigueros”.
 - La descarga del concreto debe ser directa , es decir no se puede bombeado
 - No utilizar equipo vibratorio cerca de pads recién colados.
 - No cargar los pads en tiempo de curación o dejarlos sin cortar o sin acabado.
- 
- A decorative horizontal bar at the bottom of the slide, consisting of a thin green line on top and a thick yellow block below it.

Fase III. Procesos Posteriores

En el caso de los pavimentos tipo B y C se debe de reparar el corte de juntas y realizar en todas las juntas frías donde no se ha realizado corte de $h/4$ de profundidad.

Para los todos los pavimentos Tipo A se debe reparar el corte original con un disco de 12 mm de espesor para luego realizarle un tercer corte, esto con el fin de generar un chaflan en los bordes a lo largo del corte como se muestra en la figura.





Una vez realizado el corte se debe limpiar la junta para reparar todas aquellas que presenten defectos. Luego, seguir el siguiente procedimiento:

1. Colocar un cordón o lámina de respaldo en el fondo de la junta, con características adecuadas para quedar perfectamente ajustado dentro de esta y construido de un material que no se adhiera con el sello por emplear. El cordón de respaldo debe ser ligeramente más ancho que la junta por sellar, y tiene que quedar perfectamente alineado a la profundidad establecida, sin pliegues o curvaturas.
2. Las operaciones de mezclado o preparación de las mezclas de sellado deben efectuarse con equipos mecánicos adecuados, que aseguren productos homogéneos y de características constantes. La mezcla y la homogenización de productos líquidos se efectúa con equipos mecánicos de agitación. Los calentadores cuentan con dispositivos que permiten controlar la temperatura.

3. El sellado se realiza con equipos adecuados para asegurar un vaciado continuo y uniforme que no deje espacios intermedios sin rellenar. La profundidad del material sellante, para todas las juntas longitudinales y transversales, debe ser, como mínimo, igual al ancho de la caja. La operación procura ser limpia, y se rellenan exclusivamente las áreas requeridas, entre 4 a 5mm por debajo de la superficie del pavimento. Todo material de sellado que manche zonas del pavimento fuera de la junta, se tiene que retirar completamente. Solo se deberá sellar cuando la temperatura ambiente sea superior a 10°C e inferior a 30°C. Las juntas deben encontrarse perfectamente secas antes de iniciar el trabajo de sellado.

V. Recomendaciones

1. Coordinar la llegada de todos los operarios una hora antes de la llegada del primer camión con concreto, esto debido a las reglas del aeropuerto y los posibles atrasos que estas puedan dar.
2. Días antes de la colada se debe revisar en bodega el estado de todos los equipos a utilizar.
3. Mantener una constante atención a la frecuencia de colado.
4. Dejar prevista la ruta de entrada del camión con concreto, esto para hacer más eficiente el movimiento en la zona.
5. El trabajo de colocación debe ser realizado por operarios con experiencia, esto por el cuidado requerido en el proceso.

Apéndice 4

Tabla de correlación de las normas internacionales ASTM y nacionales INTECO.

En el siguiente se muestra las normas nacionales que se correlacionan con algunas de las normas ASTM utilizadas en este proyecto, así como normas ASTM de interés para el tema desarrollado.

Cuadro A4. Cuadro de normas nacionales homologas a las normas ASTM utilizadas.		
Norma Internacional	Norma Nacional	Detalle
ASTM C470/C470M-15	INTE C122:2018	Especificaciones: Moldes para el formado de cilindros verticales de concreto para ensayo.
ASTM C309-11	INTE C121:2018	Compuesto líquidos formadores de membrana de curado para el concreto.
ASTM C33 / C33M – 18	INTE C15:2018	Agregados para Concreto. Requisitos.
ASTM C78/C78M-18	INTE C45:2018	Método de ensayo: Determinación de la resistencia a la flexión del concreto (usando una viga simple con carga en los tercios medios).
ASTM A615	INTE C400:2017	Requisitos: Barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto, requisitos.
ASTM C183-16	INTE C153:2018	Muestreo y cantidad de ensayos de cemento hidráulico.
ASTM C39/C39M-18	INTE C39:2018	Método de ensayo: Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto.
ASTM C136	INTE C46:2016	Análisis granulométrico en tamices de agregado fino y grueso. Método de ensayo.
ASTM C150	INTE C147:2018	Requisitos: Cemento hidráulico.
ASTM C188-17	INTE C141:2018	Método de ensayo para la determinación de la densidad del cemento hidráulico.
ASTM C172/C172M – 17	INTE C17:2018	Muestreo de concreto recién mezclado
ASTM C94 - 17/ C94M - 17a	INTE C14:2018	Requisitos: Concreto hidráulico premezclado.

Anexos

Anexo 1. Diagrama de flujo de preparación de subrasante.

Anexo 2. Diagrama de flujo de preparación de subbase.

Anexo 3. Diagrama de flujo de preparación de Base.

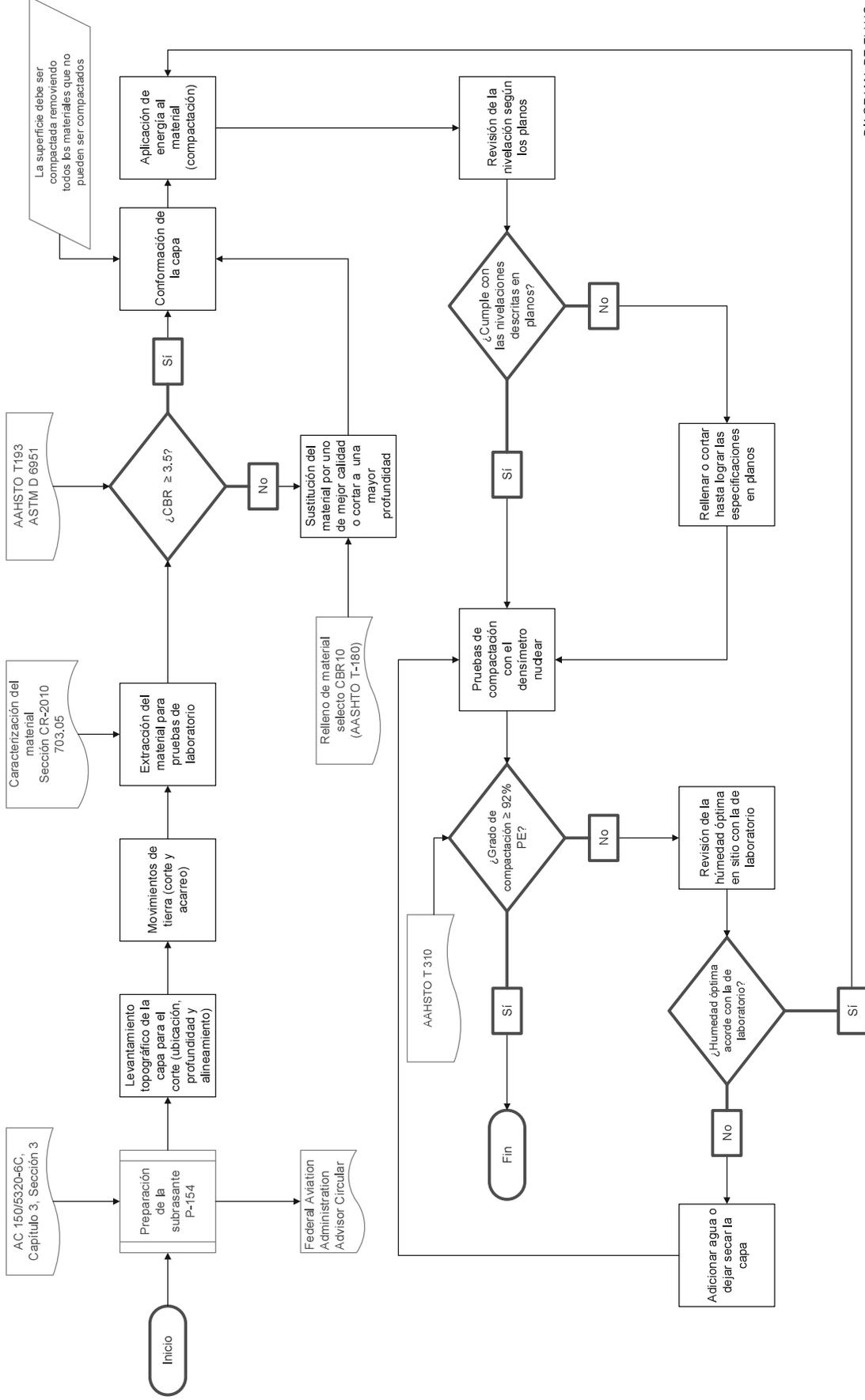
Anexo 4. Diagrama de flujo de preparación de losa de Toba concreto

Anexo 5. Diagrama de flujo de preparación de losa de concreto P-501

Anexo 1.

Diagrama de flujo de preparación de subrasante

PAVIMENTO FLEXIBLE Y PAVIMENTO RÍGIDO - PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE P-154



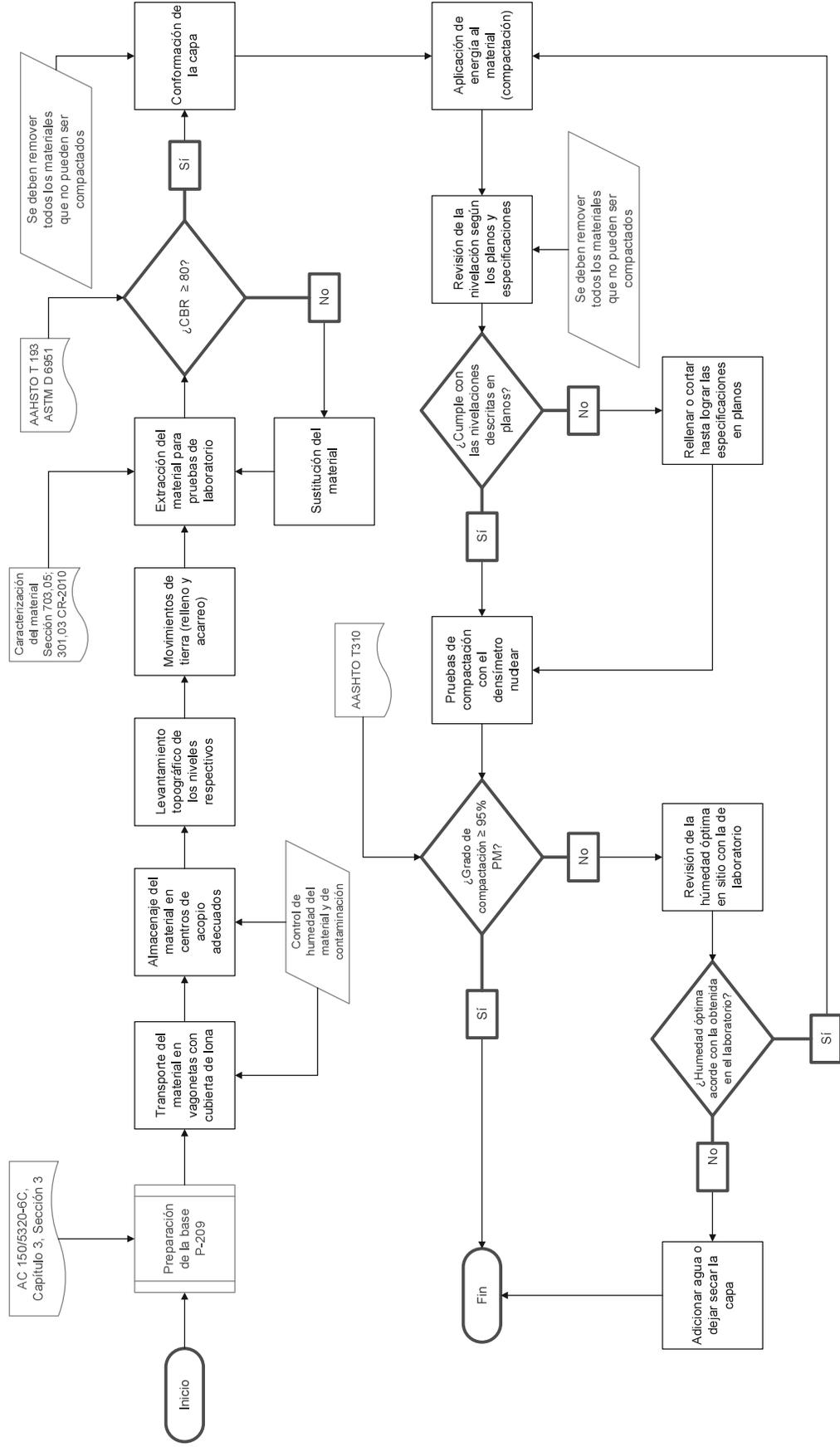
Anexo 2.

Diagrama de flujo de preparación de subbase

Anexo 3.

Diagrama de flujo de preparación de base

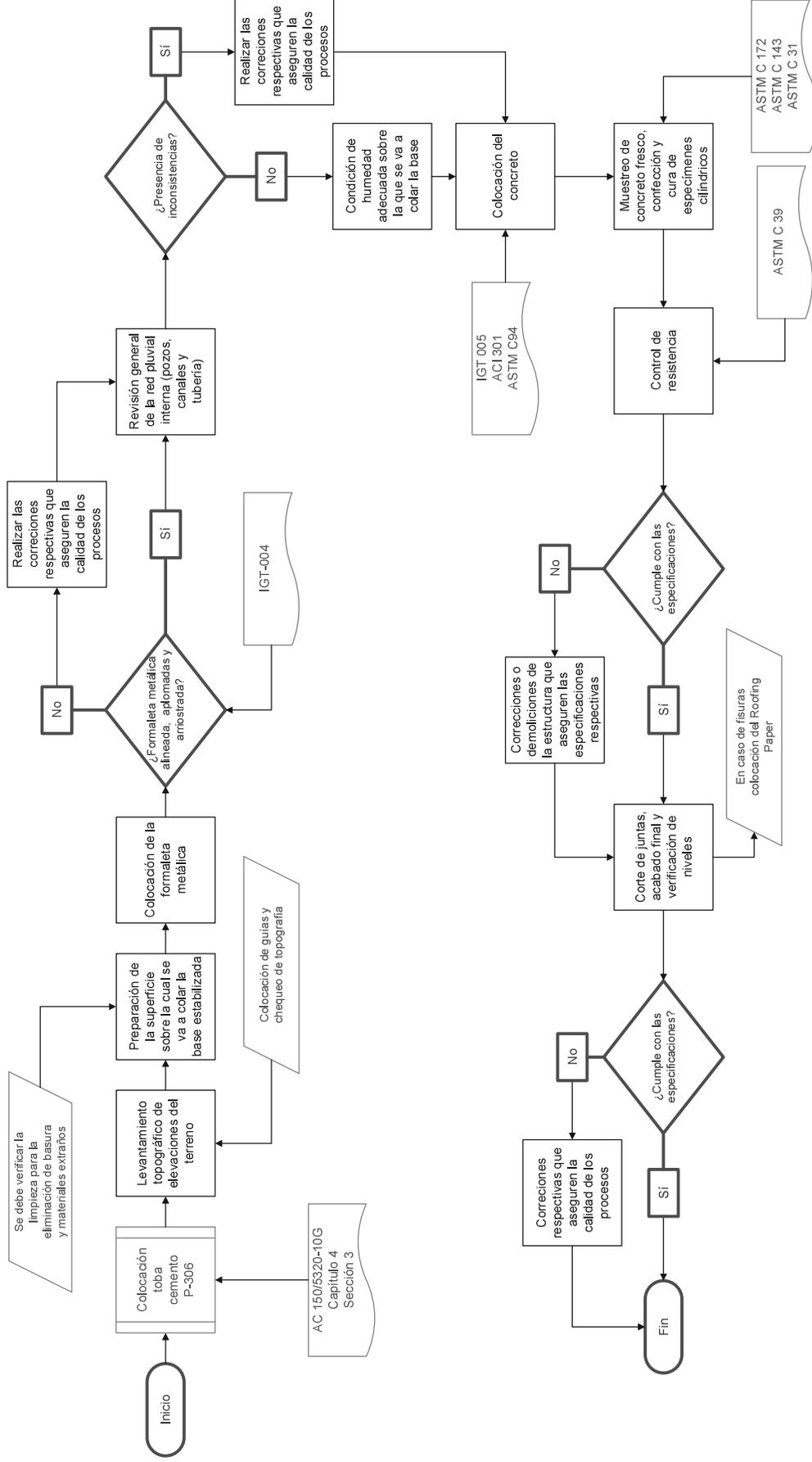
PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO- PREPARACIÓN DE LA BASE P-209



Anexo 4.

Diagrama de flujo de preparación de losa de toba concreto

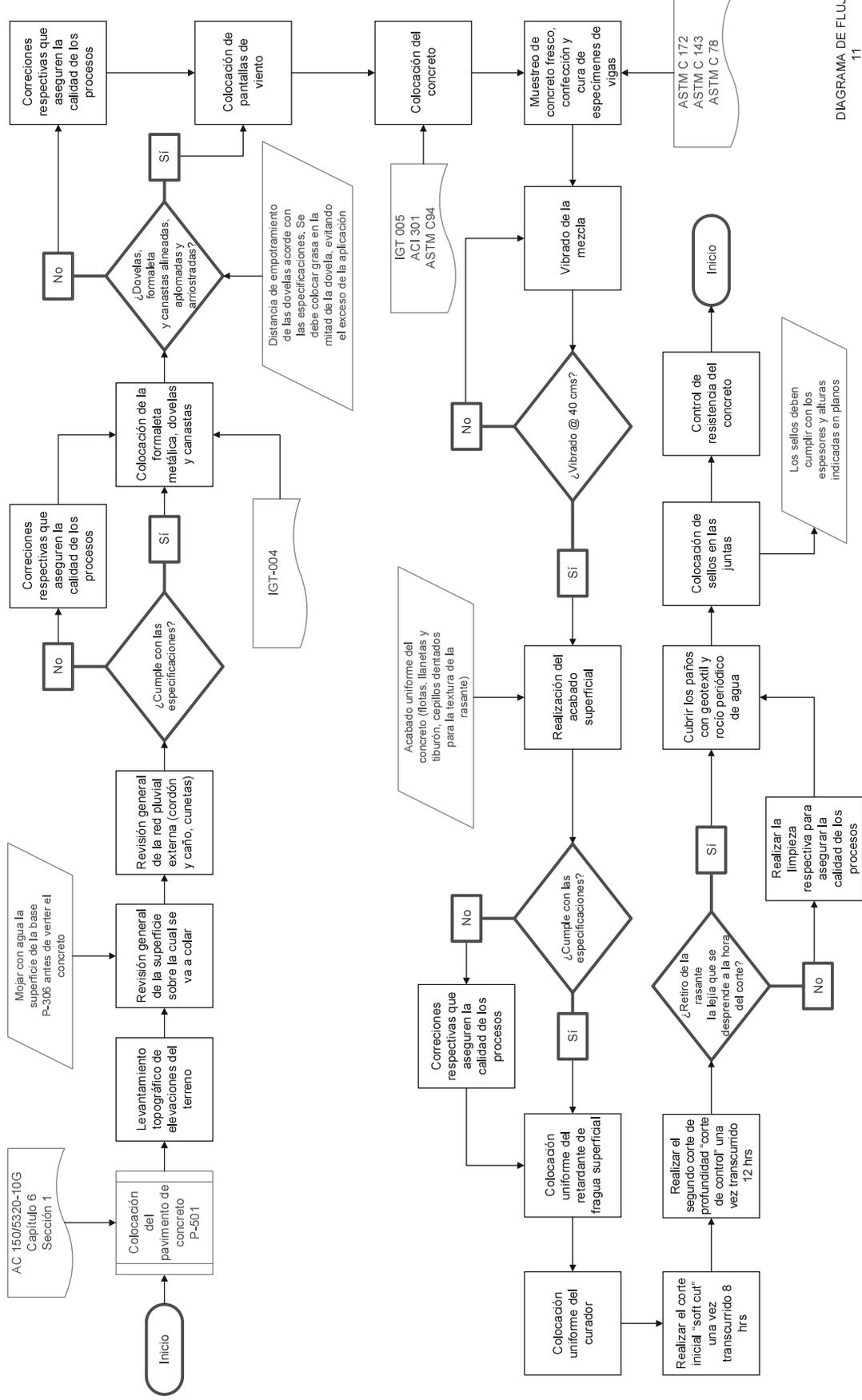
PAVIMENTO RÍGIDO - COLOCACIÓN TOBA CEMENTO CEMENTO P-306



Anexo 5.

Diagrama de flujo de preparación de losa de concreto P-501

PAVIMENTO RÍGIDO - COLOCACIÓN DEL PAVIMENTO RÍGIDO P-501



Referencias

- Project Management Institute. 2017. **LA GUÍA DE FUNDAMENTOS PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS**. Sexta edición. Pennsylvania, EE. UU.
- Organización de Aviación Civil Internacional. 2009. **ANEXO 14 AERÓDROMOS. VOLUMEN I. DISEÑO Y OPERACIONES DE AERÓDROMOS**. Quinta edición. Convenio sobre Aviación Civil Internacional. 3.9-3.21 p.
- Chanco, W. 2016. **MODELO DE INSPECCIÓN DE CALIDAD PARA LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS INVOLUCRADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE RAMPAS AÉREAS EN EL AIJS**. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Proyecto graduación para el grado de licenciatura. Cartago, Costa Rica. Apéndices
- Federal Aviation Administration (FAA). 2016. **STANDARDS FOR SPECIFYING CONSTRUCTION OF AIRPORTS**. Advisory Circular AC 150/5370-10G, Changes 1-12. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. Washington, DC.
- Federal Aviation Administration (FAA). 2016. **AIRPORT PAVIMENT DESIGN AND EVALUATION**. Advisory Circular AC 150/5320-10F, Changes 1-12. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. Washington, DC.
- American Society for Testing and Materials. (1994). **STANDARD TEST METHOD FOR FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE (USING SIMPLE BEAM WITH THIRD-POINT LOADING)**. ASTM Designation C78-94. Annual Book of ASTM Standards, Volume 4.02. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2010). **MANUAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, CAMINOS Y PUENTES**. San José: Editorial MOPT, 379-409,646 p.
- American Society for Testing and Materials. (1994). **STANDARD SPECIFICATION FOR PORTLAND CEMENT**. ASTM Designation C78-94. Annual Book of ASTM Standards, Volume 4.02. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- Edica Ltda. (2018). **SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD, MANUAL DE CALIDAD**. San José: Edica Ltda, 50 p.
- Vargas, D. 2018. **AUDITORIA DE GESTIÓN DE SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD EN PROYECTO BLOQUE V**. Alajuela EDICA. Comunicación personal.
- Acuña, I. 2018. **LEGISTLACIÓN APLICABLE A PAVIMENTOS RÍGIDOS EN AEROPUERTOS** Uruca Aviación Civil Departamento de Ingeniería. Comunicación personal
- Aviación Civil de Costa Rica. 2004., **CERTIFICADOS DE AEROPUERTOS**. Regulaciones Aeronáuticas Costarricense RAC 139. 23.p

Universidad Mayor de San Simón. 2004.
PAVIMENTOS. Curso de Carreteras II.
Facultad de Ciencia y Tecnología.
Cochabamba, Bolivia.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica
(INTECO). 2018, Norma INTE C14:2018.
**CONCRETO HIDRÁULICO
PREMEZCLADO.** San José, Costa Rica.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica
(INTECO). 2018, Norma INTE C15:2018.
AGREGADO PARA CONCRETO. San
José, Costa Rica.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica
(INTECO). 2017, Norma INTE
C400:2017. **REQUISITOS PARA
BARRAS DE ACERO AL CARBONO
LISAS Y CORRUGADAS PARA
REFUERZO DE CONCRETO.** San José,
Costa Rica.

Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica
(INTECO). 2016, Norma INTE C46:2016.
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN
TAMICES DE AGREGADO FINO Y
GRUESO.** San José, Costa Rica.