



**Universidad Latina de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería y TIC's**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**Proyecto de Graduación para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería Civil**

*“Diseño y presupuesto de estructuras de pavimento para el nuevo puesto de vigilancia aérea del Aeródromo de Guápiles”.*

**Autor:**

Jason Gustavo Peñaranda Chacón.

**Tutor:**

Ing. Pablo José Torres Morales.

02 de mayo del 2023

## Agradecimientos

La culminación de un proceso de estudios universitarios es el resultado de un gran esfuerzo y dedicación personal, sin embargo, estos siempre vienen acompañados de mucho apoyo y ayuda de personas que a lo largo del camino aportaron de muchas maneras para que se lograra el objetivo final.

A la fecha en la que escribo esto no tengo más que agradecer a todas estas personas que siempre me dieron un buen consejo, una ayuda académica, un apoyo económico o hasta una llamada de atención que me ayudara a no perder el camino y seguir luchando hasta el final.

Dios primero que todo, siempre fue y será mi guía en la toma de decisiones correctas, siempre apelando a la honestidad y justicia en cualquier situación, y es al que le agradezco haberme dado la familia, salud y las amistades de las que hoy en día gozo.

Agradecer a mis Padres Gerardo y Vitoria y hermana Raquel, por haberme criado de la manera en la que hoy me siento orgulloso de ser, por haberme servido de inspiración para luchar día a día por lo que se quiere y por lo que se debe, por habernos mantenido juntos pese a muchas circunstancias y por siempre verle el lado positivo a las experiencias de la vida, gracias por siempre haberme tenido fe y espero devolverles lo mucho que se merecen.

Agradecer a mi segunda familia, los Chacón Gómez por siempre quererme como uno más dentro de ustedes, por siempre presentarme como un hijo o hermano mayor y por hacerme sentir orgulloso de ello, gracias mi Tío Eduardo por ser más que un padre, por siempre haber estado presente. Gracia a mi segunda madre, Tía Xinia y mis hermanos Ivannia y Esteban.

Agradezco a mi familia adoptiva, los D'Alaimo Brenes y los Núñez D'Alaimo, quienes siempre han estado apoyando desde el día que me aceptaron entrar a la familia, por haberme tenido la confianza de ser uno más, por tenerme en sus oraciones y siempre estar al pendiente de este proceso.

Gracias a mis amigos de la vida, a los de barrio, a los universitarios y los que conocí en el camino, que siempre de alguna manera me extendieron una mano y sumaron a este logro.

A mis profesores y profesoras que se encargaron de darme los conocimientos que hoy en día tengo el deber de ejercerlos de manera ética, gracias por ser mis mentores y los que me inspiraron a seguir creciendo en esta carrera.

Gracias a todos aquellos que aportaron en este camino, sin ustedes no hubiese sido posible.

## Dedicatoria

Este proyecto se lo dedico a las dos personas más importantes de mi vida, quienes me motivan a seguir adelante y a las que más admiro, mi madre Victoria Chacón Cordero y mi esposa Nicole D'Alaimo Brenes.

“Ma”, este título más que mío es suyo, todas las bases desde el kínder hasta la culminación de esta etapa no serían una realidad sin su esfuerzo, sin su ejemplo hoy no sería quien soy, gracias por haber hecho todo bien, por motivarme e inspirarme, por hacerme querer ser mejor siempre.

Nicole, mi Picolina, gracias por tenerme la fe más grande del mundo, por nunca dudar de mí, le dedico este proyecto también, todas las horas que estuvimos estudiando hasta tarde y la paciencia en mis días de tensión hoy cobran sentido, gracias por hacerme tan feliz y por lo que el futuro nos espera.

## Resumen

Gracias a la amplia rama de áreas donde la ingeniería civil alcanza a desenvolverse se le abre un abanico de posibilidades a los profesionales en la carrera tener injerencia en una multi variedad de proyectos, entre ellos el sector aeronáutico, y es en este dónde el presente proyecto pretende dar una solución de diseño dos tipos de estructuras de pavimentos que se necesitan para la futura construcción del nuevo puesto de vigilancia aérea en el aeródromo de guápiles.

El insumo más importante para el proyecto fue la información brindada por la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) esto con el fin de cumplir con la debida elección de los valores de los parámetros necesarios para el diseño de la estructura de pavimento rígido en la calle de rodamiento, plataforma de parqueo y loza de hangar en el cual se empleara con base en el software FAARfield: así como para el diseño del pavimento flexible en el que se empleara la metodología AASHTO-93 para un diseño de espesor de capas.

Con respecto a la información que facilito la DGAC se encontraron los datos de frecuencias de vuelos de los últimos 6 meses, esto con el fin de desarrollar el análisis de tráfico aéreo anual, los tipos de aeronaves o vehículos que utilizaran estos pavimentos, el tráfico promedio diario de algún proyecto similar para la calle de acceso vehicular, así como la propuesta de diseño geométrico de las mismas.

Realizadas las propuestas de diseño para las estructuras del pavimento rígido, se continuo con el análisis de costo de tres (3) propuestas distintas y de opción que resulto la de mejor presupuesto entre ellas, se analizaron los informes que el programa FAARfield entrego posteriormente a la finalización del diseño.

Para el caso del pavimento flexible, se evaluaron todos los criterios de diseño que la guía AASHTO-93 recomienda y se realizara un (1) diseño que cumple con lo establecido, así como con la regulación de valores mínimos presente en el país. Para el diseño de dicho pavimento flexible también se realiza una valoración del costo basado en el diseño resultante obtenido según los criterios desarrollados.

Finalmente, una vez contando con las propuestas de diseño listas se procedió con la construcción de los planos constructivos respectivos, los cuales contienen la información necesaria para la debida construcción futura de estas estructuras de pavimento.



## Índice

1.	Introducción.....	10
1.1.	Antecedentes .....	10
1.2.	Planteamiento del problema .....	12
1.3.	Objetivo General .....	13
1.4.	Objetivos específicos.....	13
1.5.	Justificación.....	14
1.6.	Alcances .....	15
1.7.	Limitaciones .....	15
1.8.	Impacto.....	16
1.9.	Hipótesis.....	17
2.	Fundamentación teórica.....	18
2.1.	Pavimentos en general.....	18
2.2.	Pavimentos rígidos .....	19
2.3.	Pavimentos flexibles .....	22
2.4.	Metodologías de diseño para pavimentos en Aeropuertos.....	23
2.5.	FAArfield Software.....	24
2.6.	Relación Paso-Cobertura (P/C) .....	26
2.7.	Factor de daños acumulativos .....	26
2.8.	Módulos de las Capas de FAArfield .....	29
2.9.	Peso de las Aeronaves .....	30
2.10.	Geometría del tren de aterrizaje.....	31
2.11.	Volumen de Tráfico de Aeronaves.....	33
2.12.	Módulo de Reacción de la Subrasante.....	33
2.13.	Pavimentos Flexibles para calle vehicular.....	34
2.14.	Metodología AASHTO.....	35
2.15.	Parámetros metodología AASHTO .....	35
2.16.	ESAL's de diseño .....	36
2.17.	Perdida de Servicio.....	37
2.18.	Nivel de confianza .....	37
2.19.	Desviación estándar.....	37

2.20.	Módulo de la subrasante (Mr) .....	38
2.21.	Módulos dinámicos de las capas (Ai y Mi) .....	38
2.22.	Numero estructural SN .....	39
2.23.	Ecuación básica de Diseño AASHTO-93.....	39
2.24.	Presupuesto general de Obra .....	41
2.25.	Costos Directos de un presupuesto.....	41
3.	Marco metodológico.....	43
3.1.	Enfoque metodológico y métodos de investigación.....	43
3.2.	Variables.....	44
3.3.	Categoría de análisis de la investigación.....	44
3.4.	Población y muestra, técnicas de muestreo .....	45
3.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos .....	45
3.6.	Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de los datos .....	46
4.	Análisis de Resultados.....	48
4.1.	Diseño Pavimento rígido mediante FAARfield.....	48
4.2.	Comparativas de propuestas.....	55
4.3.	Análisis de Costos pavimento rígido.....	60
4.4.	Reportes FAARfield .....	62
4.5.	Diseño Calle Acceso Vehicular metodología AASHTO-93 .....	68
4.5.1.	Niveles de Servicio.....	68
4.5.2.	Periodo de Diseño.....	69
4.5.3.	Número de ejes equivalentes simples de 18000 lbs (ESAL´s) de diseño.....	70
4.5.4.	Nivel de Confianza (Rs) .....	73
4.5.5.	Desviación Estándar (So) .....	73
4.5.6.	Coeficientes de capa de la estructura de Pavimento (Ai) .....	74
4.5.7.	Coeficientes de drenaje de capas de la estructura del pavimento (Mi).....	75
4.5.8.	Módulo de resiliencia de cada capa de la estructura del pavimento (Mr) .....	76
4.5.9.	Numero Estructural SN .....	76
4.6.	Análisis de Costos pavimento flexible.....	82
5.	Conclusiones.....	83
6.	Recomendaciones .....	85

7. Referencias Bibliográficas.....	86
8. Anexos.....	88
9. Glosario .....	89

## Índice de Figuras

<b>Figura No°1</b> Conformación típica de un pavimento rígido.	21
<b>Figura No°2:</b> Tipos de juntas en pavimentos rígidos.	22
<b>Figura No°3:</b> Tipos de juntas en pavimentos flexibles.	23
<b>Figura No°4:</b> Relación Paso/Cobertura en un pavimento rígido	26
<b>Figura No°5:</b> Configuración de tipos de trenes de aterrizaje.	32
<b>Figura No°6:</b> Nomograma para obtención de numero estructural SN de las capas.	40
<b>Figura No°7:</b> Lectura del coeficiente de Balasto	50
<b>Figura No°8:</b> Menú de inicio, Software FAArfield	52
<b>Figura No°9:</b> selección de tipo de pavimento, años de diseño y sección de reportes, Software FAArfield.	52
<b>Figura No°10:</b> Menú de Aeronaves, Software FAArfield	53
<b>Figura No°11:</b> Menú de información de capas, Software FAArfield	54
<b>Figura No°12:</b> Menú de selección de capas, Software FAArfield	55
<b>Figura No°13:</b> Propuesta 1, pavimento rígido	56
<b>Figura No°14:</b> Propuesta 2 pavimento rígido	57
<b>Figura No°15:</b> Propuesta 3 pavimento rígido	58
<b>Figura No°16:</b> Información reporte de capas	62
<b>Figura No°17:</b> Resistencia mínima en pavimentos rígidos	63
<b>Figura No°18:</b> Grafico CDF	64
<b>Figura No°19:</b> Vehículo critico de diseño	65
<b>Figura No°20:</b> Información ACR de aeronaves y vehículos	65
<b>Figura No°21:</b> Grafico PCR	66
<b>Figura No°22:</b> Clasificación PCR de la propuesta de pavimento rígido	66
<b>Figura No°23:</b> Índice de servicio inicial pavimento flexible	69
<b>Figura No°24:</b> Nomograma de cálculo de valor SN de capas.	78

## Índice de tablas

<b>Tabla No°1:</b> Módulos de capas utilizados por FAARfield. ....	29
<b>Tabla No°2:</b> Variables metodológicas. ....	44
<b>Tabla No°3:</b> Tráfico aéreo anual, año 2022 Aeródromo de Guápiles. ....	49
<b>Tabla No°4:</b> Resumen de llegadas anuales. ....	50
<b>Tabla No°5:</b> Costos unitarios por m <sup>3</sup> de capas de pavimento rígido .....	61
<b>Tabla No°6:</b> Pt según clasificación de vías.....	68
<b>Tabla No°7:</b> Periodo de años de análisis según clasificación de vías.....	70
<b>Tabla No°8:</b> Factor de ejes equivalentes según clasificación de ejes. ....	71
<b>Tabla No°9:</b> Calculo de ejes equivalentes ESAL's. ....	72
<b>Tabla No°10:</b> Nivel de confianza según clasificación de vías.....	73
<b>Tabla No°11:</b> Desviación estándar según tipo de pavimento. ....	73
<b>Tabla No°12:</b> Coeficientes de capas para pavimento flexible. ....	74
<b>Tabla No°13:</b> Valores Mi de capas según drenaje.....	75
<b>Tabla No°14:</b> Resumen de parámetros necesarios para diseño de pavimentos flexibles. ....	77
<b>Tabla No°15:</b> Valores SN obtenidos.....	79
<b>Tabla No°16:</b> Resumen de espesores de capa obtenidos del diseño flexible.....	81
<b>Tabla No°17:</b> Espesores mínimos requeridos.....	81
<b>Tabla No°18:</b> Costos de la propuesta de pavimento flexible.....	82

## 1. Introducción

### 1.1. Antecedentes

Costa Rica es un país con una gran atracción turística extranjera debido a múltiples riquezas naturales y una posición geográfica privilegiada, esto hace que tengamos un alto tráfico aéreo por la cantidad de extranjeros que visitan este país; ahora bien, esta no es único motivo de uso de los aeródromos, tanto tráfico aéreo privado así como la vigilancia aérea son factores de demanda importantes en nuestro país, por ello, que nuestros aeropuertos tanto internacionales como rurales deben de tener una infraestructura de calidad y acorde a la exigencia a que es sometida diariamente.

Las pistas de los aeropuertos, sus calles de rodaje así como las plataformas de parqueo de las aeronaves son elementos fundamentales para la debida operación en un aeropuerto, todos ellos deben funcionar en óptimas condiciones y deben garantizar un uso de bastantes años, esto ya que la operación del aeropuerto no puede verse afectada por reparaciones o mantenimientos por problemas de deterioro prematuro; es por ello que este campo de la ingeniería civil se vuelve muy atractivo, ya que el diseño de los mismo exigen al profesional responsable contemplar, estudiar, analizar y proveer propuestas optimas en términos de costos así como garantizar un periodo de vida útil según los criterios que el aeropuerto así lo requiera.

Realizando una búsqueda de información acerca de pavimentos en aeropuertos tanto a nivel nacional como internacional realmente podemos encontrar una cantidad considerable, tanto para pavimentos rígidos como flexibles; la mayoría de los estudios hacen referencia primordialmente a la constitución en sí de las pistas de despegue/aterrizaje de los mismos o bien, a alternativas para la conformación de las mezclas de asfalto (para aquellas de opten por pavimentos flexibles). Un ejemplo es el proyecto de Tesis elaborado por la Ingeniera Karla Alejandra Roel Rondo “*Diseño del pavimento de un aeropuerto internacional de Pisco*” (Roel, K.A.), en él se abarcan metodologías para el debido diseño de la pista y sus comparativas entre diferentes métodos según diferentes tipos de criterios.

La mayoría de la información está muy basada en las pistas activas de los aeropuertos internacionales donde las cargas por despegue y aterrizaje son muy importantes, así como el

tamaño y peso de las aeronaves son sustancialmente mayores al enfoque de lo que este proyecto se enfocara, el cual se basa en una pista de rodamiento y una loza de parqueo de aeronaves de vigilancia, las cuales son más pequeñas y las cargas que predominan son las estáticas.

Una tesis de investigación más acorde a lo planteado este proyecto es el del Ingeniero Manuel Jesús Ibáñez Tirado “*Diseño básico funcional y constructivo de una plataforma de estacionamiento de aeronaves. Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.*” (Ibáñez, M.J.), en dicho proyecto el autor da una guía con parámetros bastantes similares a los que se desarrollan a futuro y que brinda información muy importante para el caso en cuestión, pero nuevamente debido a su contexto de estudio está muy enfocado en aeronaves de una envergadura mayor a lo que se propone en este proyecto.

La tesis de investigación que más se aproxima al desarrollo de este trabajo final de investigación es el “Diseño de pavimentos para Aeropistas” (García, G), el cual de basa en la explicación del funcionamiento de la herramienta FAARfield como software de diseño que la FAA habilita para toda pista de aeronaves que vaya a ser utilizada internacionalmente, si bien este proyecto se enfoca más en la mecánica del programa y su funcionamiento, para efectos de este se tomara en cuenta para ampliar un poco de los criterios de diseño, sin embargo el presente trabajo busca más obtener los diseños necesarios para dar una propuesta real de construcción, con parámetros reales inicialmente dados por la DGAC y otros obtenidos en el proceso de desarrollo.

A nivel nacional la mayoría de información encontrada se basa en modificaciones a las mezclas asfálticas para lograr los mismos parámetros de resistencia y/o optimizar costos en las estructuras de pavimentos como es el caso del Ingeniero Alexander Sánchez Mora en su proyecto final de maestría “*Mejoramiento de una mezcla asfáltica con adición de residuos de caucho obtenidos en la remoción en la pista aterrizaje del aeropuerto*”(Sánchez, A.), donde se brinda mucha información acerca de los pavimentos aeroportuarios y criterios de análisis que ayudan a esta investigación pero su profundidad es la obtención de una mezcla asfáltica contemplando agregados poco convencionales y haciendo una comparativa con las mezclas normales de un asfalto.

Finalmente, para el diseño del pavimento de la calle vehicular se cuenta con suficiente información para realizar el cálculo y análisis de la misma, un proyecto de regencia a nivel nacional y que es bastante reciente es el proyecto “ *Propuesta de diseño de pavimento y diseño geométrico*

*horizontal y vertical de 1.9 km en San Rafael de Heredia, calles La Saca, Naranjo y La Escuela”* (Araya, D), en él se detalla los criterios de análisis para el debido diseño de una carretera, tanto a nivel estructural como a nivel geométrico, servirá como guía para cumplir con el objetivo planteado para la calle de rodamiento vehicular del presente proyecto, ya que en ambos se empleara la metodología AASHTO-93 como criterio de diseño para el pavimento flexible.

## **1.2. Planteamiento del problema**

En la información recabada en los antecedentes se menciona que los aeropuertos en Costa Rica son de vital importancia para la economía dado el aporte del capital extranjero gracias a las vistas que el país recibe día a día, así como las facilidades de tránsito privado a nivel interno del país y el uso para la protección del territorio a través de la vigilancia aérea; y es este último punto donde se va a enfocar este proyecto, el conseguir tratar de satisfacer saciar una necesidad de seguridad nacional, desarrollando un proyecto que se ajuste a las necesidades que la DGAC requieran.

Para un debido control aéreo en Costa Rica, la Dirección General de Aviación Civil DGAC requiere implementar en zonas estratégicas puestos de vigilancia aérea que cumplan con una infraestructura adecuada, que satisfaga con los requisitos del personal a cargo y de los equipos y suministros que se necesiten, y es por ello que para este proyecto se plantean objetivos y alcances que puedan cumplir dichas necesidades a un costo adecuado.

Es este proyecto se plantea el diseño y presupuesto de la obra civil básica para el debido desarrollo del puesto de vigilancia aérea que la DGAC requiere en el aeropuerto de guápiles, se proponen métodos de diseño comunes pero eficientes, se plantean opciones para que este sea lo más óptimo para tener el mejor factor costo/beneficio.

La información que se obtenga de este proyecto, la calidad de planos y los resultados finales del presupuesto del mismo van a ser de mucha importancia tanto para la ejecución del mismo, así como para referencia para futuros desarrollos aeroportuarios en el país, ya que existen más aeródromos donde la DGAC va a requerir también seguir expandiendo sus puestos de vigilancia y



van a poder tener una base de costo, impacto, tamaño y diseño de proyectos similares en lo que respecta al área de pavimentos.

Con base a las necesidades requeridas por la DGAC y las propuestas de diseño planteadas en este proyecto ¿es posible obtener un diseño adecuado, accesible y beneficioso para los requerimientos que los servicios de vigilancia aérea de nuestro país seas sustentados?

### **1.3. Objetivo General**

Diseñar las estructuras de pavimento para la calle de rodamiento, plataforma de parqueo de aeronaves, loza de hangar y calle de acceso vehicular del nuevo puesto de vigilancia aérea incluyendo presupuesto y planos constructivos.

### **1.4. Objetivos específicos**

1. Obtener mediante el método de la FAA (Federal Aviation Administration) utilizando el Software FAARFIELD tres (3) propuestas de diseño del pavimento rígido a ser utilizado como calle de rodamiento, loza de concreto y plataforma de parqueo.
2. Analizar los reportes del diseño de la propuesta más económica que el Software FAARfield brinda después de la obtención del diseño.
3. Proponer estructura de pavimento flexible para la ruta de acceso vehicular desde la caseta de vigilancia del aeropuerto hasta el nuevo puesto de vigilancia aérea a través de la guía AAHTO-93.
4. Elaborar los planos constructivos de la calle de rodamiento, loza de concreto, plataforma de parqueo y calle de acceso vehicular.

## 1.5. Justificación

El nivel de información en ingeniería civil acerca de proyectos o tesis de investigación relacionados a los aeropuertos, pistas de aterrizaje o bien estructuras de pavimentos aeroportuarias es bastante amplia, existen métodos muy utilizados para los diseños de los mismos y van a ser la base para la realización de este proyecto, ahora bien, toda esta información está muy inclinada a estructuras grandes para soportar cargas muy pesadas de aviones de una tamaño mucho mayor a los que se abordan en este trabajo, y es ahí donde lo vuelve relevante, ya que va ser un desarrollo muy acorde a las necesidades específicas, en donde se evitara un caer en sobre diseño, se estudiara el comportamiento a cargas más pequeñas a una operación habitual de un aeropuerto internacional como lo son aeronaves de peso ligero.

A pesar de que el enfoque del proyecto se basa primordialmente en el diseño de estructuras de pavimento aeroportuarias cumpliendo los requerimientos de la FAA, se incluye el diseño de un pavimento rígido vehicular, en el cual, se utiliza una metodología distinta para la propuesta de diseño así como parámetros diferentes a los del primer objetivo, ampliando así el rango de conocimiento e investigación del proyecto a diferentes tipos de pavimentos, parámetros y criterios de análisis distintos enriqueciendo al proyecto al tener un espectro más amplio de la materia.

Finalmente, el desarrollo de un presupuesto general de la obra es aporte necesario para culminar con un desarrollo de trabajo final de investigación integral, que abarque conocimientos de costos, rendimientos, así como de ejecución de la obra en general.

Cualquier obra civil requiriere para poder desarrollarse requiere:

1. Diseño de la obra.
2. Análisis de costo.
3. Planos constructivos de la obra.

Estos puntos se abordan en este proyecto final, y es por eso que le da un valor importante ya que abarca criterios técnicos de diseño para su concepción, la elaboración de los planos el cual transmite toda esa información para poder ejecutarse y por supuesto no menos importante el valor de presupuestario del mismo, el cual es un punto de suma relevancia a la hora de analizar, en este caso la DGAC si es viable o no.

En resumen, este proyecto final busca satisfacer una necesidad real de ejecución de una obra para el bien del país, el mismo abarca dos puntos indispensables para poder llevarlo a cabo o no, y a su vez se explora distintas ramas de la Ingeniería Civil para su concepción, como lo son el área de pavimentos y la administración.

### **1.6. Alcances**

- El estudio de suelos pertinente lo brindará la DGAC, y este será el punto de partida para el desarrollo del proyecto.
- La lista de aeronaves para el cálculo de avión crítico de diseño que emplea FAARfield será entregada por la DGAC.
- La realización del presupuesto de la obra en general será según cotizaciones solicitadas a la fecha del desarrollo del trabajo.
- La calle de acceso vehicular se diseñará de un pavimento flexible, esto por disposición de la DGAC.
- No se realiza análisis entre tipos de pavimento, la propuesta inicial es en base a los requerimientos de la DGAC.

### **1.7. Limitaciones**

- No se contempla ningún diseño de demarcación de los pavimentos, únicamente su diseño estructural y geométrico.
- No se contemplan diseños de mezclas para mezcla asfáltica ni concreto hidráulico
- No se contempla diseño de sistema de evacuación de aguas pluviales.
- No se contempla realizar el estudio de suelos, este será brindando por la DGAC
- El monto del presupuesto será en base a precio por m<sup>3</sup> del material que compone cada capa de la estructura de los pavimentos.
- La propuesta geométrica de acceso vehicular será por parte de la DGAC.

## 1.8. Impacto

Los beneficios que este proyecto traerá se pueden clasificar en varios tipos:

- a) A nivel económico propiamente en el área de ejecución como lo es guápiles, traerá consigo opciones nuevas de trabajo en la zona, ya que la mano de obra para ejecutarlo muy posiblemente sea con personal de sus alrededores, y cuando ya la misma esté finalizada los puestos fijos de trabajo en áreas como seguridad, mantenimiento y requerimientos de suministros entre otros se pretenderá que sean subsanados con la economía local.
- b) A nivel social, el tema de tener un puesto de vigilancia área conllevara un mejor control en temas de seguridad en la zona, el tener un puesto propio en guápiles no solo les benéfica a ellos sino también a una extensión del territorio considerable, dando esto una mejor calidad de vida.
- c) A nivel de infraestructura nacional, como ya se desarrolló más atrás, el tener calidad aeroportuaria beneficia al país en muchas áreas como lo económico, social y de seguridad nacional, una buena estructura aeroportuaria regional puede promover un incremento en la inversión privada ya que da facilidades para transporte aéreo, ya sea para uso discrecional o para exportaciones e importaciones.

## **1.9. Hipótesis**

El proyecto final de graduación al ser un trabajo de diseño no contemplara una hipótesis ya que no se harán pruebas que requieran algún resultado esperado en el que se pueda obtener una hipótesis de la misma, por el contrario, a través de la aplicación de criterios estudiados y metodologías de diseño se llegara a un resultado final el cual aún no se puede prever.

## 2. Fundamentación teórica

### 2.1. Pavimentos en general

De manera general, cualquier estructura de pavimentos se conformara por una serie de capas sobrepuestas una sobre otras, cada una de estas cumpliendo con un objetivo específico a nivel de esfuerzos así como también un objetivo general que será proteger a la subrasante (capa ultima conformada por el terreno natural) de las cargas generadas en la capa superior de rodamiento o por daños ocasionados por alguna filtración del agua, dentro de los tipos que existen los dos grandes grupos que se pueden mencionar como los más importantes son:

- Pavimentos rígidos.
- Pavimentos flexibles.

Tanto para las carreteras de tránsito vehicular como para los aeropuertos se pueden encontrar estos dos tipos de pavimentos, ya sea a lo largo de la pista activa, en las plataformas de parqueo y lozas de hangares (en estos dos últimos casos principalmente rígidos) así como en calles de rodaje o calles de tránsito normal.

Con respecto al debido funcionamiento de las superficies de pavimentos en los aeródromos se requiere cumplir con condiciones necesarias que, aunque dependan de los parámetros de tamaño del aeropuerto siempre se deben de respetar, entre las más importantes se encuentran:

- Ancho mínimo.
- Resistencia a las cargas a las que va someterse evitando fallas o agrietamientos
- Adherencia adecuada entre el pavimento y los neumáticos del tren de aterrizaje (inclusive en condiciones húmedas).
- Cambios de temperatura y afectaciones de la intemperie por condiciones climáticas

A partir de esta información general de pavimentos, a continuación, todo lo que se amplié acerca de este tema será explicado específicamente para aeropuertos y todos los criterios necesarios para el análisis y diseño de los mismos.

## 2.2. Pavimentos rígidos

Son aquellas estructuras de pavimento donde su capa superficial está constituida a través de una losa de concreto hidráulico, la cual se conforma a mediante la dosificación de materiales como cemento tipo Portland, agregados tanto grueso como fino, agua y aire.

Para esta capa superior de concreto existen tres tipos de clasificación dependiendo de su construcción, las cuales son:

- **JPCP** (pavimento de concreto simple con o sin dovelas/juntas), es el más económico, se utiliza preferiblemente para cargas más ligeras y su construcción es en paños cortos.
- **JRCP** (pavimento de concreto reforzado y con dovelas/juntas), esta capa lleva un refuerzo en acero ya sea en varillas o mallas, se construye en paños más amplios y se utilizan varillas lisas en las uniones de cada losa llamadas dovelas o juntas, las cuales ayudan a la transmisión de carga horizontal entre losas evitando así, asentamientos diferenciales.
- **CRCP** (pavimento de concreto con refuerzo continuo), este es el más caro, lleva un refuerzo de acero continuo durante todo su trayecto y se construye en tramos de colado extensos.

En las estructuras de pavimentos rígidos, las dovelas o juntas anteriormente mencionadas se pueden categorizar en cuatro grupos, esto según la forma a las que se vayan a desempeñar, por ejemplo:

- **Juntas de contracción** son aquellas que controlan el agrietamiento que pueda llegar a generarse durante el tiempo de fragua por causas variadas.
- **Juntas de expansión** son aquellas que además de transferir la carga entre losas de colados destinados, producen un espaciado óptimo para la expansión del concreto debido al calor de hidratación generado por los cambios de temperatura.
- **Juntas de construcción** en la etapa de construcción de las losas existe un momento de colado entre paños en distintas etapas, este tipo de juntas permite la continuidad estructural

entre estos paños cuando se presenta dicha discontinuidad constructiva, estas juntas se recomienda utilizarlas siempre.

- **Juntas de alabeo o juntas articuladas** son las encargadas de evitar que surjan grietas en el eje central de la estructura de pavimento, así como en la unión entre los bordes de los paños que debido a las cargas a las que son sometidas pueden provocar diferencias de altura entre ellas.

Las juntas o dovelas además de cumplir con su función de transferir cargas y brindar continuidad estructural, se mejora el nivel de confort del tránsito de las aeronaves a través de su paso entre las capas, ya que al evitar los asentamientos diferenciales entre capas o estos ser muy pequeños las llantas de los trenes no los llegan a percibir.

En un pavimento rígido de aeropuerto, la capa superior de concreto hidráulico es la principal encargada en absorber las cargas producidas por el rodamiento de las aeronaves, sin embargo, las capas inferiores cumplen un papel importante de protección a la capa de terreno natural, estas capas se dividen en:

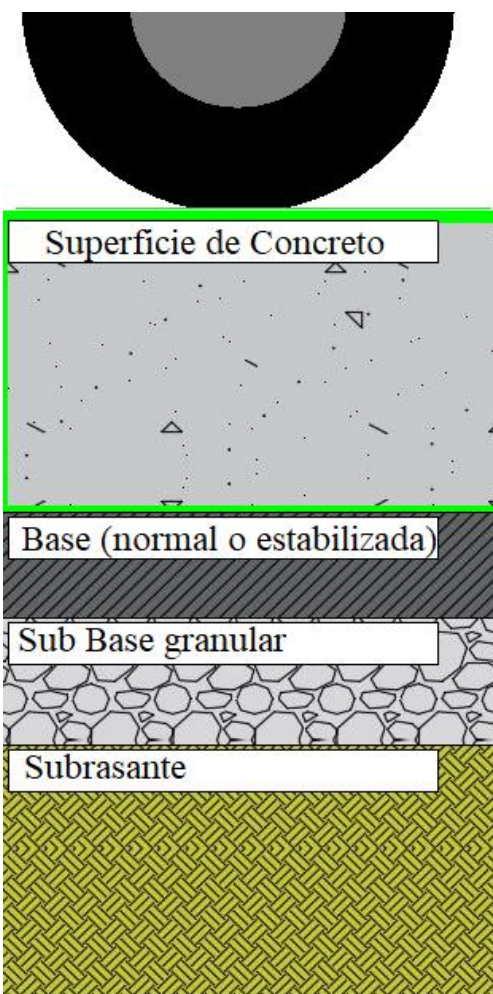
- **Subrasante:** es la capa más inferior de toda la estructura, está compuesta por el terreno natural del lugar por donde se conformará el pavimento, su función es transmitir las cargas proporcionadas por las capas superiores y distribuir las por todo el terreno, esa capa debe estar libre de cualquier material orgánico y sin vegetación.
- **Subbase:** es usualmente la capa superior a la de subrasante, está compuesta por materiales granulares de diferente tamaño encargados de brindar apoyo a la base del pavimento, en ella también se transmiten cargas y funciona como último nivel de protección del agua que pueda filtrarse al terreno natural.
- **Base:** Es la capa en donde se asienta la carpeta rígida de rodamiento, esta se conforma de igualmente materiales granulares y brinda la rigidez necesaria para evitar deformaciones que puedan afectar a la estructura, esta puede llegar a ser mejorada con cemento hidráulico a lo que se le llama base estabilizada, aumentando así su capacidad de soporte; distribuye



de manera uniforme las cargas a sus capas inferiores y también cumple función importante en la evacuación del agua.

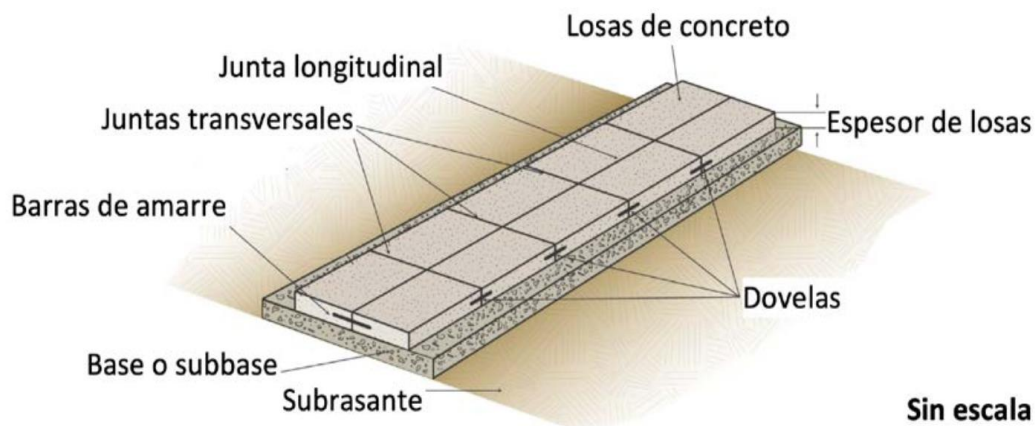
La conformación de las capas del pavimento puede variar, pueden tener o no tener alguna de ellas o incluso repetir varias de la misma, todo va a depender de lo que se proponga y de las características generales del suelo, los agregados con lo que se cuente en el área del proyecto, así como los factores económicos.

**Figura No°1** Conformación típica de un pavimento rígido.



**Fuente:** FAArfield Software

**Figura No°2:** Tipos de juntas en pavimentos rígidos.



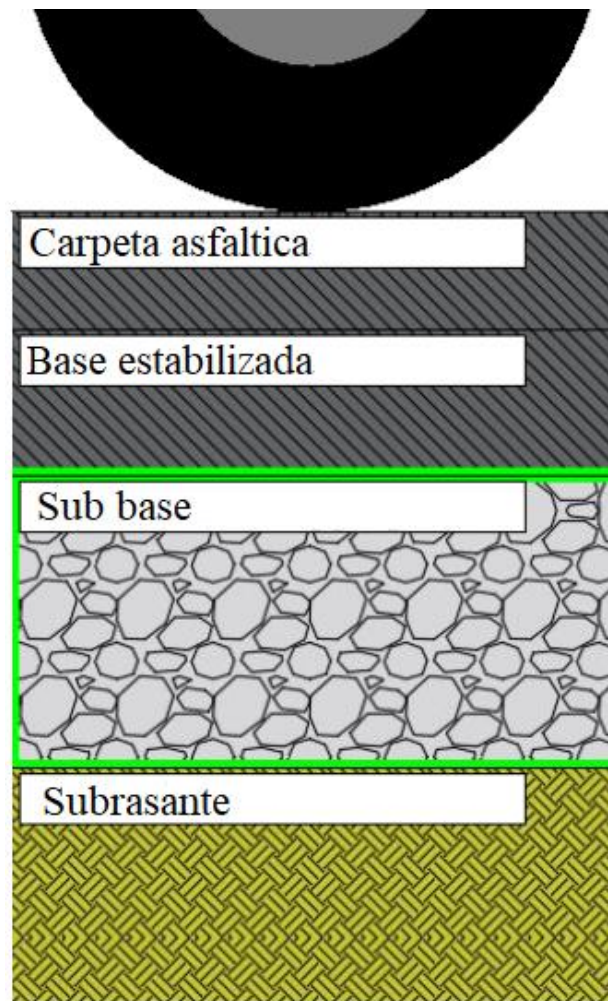
**Fuente:** Guía para inspección y reparación de deterioro en pavimentos de concreto hidráulico, LanammeUCR

### 2.3. Pavimentos flexibles

Son aquellas estructuras de pavimento donde su capa superficial está constituida mediante una carpeta asfáltica, es decir, una mezcla de agregados gruesos y finos con material bituminoso que se obtiene a través del proceso de destilación del petróleo, a este se le conoce como concreto asfáltico.

La mejor respuesta a las deformaciones generadas por las cargas a las los que se ve sometido es una de las principales funciones de estos pavimentos; ya que a pesar de ser flexible es a su vez lo suficientemente rígida para no generar grietas considerables. Este tipo de pavimentos a diferencia de los rígidos, los esfuerzos son más equilibrados entre las capas a diferencia del rígido donde la capa superior de concreto es la que más trabaja.

**Figura No°3:** Tipos de juntas en pavimentos flexibles.



**Fuente:** FAARfield Software

#### **2.4. Metodologías de diseño para pavimentos en Aeropuertos**

Existen varias metodologías de diseño que pueden ser empleadas para un pavimento aeronáutico, para efectos de este proyecto se basará en la metodología de la FAA más adelante desarrollada, sin embargo, se mencionan a continuación las más importantes:

- Método del Instituto Norteamericano del Asfalto (API)
- Método de Portland Cement Association (PCA)
- Método de Cuerpo de Ingenieros del Ejército (EEUU)
- Método de la Federal Aviation Administration (FAA)

Para satisfacer las necesidades del diseño de las estructuras del pavimento en un aeropuerto, la DGAC se debe apegar a los lineamientos de la FAA, la cual indica a través de su circular AC 150/5320-6E el uso del Software FAARfield como herramienta de diseño, este programa se basa en la metodología del elemento finito en tercera dimensión (3D) así como procedimientos empíricos/mecánicos anteriormente utilizados.

## **2.5. FAARfield Software**

Es un software de uso libre y gratuito que está desarrollado por la FAA para el análisis y diseño de pavimentos aeroportuarios, esto aplicado tanto para pistas activas de aterrizajes y despegues de aeronaves, plataformas de parqueo y calles de rodaje cuyos parámetros de diseño y uso de las mismas se definen en la circular AC150/5320-6G brindada por la FAA.

Es importante recalcar que “la metodología para el diseño que realiza el software se basa en un análisis del elemento finito desarrollado para el cálculo de la dimensión de espesores requeridos para un diseño óptimo del pavimento. Este análisis fue necesario para abordar de una manera más apropiada las nuevas disposiciones de trenes de aterrizaje y ruedas que poseen las aeronaves conforme estas van evolucionando en sus modelos” (García, 2014, p. 50).

Para el programa, es muy importante el tipo de pavimento que se va a desarrollar, ya que para cada una de ella la determinación del fallo va ser distinta; además considera que cada una de las capas de la estructura se comportan de manera elástica para poder realizar el cálculo de las deformaciones y esfuerzos que padecen debido a las cargas del peso de las aeronaves, vehículos de servicio y otros durante el funcionamiento normal de los aeropuertos.

La forma en el que FAARfield determina la falla de la estructura de pavimento es obteniendo la deformación que se da de forma horizontal en la parte inferior de la capa de concreto, esto en el pavimento tipo rígido en el que se basa este proyecto.

Según lo investigado por García “Para poder obtener información del daño acumulativo de la superficie del pavimento a una distancia determinada, el software toma en cuenta que el tren de aterrizaje principal se coloca sobre una línea guía en el centro de la carpeta de

rodamiento y a su vez, genera una comparativa de estos daños dependiendo del tipo de aeronave, así como gráficos ilustrando los resultados por combinaciones de aeronaves.

Entre otros aspectos que se deben tomar en cuenta al utilizar el software FAARfield, se encuentra la recomendación de utilizar una vida útil de 20 años en todos los diseños, esto se debe a ciertos conceptos empíricos que utiliza el programa, a pesar de ello, no se debe perder de vista que solo se trata de una recomendación, en caso de desear realizar un proyecto con una vida útil mayor se puede realizar a pesar de que el software siempre utiliza parámetros conservadores.

Otro dato importante es que el programa toma en cuenta únicamente el número de salidas previstas para el aeródromo y las llegadas son despreciadas, esto se debe a que al momento de despegar se asume que el avión está lleno de combustible y que transporta un peso importante de pasajeros y mercancías que resulta ser mucho mayor que el peso con el que aterriza, además en el momento del aterrizaje, el peso de la aeronave es soportado en gran medida por las alas” (García, 2014, p51).

Según consideraciones de la FAA “Para el diseño de pavimento rígido, FAARFIELD utiliza la tensión horizontal máxima en la parte inferior de la losa PCC como el indicador de la vida estructural del pavimento o criterio de falla. El máximo esfuerzo horizontal para el diseño es determinado tomando en cuenta tanto las condiciones de carga en el borde de la losa de concreto, así como también en el centro de la losa. FAARFIELD propone el espesor óptimo de la losa de pavimento rígido para soportar una combinación de tráfico de aeronave, para el caso de este proyecto un listado de aeronaves que el departamento de Vigilancia Aérea posee para la vida de diseño estructural sobre una base / subbase / subrasante determinada” (AC 5352-6G, 2021 p.30).

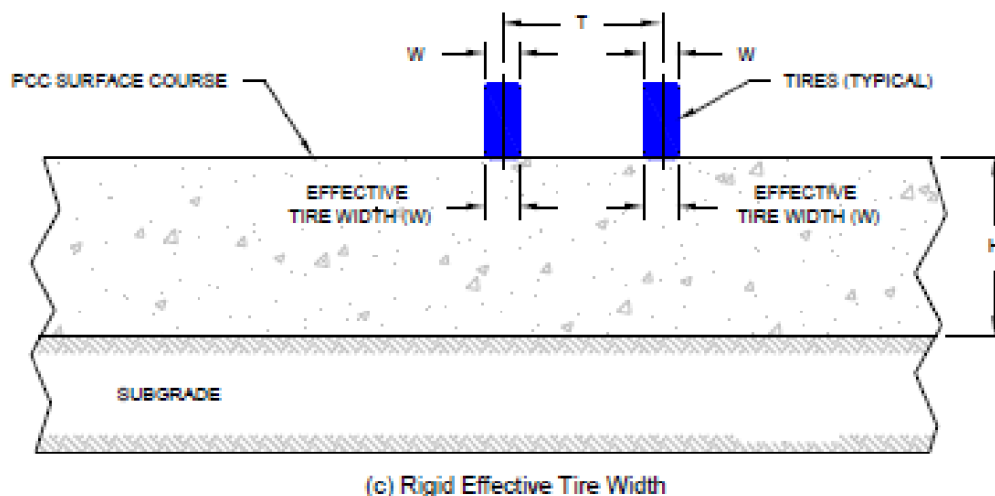
El programa tiene los parámetros para el diseño para cualquiera de los dos grandes tipos de pavimentos, sin embargo, como ya se mencionó anteriormente este proyecto se enfoca en el pavimento rígido para la calle de rodamiento, plataforma de parqueo y hangar del nuevo puesto de vigilancia aérea del Aeropuerto de guápiles, esto según disposiciones de la DGAC es por ello que los parámetros de diseño que se proceden a explicar se basan en este tipo de estructuras.

## 2.6. Relación Paso-Cobertura (P/C)

Según lo investigado por Ossa “El paso que tienen las aeronaves sobre cualquier estructura de pavimento no cumple siempre la misma trayectoria, estas se mueven de manera lateral en la mayoría de los casos, este tipo de rodamiento se le conoce como fluctuación lenta del avión y esta sigue un comportamiento de una distribución normal. En ocasiones es necesario una cantidad considerable de viajes o pasos por la superficie para que la carga se aplique de manera completa sobre una unidad de superficie, es por ello que esta relación paso-cobertura (P/C) se debe de calcular”. (García, 2014, p. 52).

El ancho efectivo del neumático para los pavimentos rígidos se constituye en la superficie y su medida es dada por el ancho completo de la llanta que está en contacto con esta superficie, y en base a este concepto en el que el programa FAARfield contempla el cálculo de la relación P/C.

**Figura No°4:** Relación Paso/Cobertura en un pavimento rígido



**Fuente:** FAA Advisory Circular AC 150/5320-6G

## 2.7. Factor de daños acumulativos

Según lo explicado anteriormente, en la metodología de diseño utilizado por FAARfield es indispensable obtener el factor de daño acumulativo (CDF), este factor define la cantidad de vida

de fatiga estructural del pavimento que ha sido sometido a cargas en un intervalo de tiempo; este factor se puede expresar como una relación entre la cantidad de repeticiones de cargas aplicadas y el número de repeticiones de carga admisibles hasta llegar al punto de fallo (ley de Milner).

$$CDF = \frac{\text{cantidad de repeticiones de carga aplicada}}{\text{Cantidad de repeticiones admisibles hasta el fallo}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- $CDF = 1$ , el pavimento ha cumplido con su vida útil y está muy cerca a fatigarse.
- $CDF < 1$ , el pavimento aún tiene algo de vida útil y el valor del CDF es la fracción de vida que ha sido empleada.
- $CDF > 1$ , el pavimento ha cumplido con su vida útil y está cerca de entrar en falla estructural.

“Cuando se desea realizar el diseño de una estructura nueva de pavimento rígido en FAARfield, el CDF se calcula mediante la tensión horizontal de borde en la parte inferior de la losa de concreto, esto se lleva a cabo de manera compatible con los procedimientos antiguos de la FAA, es decir, utilizando el 75% de la tensión de borde libre de Westergaard en el diseño, la cual se calcula reduciendo en un 25% la carga del tren de aterrizaje del avión.

El procedimiento que se lleva a cabo consiste en calcular el 75% de la tensión de borde libre con el tren orientado paralelamente al borde de la losa, después dicha tensión se calcula con el tren orientado perpendicularmente al borde, se comparan ambos valores y se elige el mayor que será la tensión crítica. Ocurre que, para la mayor parte de las configuraciones de trenes de aterrizaje, se puede predecir qué orientación es la que provoca la tensión crítica, en consecuencia, FAARfield no requiere hacer más de un cálculo para cada configuración de tren de aterrizaje” (García, 2014, p. 57).

El cálculo para el modelo de fallo en los pavimentos rígidos es distinto al de los pavimentos flexibles, en este se emplea la siguiente ecuación basados en el modelo del elemento finito en tres dimensiones (3D):

$$\frac{DF}{F_{cal}} = \left[ \frac{F's \ bd}{\left(1 - \frac{SCI}{100}\right)(d - b) + F's \ b} \right] x \log C + \left[ \frac{\left(1 - \frac{SCI}{100}\right)(ad - bc) + F's \ bc}{\left(1 - \frac{SCI}{100}\right)(d - b) + F's \ b} \right] \quad \text{Ecuación 2}$$

El índice de condición de falla (SCI) de un pavimento rígido en FAARfield se define cuando es igual a 80, por lo tanto, el programa realizará iteraciones modificando el espesor de la losa de concreto hasta que este valor sea igual a 80 al final de la vida útil de la estructura. De esta manera, el número de cobertura al fallo (C), que se presenta en la ecuación corresponde al número de cobertura que se necesita para que SCI tenga el valor necesario para cualquier relación de R/σ, donde (R) corresponde a la resistencia a flexión del concreto y σ es la resistencia a la tensión del concreto.

Finalmente, el valor (FCAL) corresponde a un factor de calibración de la tensión y se toma el valor de 1.13, el (F's) es un factor que se toma en base a la compensación por base estabilizada y los valores de (a), (b), (c) y (d) son valores predeterminados de manera empírica que corresponden a 0.5875, 0.2523, 0.7409 y 0.2465 respectivamente.

Al pavimento conseguir su primera grieta, el modelo de fallo del programa entiende que el SCI se deteriora debido a la cantidad de tráfico, eso analizado matemáticamente como una función lineal logarítmica determinada por la cantidad de coberturas. De la gráfica de la función lineal mencionada, el ajuste de la pendiente de la recta depende del factor (F's), es cuando la estructura de pavimento posee capa de base estabilizada considerable, cuando la capa de concreto se coloca por encima de una base estabilizada de al menos 4 pulgadas o bien por una capa de base de agregado grueso menor o igual a las 8 pulgadas y el resultado de su modelo es de 500 000 psi o 3447 MPa, (F's) toma el valor de uno (1), ahora bien si las capas de base o subbase son mayores a las recientemente mencionadas, el valor de (F's) va a ser menor y se va a aumentar el número de coberturas para el fallo.



## 2.8. Módulos de las Capas de FAARfield

Cabe mencionar que el programa posee los datos de los módulos de distintas capas para definir los espesores de la estructura en general, en base a la tabla #1 se puede observar la información de cada uno de ellos así como el valor a la resistencia a la flexión para las capas de concreto en los pavimentos rígidos, estos valores no son editables y poseen rangos admisibles en algunos casos, va a depender de la propuesta en específico de cada estructura de pavimento para que el programa determine cual capa utilizar y así su espesor final.

**Tabla No°1:** Módulos de capas utilizados por FAARfield.

<b>Tipo de Capa</b>	<b>Modulo (Mpa)</b>	<b>Resistencia a Flexión (Mpa)</b>
P-401/P-403 HMA Surface	1378.95	
P-401/P-403 HMA Overlay	1378.95	
P-401/P-403 Stabilized Base Flexible	2757.9	
Variable Stabilized Base Flexible	1034.21 a 2757.90	
PCC Surface	27579.03	3.45 a 5.52
PCC Overlay Unbond	27579.03	3.45 a 5.52
PCC Overlay on Flexible	27579.03	3.45 a 5.52
Variable Stabilized Base Rigid	1723.69 a 4826.33	
P-301 Soil Cement Base	1723.69	
P-304 Cement Treated Base	3447.38	
P-306 Econocrete Subbase	4826.33	
Rubblized PCC Base	689.48 a 2757.90	
P-208	FAARfield lo calcula	
P-209 Crushed	FAARfield lo calcula	
P-154 Uncrused	FAARfield lo calcula	
Undefined layer	6.89 a 27579.03	
Subgrade	6.89 a 344.74	

**Fuente:** Tesis de Diseño de Aeropistas, (García 2014, p 59).

## 2.9. Peso de las Aeronaves

Para la FAA, “Los pavimentos deben diseñarse para los pesos máximos de despegue previstos de los aviones de la flota que operan regularmente en la sección de pavimento que se está diseñando. El procedimiento de diseño generalmente asume que el 95 por ciento del peso bruto es transportado por los trenes de aterrizaje principales y el 5 por ciento es transportado por el tren de proa o nariz. FAARFIELD proporciona pesos de operación bruta y distribución de carga recomendados por el fabricante para muchos aviones civiles y militares. El uso del máximo peso de despegue previsto, brinda un diseño conservador que permite cambios en el uso operacional y cambios en el tráfico, en aeropuertos donde el tráfico opera regularmente a menos de la carga máxima. Cuando las llegadas constituyan el 85% o más de las operaciones de una pista, y para las salidas rápidas, se permite el uso de pesos de aterrizaje para el diseño”. (AC 5352-6G, 2021. P.39)

El peso de cada aeronave es diferente siempre aun cuando estas sean del mismo modelo, pero para fines de diseño esto se simplifica y cada fabricante establece un peso específico para cada una de ellas, estos variando según lo siguiente:

- **Peso Operacional Vacío (OEW):** Este es el peso de la aeronave más la tripulación y equipos necesarios para poder realizar un vuelo, lo único que no considera el peso del combustible ni su carga útil, este se toma en cuenta para las plataformas de carga, hangares y/o plataformas de mantenimiento de las mismas.
- **Peso Cero Combustible (ZFW):** El peso del avión en su estado operacional, pero sin contemplar el combustible, la diferencia con el OEW es que si considera la carga útil del mismo.
- **Máxima Carga Estructural de Pago:** Corresponde al peso máximo permitido de la nave correspondiente a su carga útil, esto contemplando el peso de los pasajeros más su carga, o bien únicamente la carga de transporte si se trata de un avión carguero.

- **Peso Máximo de Rampa:** Corresponde al máximo peso permitido para hacer maniobras en tierra, este si contempla el combustible e incluye este peso va disminuyendo ya que para dichas maniobras se pierde el peso del combustible consumido.
- **Peso Máximo Estructural de Despegue (MTOW):** El peso máximo del avión en condiciones de 15°F a nivel del mar para poder realizar su despegue, también corresponde a la máxima carga que puede soportar el tren de aterrizaje, este es el peso a considerar al momento del diseño de la estructura del pavimento, así como también el ZFW más el peso del combustible para el vuelo completo más su reserva.
- **Peso Máximo Estructural de Aterrizaje (MLW):** Es el peso máximo que se considera en el aterrizaje de la aeronave, es básicamente el MATOW menos el peso del combustible consumido por el vuelo.

## 2.10. Geometría del tren de aterrizaje

Para la FAA “El tipo de tren y la configuración determina proporcionalmente cómo se distribuye el peso del avión en un pavimento y cómo responde el pavimento a las cargas del avión.” (AC 5352-6G, 2021 p 39).

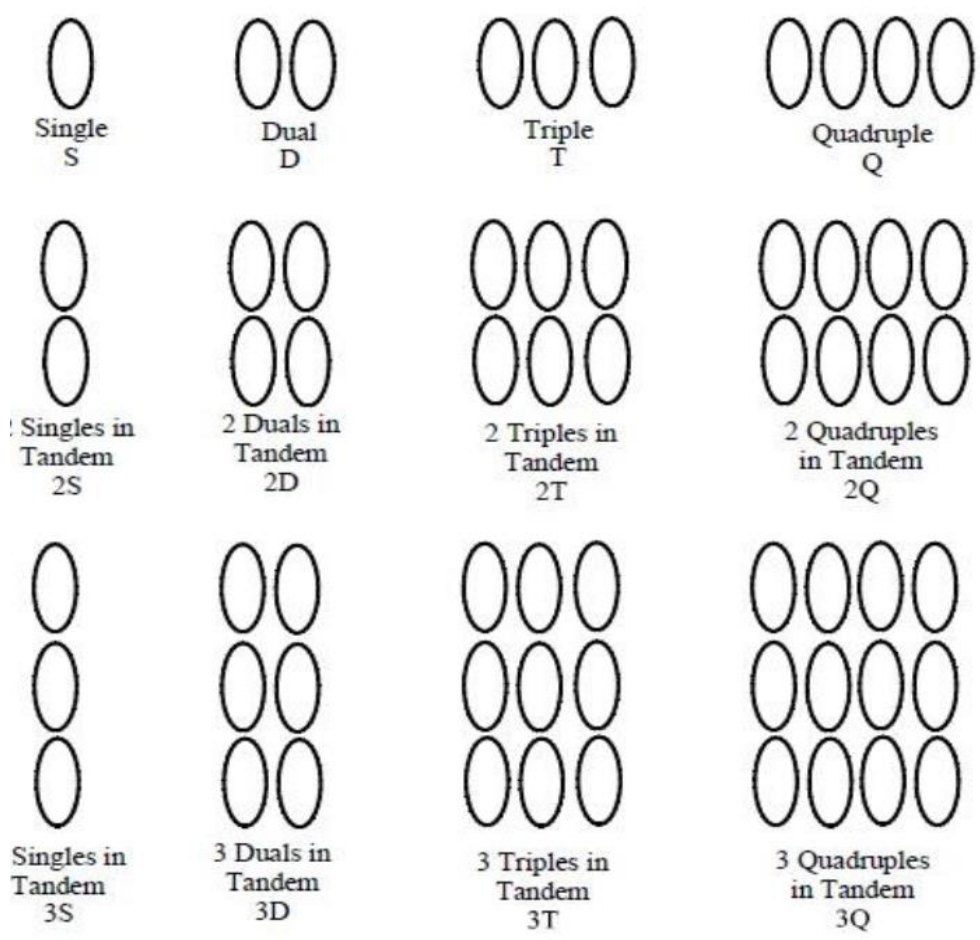
Existen varios tipos de combinación para los trenes de aterrizaje de las aeronaves, a cada conjunto de ruedas se les denomina apoyo de tren de aterrizaje, dentro de la variedad de apoyos estos representan a una categoría y dentro de los más típicos se encuentran:

- Rueda simple
- Ruedas gemelas
- Tándem de cuatro ruedas

De manera más sencilla, la imagen #5 nos muestra las diferentes configuraciones que existen y como dependiendo del tipo de avión, el programa realiza los cálculos de transmisión de carga del mismo hacia la superficie.

No siempre el tren principal de aterrizaje de la aeronave es factor crítico para el diseño, por ello la importancia para el programa saber su configuración; el mismo ya cuenta con una base de datos con la información de las aeronaves que dicha base contiene, pero además de esta, el usuario puede agregar esta información de manera manual en caso de que algún modelo en especificativo no se encuentre. Todos los análisis en base a la configuración del tipo de tren el programa las realiza de manera automática.

**Figura No°5:** Configuración de tipos de trenes de aterrizaje.



**Fuente:** FAA Doc. AC 150/5630-6E, 2009.

### **2.11. Volumen de Tráfico de Aeronaves**

Dentro de los parámetros de diseño del pavimento, es necesario contar con la información de aterrizajes y despegues y los tipos de avión, así como su frecuencia de llegadas, esto con el fin de poder obtener el avión de diseño. En general, los pavimentos se diseñan para un uso regular de las aeronaves de al menos 250 salidas anuales (unas 500 operaciones).

FAARfield requiere indicar el conjunto de aviones que se prevé utilizarán la estructura a lo largo de su vida útil, el software se encargará, a partir de la lista que tiene precargada, de indicar el tipo de tren de aterrizaje que posee la aeronave, así como el peso de éste.

A pesar de que el aeropuerto del actual proyecto en desarrollo no posee una combinación de tráfico muy grande o bien, un volumen de llegadas y despegues muy cuantiosa, el diseño contemplara los valores mínimos que la FAA requiere y por ende el software FAARfield así lo contemplara.

### **2.12. Módulo de Reacción de la Subrasante**

Para García “El módulo de reacción de la subrasante ( $k$ ) de una estructura de pavimento representa la relación existente entre la presión que se aplica mediante una placa circular de sección ya establecida y la penetración o deflexión que resulta de ello, el procedimiento de dicha prueba se establece en la norma AASHTO T-222 y ASTM D-1195 y es llamado prueba o ensayo de placa de carga. Para el diseño de pavimentos rígidos es indispensable conocer la capacidad portante de la subrasante, es decir, la resistencia que presenta el suelo de cimentación a ser comprimido bajo la acción de cargas, en consecuencia se recurre a la prueba de placa de carga, la cual se lleva a cabo en el lugar donde se construirá la estructura de pavimento cuidando que las condiciones climatológicas, de humedad y acomodo del suelo sean similares a las que existirán cuando se haya construido el pavimento, para simplificar la comprensión de dicho ensayo.

Para determinar el módulo  $k$  se debe aplicar una presión al suelo similar a la que le transmitirá el pavimento ya puesto en operación, esta presión, por lo general, equivale a  $0,7 \text{ kg/cm}^2$  o 10

psi. El área de las placas circulares está establecida en la normativa, siendo la placa de mayor superficie aquella que posee un diámetro de 76,2 cm, sobre ella se van colocando en forma piramidal las demás placas, y con los deflectómetros se van registrando las deformaciones verticales que va presentando el suelo. Se obtiene un promedio de las deformaciones obtenidas ( $\Delta$ ) y se realiza la siguiente operación para obtener el valor k:

$$K = \frac{p}{\Delta} \qquad \text{Ecuación 3}$$

Donde  $p$  representa la presión mencionada anteriormente de 0,7 kg/cm<sup>2</sup> (García, 2014. P72).

Es mediante esta última ecuación que, si en el caso no se pueda realizar el ensayo respectivo en el terreno para la obtención del factor “K”, se puede realizar el cálculo de manera aproximada.

### **2.13. Pavimentos Flexibles para calle vehicular**

Como se mencionó anteriormente los pavimentos flexibles en su capa superficial, se compone de una mezcla de agregados finos y gruesos con el material bituminoso que proviene del destilado del petróleo, esta combinación proporciona una buena unión y cohesión permitiendo resistir las cargas sometidas provenientes por el desgaste del paso vehicular, trabaja de manera eficiente la impermeabilización de la estructura completa del pavimento así como una rigidez óptima para trabajar de una manera flexible.

De la obtención del asfalto también se puede obtener:

- Hormigón Asfáltico
- Asfaltos rebajados (asfalto líquido a temperatura ambiente)
- Asfalto emulsionado (se hace líquido con mezcla de agua y emulsificante)
- MAC (mezcla asfáltica en caliente para sello de juntas)
- Riegos Asfálticos para imprimación, riego de liga o sello negro.

## **2.14. Metodología AASHTO**

Al igual que los pavimentos aeronáuticos, para las calles regulares de paso de vehículos existen varios métodos de diseño para el mismo, para este proyecto la metodología a utilizar será la AASHTO-93.

En base la guía AASHO-1993 “se proporciona un grupo completo de procedimientos, los cuales pueden ser usados para el diseño y rehabilitación de pavimentos rígidos flexibles, así como superficies de agregados para caminos de bajo volumen de tránsito. La guía ha sido desarrollada para proporcionar recomendaciones concernientes a la determinación de la estructura de pavimentos, dichas recomendaciones incluyen la determinación del espesor total de las capas de la estructura y el espesor de los componentes estructurales individuales. Los procedimientos para el diseño prevén la determinación de estructuras alternativas, utilizando una variedad de materiales y procedimientos de construcción.” (AASHTO-93, 1993. p15).

## **2.15. Parámetros metodología AASHTO**

Para lograr obtener los resultados requeridos en el diseño del pavimento a través de la guía AASHO-93 se deben contemplar los siguientes parámetros:

- El tipo de tránsito y su equivalencia de ejes a 18 000 lbs ESALS.
- Pérdida de Servicio.
- Nivel de confianza requerido.
- Desviación estándar.
- Módulo de la subrasante  $M_r$ .
- Los módulos dinámicos de las diferentes capas que van a conformar la estructura ( $A_i$  y  $M_i$ ).
- El número estructural  $SN$ .

Para la debida aplicación de la información brindada en la guía AASHTO (1993) y según esta, “la guía describe y proporciona un método específico para ser usado en la determinación de

un diseño alternativo, o recomendaciones específicas de rehabilitación para la estructura del pavimento, existe un numero de consideraciones que son dejados para la determinación final por el usuario, por ejemplo: Coeficientes de drenaje, factores ambientales y nivel de servicio final”. (AASHTO-93, 1993. p18).

## **2.16. ESAL's de diseño**

El debido diseño de una estructura de pavimento debe ser capaz de soportar los efectos acumulativos del paso de los vehículos sobre su superficie para un periodo de tiempo propuesto en su diseño; sin embargo, estos efectos son producidos por diferentes tipos de vehículos con configuraciones de diferentes tipos de llantas y diferentes cargas, es por ello que para el debido análisis de propuesta de diseño es necesario tener una equivalencia entre todos el posible transito que va a pasar por esta.

El termino ESAL no es más que una equivalencia entre los ejes de toda esta variedad de tránsito, el cual conlleva a trasladar todo el flujo vehicular a ejes equivalentes de 18 000 lbs.

Para el Ingeniero Jorge Coronado:

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden en igual forma de diferente manera a igual carga. Como estas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas tendrán que ser distinta.

Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de transito se transforma en un numero equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de transito mixto de los vehículos. Esta carga uniformizada según ASSHTO es de 80kN o 18 000lbs y la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga LEF (Load Equivalent Factor).

El proceso de convertir un tránsito mixto a un numero de ESAL's de 18 000 lbs fue desarrollado por el Road Test de AASHTO.” (Coronado, 2002 p43).



### **2.17. Perdida de Servicio**

En un pavimento, al momento de transitar sobre este, se le puede asignar un valor en que pueda determinar su grado de confort, este se encuentra entre 1 y 5 donde 1 será un pésimo nivel de confort y 5 sería una calidad perfecta.

Si bien estos valores se pueden obtener por apreciaciones a nivel de expuesta a los usuarios o se puede llegar a medir su deterioro a través del índice internacional de rugosidad (IRI) el cual es una prueba con un equipo especializado que pasa sobre la carretera y mide las imperfecciones de la carretera.

La resta entre el nivel de servicio inicial de una carretera (esperado) y el final es a lo que se le conoce como pérdida de nivel de servicio o  $\Delta$ PSI y corresponde a la base para el debido diseño de un pavimento flexible.

### **2.18. Nivel de confianza**

El nivel de confianza corresponde a la probabilidad de que el diseño de un pavimento flexible vaya a funcionar en su totalidad durante el periodo de vida de diseño para el cual fue contemplado. Dado que existe una clasificación de tipos de carreteras que dependen de su nivel de uso e importancia, ya sean unas más críticas que otras este nivel de confianza en términos de porcentaje varía entre ellas.

### **2.19. Desviación estándar**

La desviación estándar se define como un coeficiente que describe que tan bien la información de la “Road Test data” de la AASHO encaja en las ecuaciones de diseño de la ASSHTO. Una desviación con un valor de factor bajo hace que la ecuación de diseño realice un mejor modelo.

## 2.20. Módulo de la subrasante (Mr)

El módulo de la subrasante (Mr) es un valor que describe la fundación para una estructura de pavimento, es la propiedad del suelo que indica su capacidad elástica o de rigidez resultante de las cargas dinámicas a la que se ve sometido el pavimento.

El módulo de resiliencia del suelo mide la cantidad de deformación recuperable en cualquier nivel de compresión para una muestra de prueba de carga dinámica; condiciones de temperatura, humedad carga y demás son variables que van a estar presentes en el momento del cálculo de este módulo.

Para la debida obtención de este módulo se debe contar con un valor de CBR (California Bearing Radio), este valor se puede proponer en los casos que no se tenga un resultado proveniente de la prueba de ensayo CBR, la cual corresponde en compactar una serie de moldes en condiciones saturadas y los cuales se les aplica un punzonamiento mediante un pistón, esta prueba se rige por las normas ASTM 1883 y UNE 103502. A través de esta prueba lo que se busca es obtener el índice CRB en términos de porcentaje y la cual es una relación entre la carga que se le aplica de punzonamiento y lo obtenido a través del mismo proceso, pero aplicado a roca triturada.

Los valores de CBR si se quieren proponer en el caso de que no exista prueba de laboratorio no será mayor a un 5% y el valor de Mr se puede obtener mediante la ecuación para CBR menores a 10%:

$$Mr = 1500 * CRB \qquad \qquad \qquad \text{Ecuación 4}$$

## 2.21. Módulos dinámicos de las capas (Ai y Mi)

Para las capas que conforman la estructura de pavimento, a cada una de ellas se les debe asignar un valor de coeficiente de capa (Ai), estos son solo para las capas de pavimentos flexibles, estos valores dependen de cada material a utilizar en la propuesta de diseño con el fin de obtener el valor SN (número estructural) de cada capa.

La el valor del coeficiente de drenaje ( $M_i$ ) de cada capa va a depender de que tan eficiente va ser una capa para evacuar el agua y evitar penetraciones de la misma, donde el valor 1 sería un valor excelente donde es prácticamente impermeable y 0.5 un valor muy bajo, para obtener este dato se debe de contemplar también que tanto tiempo la subrasante y las capas de base van a estar expuestas a situaciones de saturación.

## 2.22. Numero estructural SN

Este número se obtiene al final de haber empleado y desarrollado los criterios anteriormente explicados, es número es necesario para la obtención de los espesores de las capas la estructura del pavimento, para la obtención de este número se debe de aplicar la ecuación básica de diseño de la AAHSTO.

## 2.23. Ecuación básica de Diseño AASHTO-93

Para pavimento flexible, la ecuación básica de diseño según AASHTO-93 es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)5.19}} + 2.32 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$* \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde:

$W_{18}$  = Cantidad de aplicaciones por eje simple equivalentes a 18kip (ESAL)

$Z_R$  = Desviación estándar

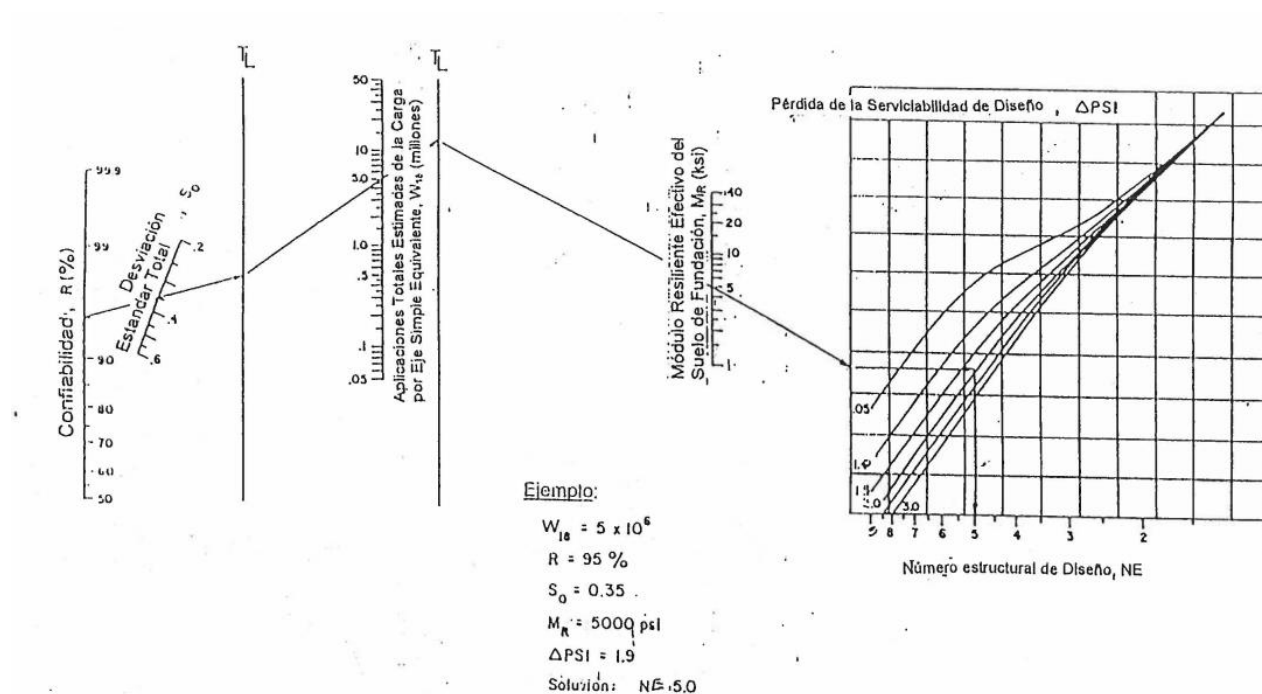
$S_0$  = Error estándar de la predicción del comportamiento y predicción del trafico

$\Delta PSI$  = Diferencia entre el índice de servicio inicial de diseño  $P_0$  y el índice de servicio final  $P_0'$

$M_R$  = Modulo de resiliencia (psi)

En base a esta ecuación se puede calcular los valores requeridos para el diseño, o bien emplear el siguiente nomograma o Carta de Diseño de pavimentos Flexibles, basada en el uso de valores medios para cada ingreso de datos.

**Figura No°6:** Nomograma para obtención de numero estructural SN de las capas.



**Fuente:** AASHTO-93, p43

Lo que se busca en este nomograma es la obtención el número estructural de cada capa en base a la obtención de los datos de periodo útil de diseño y los valores descritos en la ecuación general.

Para el cálculo del SN se aplica la siguiente ecuación, donde el coeficiente de capa está referido como un valor ( $m_i$ ) y está integrado junto con el coeficiente de capa ( $a_i$ ) (ASSHTO-93, p50):

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

*Ecuación 6*

De esta manera, cuando se obtiene el valor SN ya sea de la formula o de la carta de diseño, se despeja la variable “D” para obtener el valor del espesor total de la estructura, así como el valor del espesor de cada capa de forma individual.

#### **2.24. Presupuesto general de Obra**

La determinación del presupuesto de una obra el Project Management Institute PMI define como “Proceso que consiste en sumar los costos estimados de las actividades individuales o paquetes de trabajo para establecer una línea base de costos autorizada”. (PMI, 2017)

El proceso de elaboración de un presupuesto de una obra civil requiere de una estimación en los cálculos directos de la obra, cálculos indirectos y posteriormente las utilidades de la misma, sin embargo, para efectos de este proyecto se enfocará únicamente en el cálculo de materiales y su costo, ya que es información necesaria que requiere la DGAC para su análisis de factibilidad.

#### **2.25. Costos Directos de un presupuesto**

El costo directo de una obra se puede resumir como la suma de los costos de los materiales que la obra necesita para su elaboración, la estimación de las cantidades de estos, así como el costo de la mano de obra asociada a la ejecución de la obra y el costo de los equipos y herramientas necesarios para la realización de las actividades.

Para la realización del presupuesto del proyecto en general se contemplarán únicamente los costos directos asociados al mismo, los costos indirectos que también son pieza fundamental en la elaboración del proyecto no se toman en cuenta ya que para el análisis de factibilidad por parte de la DGAC los mismos no son requeridos para la etapa de aprobación en la que se encuentran, únicamente el monto del costo de materiales y mano de obra son lo que de momento necesitan.

La forma en la que se desarrollara el presente proyecto en términos de costo será a través de montos unitarios por m<sup>3</sup> de cada capa de la propuesta de pavimento que se vaya a tomar como

final, tanto para la estructura rígida de la plataforma de parqueos, calle de rodamiento y loza del hangar, así como para la estructura flexible del acceso vehicular.

### **3. Marco metodológico**

#### **3.1. Enfoque metodológico y métodos de investigación**

Para la elaboración del presente proyecto de diseño de las estructuras de pavimento, así como la realización del presupuesto todo lo anterior basado en los objetivos propuestos, el enfoque metodológico será cualitativo. Mediante la obtención de los datos preliminares obtenidos por el estudio de suelos previamente calculado, el análisis de la información suministrada por la DGAC que se cuenta como lo son, tipos de aviones, cargas de la estructura del hangar y también los criterios de diseño desarrollados en el marco teórico serán las variables de análisis para la aplicación de los cálculos teóricos necesarios para la obtención de los resultados de diseño planteados en los objetivos.

La metodología del proyecto será analítica, ya que según nuestra pregunta planteada en nuestra justificación va a poder contestarse de manera cuantitativa mediante la obtención de resultados de los parámetros que se van a calcular y/o medirse.

El proceso de obtención de resultados iniciara realizando una propuesta que representa el planteamiento del problema en estudio, luego se obtienen las ecuaciones respectivas para delimitar los límites y se presentan formulas en función de los principios y leyes de la ciencia.

Finalmente aplicando los conocimientos disponibles se aplican estos principios y leyes a los parámetros del proyecto y se realiza el cálculo, de este los resultados que se buscan representar serán en modo numérico, ya que los objetivos así lo requieren y se comprueban en base resultados obtenidos en proyecto o diseños anteriores, esto con el fin de tener una certeza de la buena aplicación de la metodología y una aceptación en los resultados obtenidos.

### 3.2. Variables

**Tabla No°2:** Variables metodológicas.

<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Variables independientes</b>	<b>Variables dependientes</b>	<b>Herramientas</b>
Obtener mediante el método de la FAA (Federal Aviation Administration) utilizando el Software FAARFIELD el diseño del pavimento rígido a ser utilizado como calle de rodamiento, loza de concreto y plataforma de parqueo.	Se utiliza el criterio establecido por la AC-5320-6G de la FAA	Diseño de los espesores de las capas de la estructura del pavimento	Software FAARfield de la FAA
Elaborar los planos constructivos de la calle de rodamiento, loza de concreto y plataforma de parqueo.	Se utiliza normativa de presentación de planos que rige el CFIA	Dibujo de los planos constructivos de las estructuras de pavimentos	Revit-AutoCad
Diseñar pavimento flexible vehicular para la ruta desde la caseta de vigilancia del aeropuerto hasta el nuevo puesto de vigilancia aérea.	Se utiliza el criterio establecido por la guía AASHTO-93	Diseño de las capas del pavimento de la calle vehicular	Hojas de Cálculo en Excel- Nomogramas
Generar presupuesto de construcción de la obra del nuevo puesto de vigilancia aérea, pavimento de calle de rodamiento, plataforma de parqueo y loza de hangar.	Se utiliza la metodología prevista en el PMBOOK 2017	Elaboración del presupuesto del costo directo de la obra	Hojas de Cálculo en Excel- Cotizaciones de proveedores

**Fuente:** Propia.

### 3.3. Categoría de análisis de la investigación

De los objetivos planteados en este proyecto la categoría de análisis que corresponde es la de Pavimentos Aeronáuticos, la cual limita la frontera de análisis a diseños de estas estructuras únicamente a aeropuertos, los criterios y parámetros para la propuesta de diseño y sus respectivos



análisis van enfocados y basados en las recomendaciones y normativas designadas para esta categoría.

Por otra parte, se tienen otras subcategorías que van a guiar el análisis y el desarrollo del proyecto entre las cuales están las siguientes:

- Tipos de pavimentos aeronáuticos y la propuesta en base a uno de ellos
- Metodología de diseño aplicado a la propuesta de diseño cumpliendo con lo establecido para la categoría estudiada
- Pavimentos vehiculares flexibles según en unos de los objetivos propuestos anteriormente.
- Costos de la obra mediante la generación del presupuesto de la misma.

#### **3.4. Población y muestra, técnicas de muestreo**

La población del proyecto en desarrollo comprende el sector noroeste Aeródromo de Guápiles, entre 60 a 130m de distancia con respecto al borde de la pista activa en unos terrenos que están en proceso de expropiación por parte de la DGAC.

Para la muestra del presente proyecto no la contemplara ya que los datos de la información del suelo necesarios para la ejecución del proceso de diseño lo brindasen la DGAC.

#### **3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

La técnica que se emplea para este proyecto se clasifica como mixta ya que la información que se obtiene en la investigación previa y para la conformación del marco teórico proviene de la literatura, de textos y trabajos anteriores sustentados en fuentes confiables y comprobadas, por lo que la recolección de datos para la efectiva aplicación de la metodología de diseño es a través de las fuentes previamente mencionadas así como el uso de herramientas tecnológicas como los softwares de diseños y modelación.

Para el debido procesamiento de datos se emplea el análisis diagnóstico, el cual, a través de toda la información obtenida, se extrae lo más importante y que aplique para nuestro objeto de análisis, teniendo así una síntesis de conocimiento previo y empleándolo de manera específica a nuestros criterios de diseño.

### **3.6. Técnicas e instrumentación para el procesamiento y análisis de los datos**

La técnica para los análisis y el debido procesamiento de la información plasmada en el marco teórico consistirá en un ordenamiento de manera primordial, ya que no toda se utiliza al mismo tiempo y los resultados que se van obteniendo van a definir qué datos se van necesitar en el paso siguiente.

Con la información recopilada del estudio de suelos, se alimenta el programa FAARfield según los pasos explicados en el marco teórico, de este se trae la información de los espesores de las capas de la estructura del pavimento según lo propuesto en el objetivo de este proyecto.

Con lo obtenido en el software, se elaboran los planos del proyecto apoyado en herramientas de modulación y dibujo como lo son Revit y AutoCad, esto para cumplir con el segundo objetivo específico planteado.

Posteriormente con la propuesta geométrica dada por la DGAC y con el apoyo de la guía AASHTO-93, se emplean los criterios en base a la información recopilada para obtener el diseño de la calle de rodamiento vehicular del tercer objetivo del proyecto.

Por último, para cumplir con el cuarto y último objetivo y mediante la utilización de la herramienta Excel, se prepara un estimado del costo total de la obra, con base en base de datos de precios unitarios brindada por la DGAC.

Una vez teniendo los resultados finales se analizan y se comprueban los mismos para la seguridad de haber obtenido las respuestas a nuestros objetivos y que estén sean reales y acordes a lo que se estaba buscando.

La presentación final de resultados se hará a través de esquemas o diagramas y con la elaboración final de planos que representen los datos finales obtenidos y que estos puedan transmitir de forma clara todo lo planteado en los objetivos satisfaciendo cada uno de ellos.

## **4. Análisis de Resultados**

### **4.1. Diseño Pavimento rígido mediante FAArfield**

En base a la metodología de diseño empleada por el software FAArfield se procede a recopilar los datos necesarios que el programa requiere para hacer sus análisis y a su vez la propuesta de las capas que van a componer el diseño de la estructura del pavimento.

Inicialmente se requiere del listado de aeronaves que van a requerir el uso de la calle de rodamiento, plataforma de parqueos y loza del hangar del nuevo puesto de vigilancia aérea, esto con el fin de obtener el tráfico anual aéreo, uno de los parámetros necesarios de diseño; la tabla 3 muestra un resumen del año 2022 del tipo de aeronaves, su MASTOW y la frecuencia de aterrizajes y despegues que se generaron en dicho año.

**Tabla No°3:** Tráfico aéreo anual, año 2022 Aeródromo de Guápiles.

Operador	N° Operaciones	Peso en kg	Total MTOWS (Ton)	Cantidad Llegadas y Salidas (6 meses)	Anual	Tipo Aeronave
CHARQ ESTUDIO SOCIEDAD ANONIMA	1	1,157	1.2	5	38	Piper PA-32-300
PRIVADO	1	1,157	1.2	4	18	Cessna 152
AENSA ACADEMIA DE ENSEÑANZA AERONÁUTICA S.A. y AERO TOUR SRL	1	550	0.55	7	14	Piper PA-28
SERVICIOS AÉREOS KING AIR LIMITADA	1	5,216	5.2	1	10	Beechcraft King Air
JORGE QUIRÓS CHAVES	1	430	0.4	1	10	Piper PA-28
ECDEA S.A.	1	1,157	1.2	3	10	Piper PA-32-300
CHIQUITA BRANDS COSTA RICA S.R.L	1	3,629	3.6	1	8	Beechcraft King Air
AENSA ACADEMIA DE ENSEÑANZA AERONÁUTICA S.A	1	1,406	1.4	4	8	Piper PA-32-300
SERVICIOS AEREOOS KING AIR LIMITADA	1	5,216	5.2	2	6	Beechcraft King Air
PRIVADO	1	1,406	1.4	1	6	Cessna R182
AERO COLONO CR.S.A.	1	5,216	5.2	1	4	Beechcraft King Air
COMPAÑÍA AEROTICA	1	1,157	1.2	1	4	Cessna 152
TIADA S A	1	1,406	1.4	2	4	Cessna R182
AENSA	1	1,157	1.2	1	4	Piper PA-28
LÍNEAS AÉREAS TRANS COSTA RICA S.A.	1	1,225	1.2	1	4	Piper PA-32-300
CARMON AIR Y ESCUELA ECDEA	1	1,134	1.1	2	4	Piper PA-32-300
AIRES DE PAVAS S.A.	1	1,633	1.6	2	4	Piper PA-34 Seneca
PRESTIGE WINGS S.A.	1	3,629	3.6	1	2	Beechcraft King Air
STANDARD FRUIT CO. DE COSTA RICA S.A.	1	5,216	5.2	1	2	Beechcraft King Air
WOOR CONNECTIONS SERVICES S.A.	1	3,100	3.1	1	2	Beechcraft King Air
TRANSPORTES URSULA S.A./JURGEN WOLFGANG STEIN	1	430	0.4	1	2	Cessna 152
3-101-563646 S.A. Antonio Silva Meneses	1	430	0.4	1	2	Cessna 152
COMPAÑÍA DE AVIACIÓN DE C.R. S.A.	1	430	0.4	1	2	Cessna 152
EL COLONO AGROPECUARIO S.A	1	1,088	1.1	1	2	Cessna 152
GYRO DELLBRUECK S.A.	1	430	0.4	1	2	Cessna 152
AEROBELL FLIGHT SCHOOL	1	1,406	1.4	1	2	Cessna 206
SANSA	1	4,000	4.0	1	2	Grand Caravan
AENSA ACADEMIA DE ENSEÑANZA AERONÁUTICA S.A	1	1,157	1.2	1	2	Piper PA-28
AENSA ACADEMIA DE SENSEÑANAZA AERONÁUTICA S.-A y AERO TOUR SRL	1	1,157	1.2	1	2	Piper PA-28
VIAJES ESPECIALES AÉREOS S.A. (VEASA)	1	550	0.55	1	2	Piper PA-28
AERONIETO S.A.	1	1,113	1.1	1	2	Piper PA-32-300
INVERSIONES SIETE VEINTIUNO S.A	1	1,406	1.4	1	2	Piper PA-32-301
MINSTERIO DE SEGURIDAD PÚBLICA	1	3,629	3.6	1	2	Piper PA-34 Seneca
MINISTERIO DE SEGURIDAD PÚBLICA	1	1,406	1.4	1	2	Piper PA-34
ASESORIAS DORVEN S.A.	1	2,155	2.2	1	2	Piper PA-46 Malibu
HELISERVICIOS AERBELL S.A.	1	1,633	1.6	1	2	Piper PA-34 Seneca
OCHENTA Y SEIS S.A. arrendada AERO CARIBE S.A.	1	1,633	1.6	1	2	Piper PA-34 Seneca

**Fuente:** Información brindada por DGAC, de enero a agosto 2022.

Según los datos obtenidos de la tabla 3, se realiza un resumen de aeronaves para así alimentar con esta información, quedando según la tabla 4 a continuación.

**Tabla No°4:** Resumen de llegadas anuales.

Aeronave	Llegadas Anuales
Beechcraft King Air	34
Cessna 152	32
Cessna 206	2
Cessna R182	10
Grand Caravan	2
Piper PA-28	34
Piper PA-32-300	66
Piper PA-34 Seneca	12
Piper PA-46 Malibu	2
Harbin Y-12E	12

**Fuente:** Información brindada por DGAC, de enero a agosto 2022.

Como otro dato necesario para el diseño de un pavimento es el factor “k”, el cual corresponde al coeficiente de reacción vertical o coeficiente de balasto del suelo, este se obtiene del estudio de suelos realizado en el sitio del proyecto, de dicho estudio se obtiene que para el diseño utilizar el valor máximo de  $1.3 \frac{kg}{cm^3}$ , y es este valor justamente que se va a emplear en el diseño, que transformándolo a las unidades del programa equivale a  $12.8 \frac{MN}{m^3}$

**Figura No°7:** Lectura del coeficiente de Balasto

Geotecnia • Laboratorio • Diseño • Supervisión • Control de Calidad



#### **Coeficiente de balasto**

El coeficiente de reacción vertical no es un parámetro intrínsecamente geotécnico sino que depende de otras variables, como la direccionalidad de la resultante de cargas y las características de la superficie cargada, entre otras. Para su determinación se requiere la ejecución de pruebas de placa rígida; sin embargo, de manera preliminar, en el caso de la solución tipo losa, para el relleno de sustitución se recomienda considerar un valor no mayor a  $4 \text{ kg/cm}^3$ .

Para el suelo del sitio se recomienda considerar un valor de coeficiente de reacción vertical no mayor a  $1,3 \text{ kg/cm}^3$ .

**Fuente:** “Estudios de suelos en el Aeródromo de Guápiles” #21-OTS-0123-2088-M1 elaborado por la empresa VIETO Ingenieros Consultores

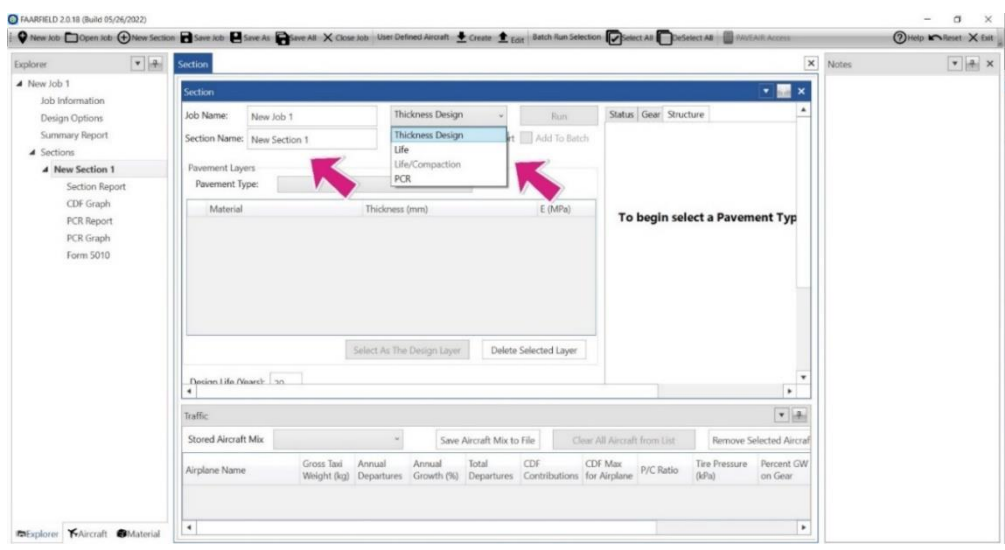
Una vez obtenidos los datos del tráfico aéreo anual y del módulo de reacción “k” del terreno se procede a ejecutar el programa FAARfield, se explica paso a paso la escogencia de los parámetros de diseño, así como se alimenta con la información obtenida anteriormente.

Se realizan tres (3) propuestas distintas para ser tomadas en cuenta, se estudiará los cambios en los espesores de cada capa de la estructura dependiendo del tipo de base o la cantidad de capas presentes en cada propuesta, así como también se analizará posteriormente cuál de ellas será la más factible desde un punto de vista económico, las propuestas serán las siguientes:

- Propuesta 1:
  - Capa de concreto hidráulico
  - Capa de base estabilizada suelo cemento
  - Capa de subbase granular
  - Subrasante
  
- Propuesta 2:
  - Capa de concreto hidráulico
  - Capa de base estabilizada suelo cemento
  - Subrasante
  
- Propuesta 3:
  - Capa de concreto hidráulico
  - Capa de base granular
  - Subrasante

Para todas estas propuestas, la metodología de análisis del programa va ser la misma, y los parámetros de entrada obtenidos también, cabe mencionar que todas estas propuestas pueden tomarse como finales ya que todas van a cumplir con los lineamientos por parte de la FAA, factores económicos y/o constructivos pueden ser los determinantes para optar por una u otra. Los informes finales que el programa genera por cada propuesta serán evaluados con el fin de analizar las diferencias entre cualquiera de las 3 propuestas.

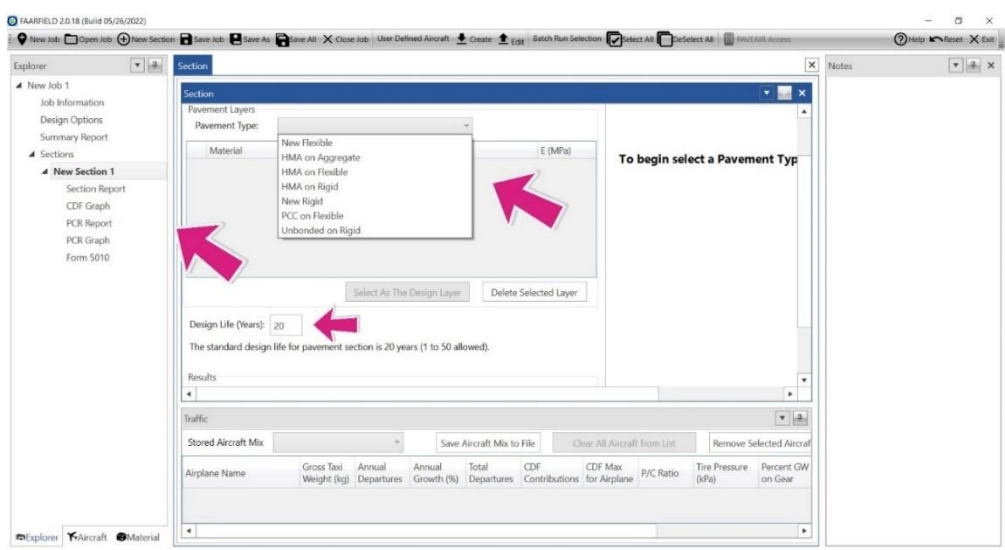
**Figura No°8:** Menú de inicio, Software FAARfield



**Fuente:** FAARfield Software

Como se logra observar en la ilustración 8, se muestra la página principal del programa, en donde se debe alimentar con la información previamente obtenida, la información básica del proyecto, así como también se debe seleccionar el tipo de análisis que se requiere en base a el tipo de pavimento seleccionado.

**Figura No°9:** selección de tipo de pavimento, años de diseño y sección de reportes, Software FAARfield.

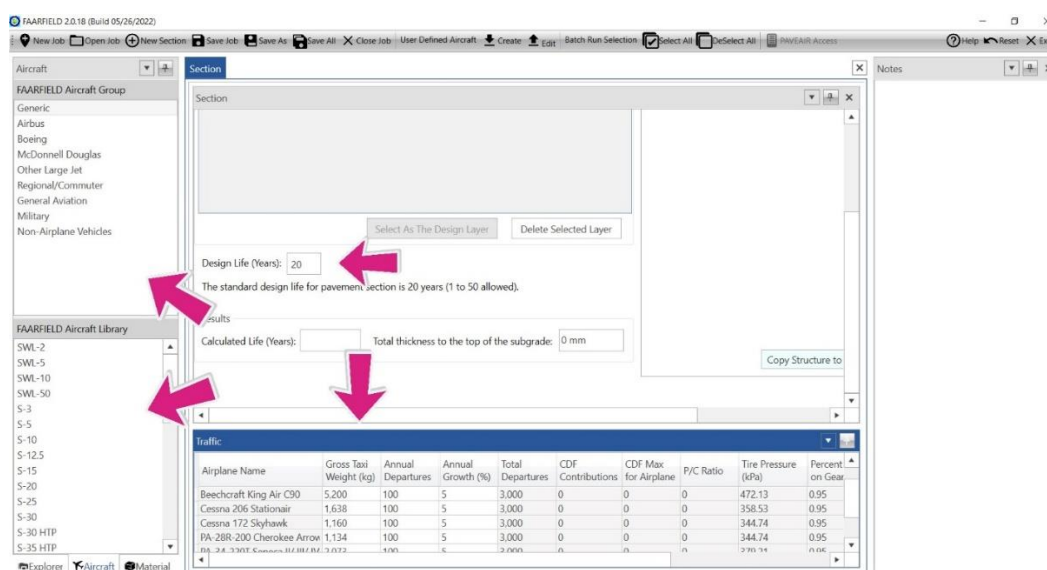


**Fuente:** FAARfield Software



Para el caso de este proyecto y según se muestra en la ilustración 9, se elige el pavimento tipo “New Rigid”, que hace referencia al tipo rígido el cual va ser el mismo para los 3 diferentes casos de análisis previamente propuestos, se elige 20 años de vida de diseño, el cual es el recomendado por la FAA; también además en la misma imagen al lado izquierdo se muestra los 5 diferentes reportes que el software brinda después de haber ejecutado los análisis en la seguilla de “Explorer”.

**Figura No°10: Menú de Aeronaves, Software FAARfield**



**Fuente: FAARfield Software**

Una vez elegidos los parámetros de diseño se añade el listado de aeronaves que van a hacer uso del pavimento a diseñar, cabe destacar que en este listado de aeronaves es en base a la información brindada por la DGAC, tanto en tipo de aeronaves, así como en la frecuencia de viajes como se muestra en la tabla 4, para este diseño se contempla un promedio de despegues anual mínimo de 100 con incremento del 5%, el cual es mayor a lo reportado por la DGAC pero con el fin de tener un criterio de seguridad mayor en caso de tener un tráfico mayor conforme los años pasen.

Al lado izquierdo de la ilustración 10 en la cejilla “Aircraft” se almacenan la mayoría de aeronaves agrupada por los grupos más grandes a nivel mundial, para efectos de este proyecto la mayoría de aeronaves están en el grupo de naves tipo “Generic Aviation” y con la peculiaridad que se toma en cuenta el vehículo especial de bomberos, el cual está en la categoría “Non Airplane Vehicles”, este de suma importancia como se mostrara más adelante, ya que por su configuración va a ser el más crítico en el diseño.

**Figura No°11:** Menú de información de capas, Software FAARfield

The screenshot displays the FAARFIELD software interface. The main window is titled 'Section' and contains a table of material layers. Below the table are buttons for 'Select As The Design Layer' and 'Delete Selected Layer'. To the right is a cross-section diagram of the pavement structure. At the bottom, there is a 'Traffic' section with a table of aircraft data.

Material	Thickness (mm)	E (MPa)	k (MN/m <sup>3</sup> )	R (MPa)
P-501 PCC Surface	356	27,579.04		4.48
P-401/P-403 HMA Stabilized	127	2,757.90		
P-209 Crushed Aggregate	152	517.11		
Subgrade		19.47	12.8	

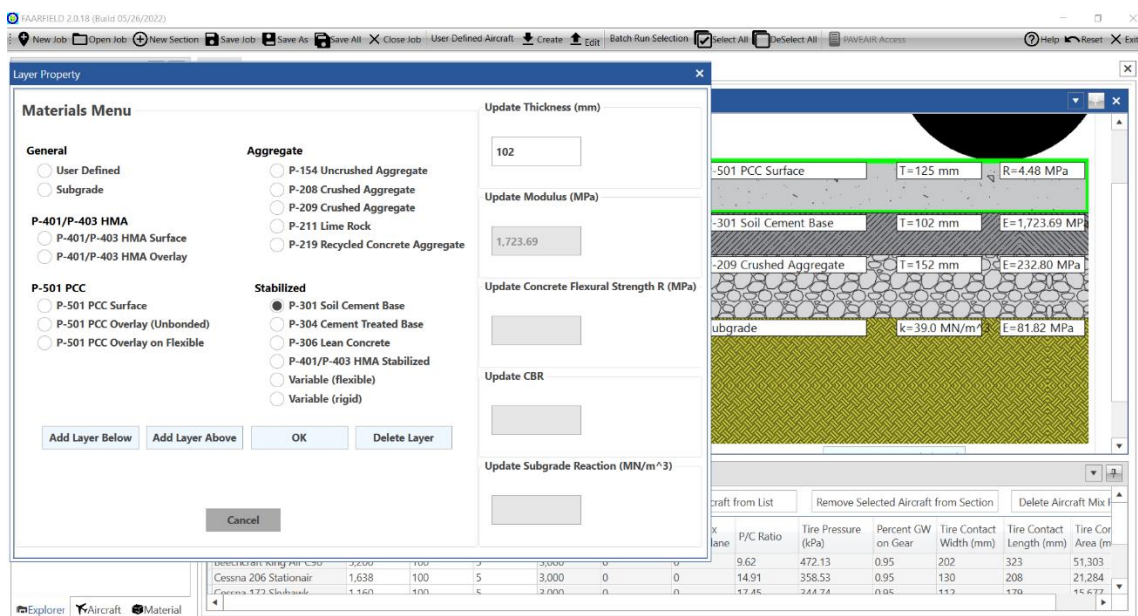
Airplane Name	Gross Taxi Weight (kg)	Annual Departures	Annual Growth (%)	Total Departures	CDF Contributions	CDF Max for Airplane	P/C Ratio	Tire Pressure (kPa)	Percent GW on Gear	Tire Contact Width (mm)	Tire Contact Length (mm)	Tire Ar
Beechcraft King Air C90	5,200	100	5	3,000	0	0	0	472.13	0.95	298	477	11
Cessna 206 Stationair	1,638	100	5	3,000	0	0	0	358.53	0.95	130	208	21
Cessna 172 Skyhawk	1,160	100	5	3,000	0	0	0	244.74	0.95	112	170	15

**Fuente:** FAARfield Software

Una vez que se elige la opción de pavimento tipo rígido el programa despliega una propuesta de estructura, como se puede observar en la ilustración 11, cada una de las capas propuestas tienen su respectivo modulo que no se puede modificar, únicamente el coeficiente de balasto o de reacción vertical de la subrasante, que para nuestro caso y según la figura 11, en base al estudio de suelos, corresponde a  $1.3 \frac{kg}{cm^3}$ , que trasladado a unidades del software se obtiene una magnitud de  $12.8 \frac{MN}{m^3}$ ; siendo este el valor con el que alimentamos al programa tal y como se muestra en la ilustración No°11.

Al hacer doble clic en capa de la estructura de pavimento que queremos modificar, se selecciona la opción que se requiera según las propuestas planteadas, en la ilustración 12 se muestra cada una de estas opciones, se elige la necesaria o bien, se puede eliminar o agregar capas, esto con el fin de obtener una estructura con más o menos capas de la propuesta inicial del programa.

**Figura No°12:** Menú de selección de capas, Software FAARfield



**Fuente:** FAARfield Software.

## 4.2. Comparativas de propuestas

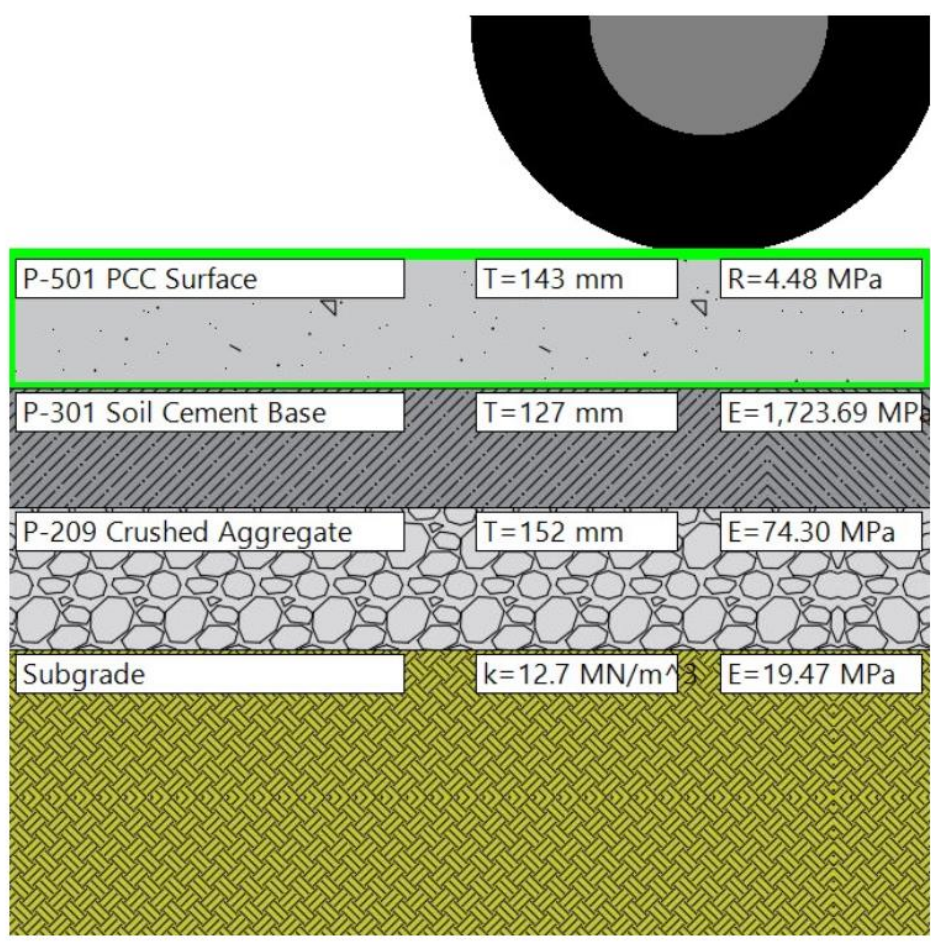
Con respecto a las tres (3) propuestas planteadas y conforme a los criterios de diseño para todas estas se obtuvieron las configuraciones de capas de la estructura de pavimento.

Para todas estas propuestas se utiliza el mismo tráfico aéreo, el mismo periodo de años de diseño (20 años), el mismo tipo de análisis (por grosor de capa) así como también el mismo módulo de reacción vertical o coeficiente de balasto de la sub rasante obtenido en el estudio de suelos.

Cabe destacar que las tres (3) propuestas de diseño cumplen con lo establecido en las variables de diseño del sistema, el resultado de estas va a satisfacer todos los parámetros de análisis, los cuales se van a analizar cuando se escoja la propuesta que menor costo conlleve.

**4.2.1. Propuesta 1**

**Figura No°13: Propuesta 1, pavimento rígido**



**Fuente:** FAARfield Software



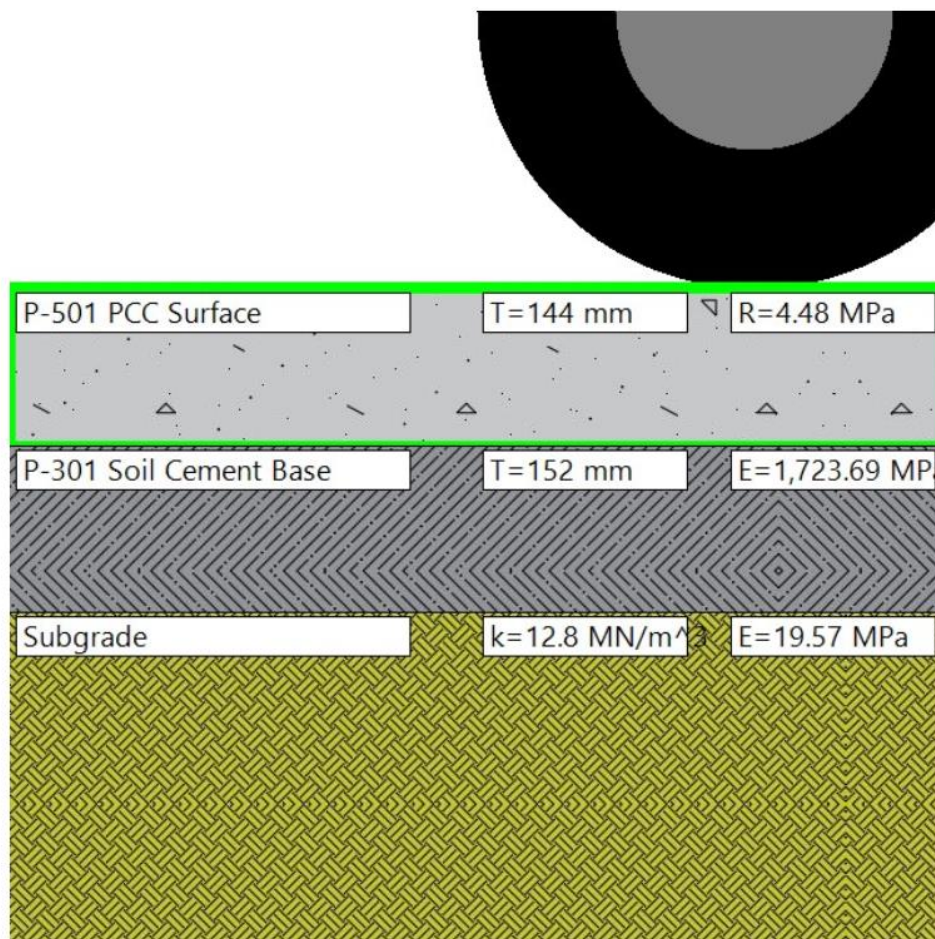
Para la propuesta 1 según se muestra en la ilustración 13, el programa propone utilizar los siguientes espesores:

- Carpeta de concreto: 143mm
- Capa de base estabilizada tipo suelo cemento: 127mm
- Capa de subbase granular: 152mm

Esta propuesta corresponde a la de mayor grosor total sobre la subrasante con 422mm.

#### 4.2.2. Propuesta 2

**Figura No°14:** Propuesta 2 pavimento rígido



**Fuente:** FAArfield Software

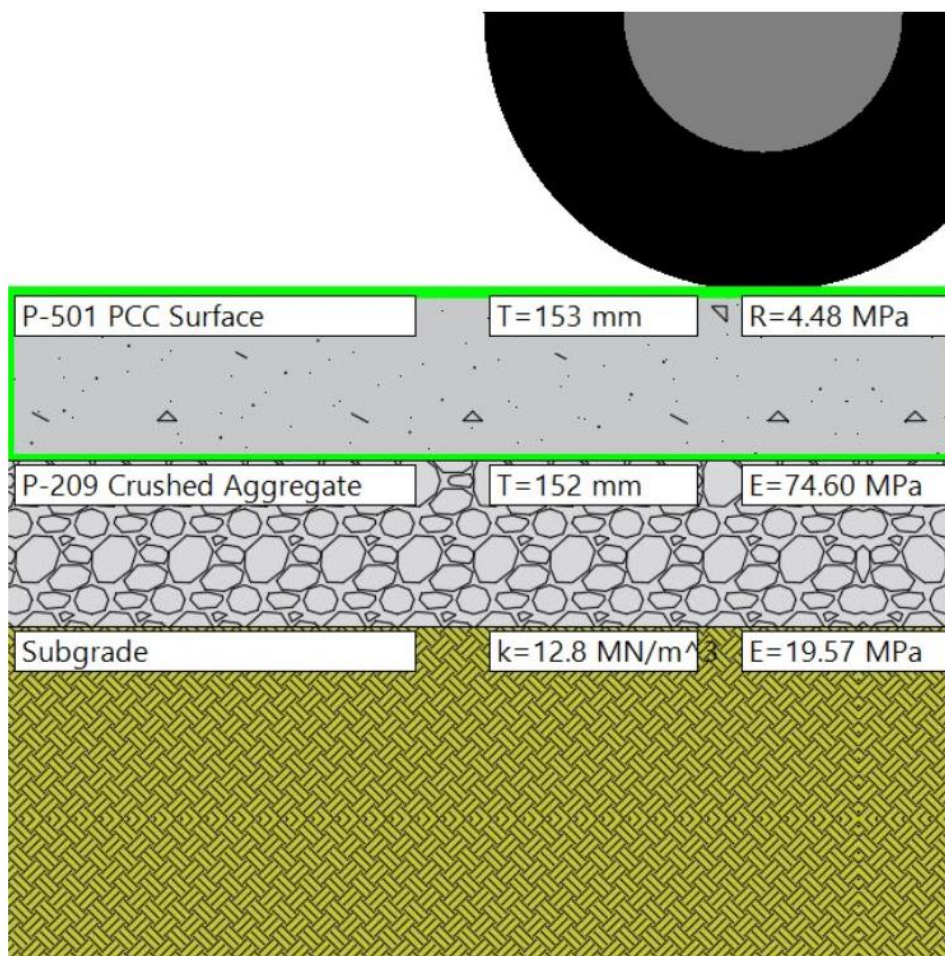
Para la propuesta 2 según se muestra en la ilustración 14, el programa propone utilizar los siguientes espesores:

- Carpeta de concreto: 144mm
- Capa de base estabilizada tipo suelo cemento: 152mm

Esta propuesta tiene un grosor total por encima de la sub rasante de 296mm siendo esta la propuesta de menor espesor total.

### 4.2.3. Propuesta 3

**Figura No°15:** Propuesta 3 pavimento rígido



**Fuente:** FAARfield Software

Para la propuesta 3 según se muestra en la ilustración 15, el programa propone utilizar los siguientes espesores:

- Carpeta de concreto: 153mm
- Capa de base granular: 152mm

Esta propuesta tiene un grosor total por encima de la sub rasante de 305mm y siendo la segunda más grande en su espesor total.

Ya con la información obtenida de los espesores de las capas de las tres (3) propuestas de diseño se logra analizar lo siguiente:

- Las propuestas 1 y 2 que llevan base estabilizada tiene un espesor de concreto casi idéntico de 143 y 144mm respectivamente, esto debido a que la subbase estabilizada al tener gran capacidad de resistencia a la compresión asuma las cargas de gran manera sin tener que aumentar mucho el grosor de la capa superficial, sin embargo se puede observar que en la propuesta 1 al tener una sub base granular si impacta de manera directa a la base estabilizada y esto se concluye al ver que la base estabilizada de la propuesta 2 aumenta 25mm, un aumento del 20% al no tener sub base granular por debajo.
- La propuesta 2 y la propuesta 3 no llevan sub base y la diferencia se da en que en la propuesta 2 la base es estabilizada y en la 3 es granular, y debido este cambio el aumento en el espesor total de la estructura es de 9mm, un aumento del 4% del total; el aumento se dan en 9 mm más en la capa de concreto, con lo que se puede concluir que debido a tener una base con menor capacidad de soporte se debe aumentar el tamaño de la carpeta asfáltica para preservar el mismo nivel de protección a la subrasante.
- Se puede concluir que a menor capacidad soportante de capas por debajo de la carpeta de concreto conlleva a un aumento en el espesor de la misma.

### **4.3. Análisis de Costos pavimento rígido**

Con el fin de escoger una (1) de las tres (3) propuesta anteriormente comparadas, se realiza un análisis de los costos de los materiales por  $m^3$  para obtener así un criterio basado en presupuesto y, por ende, a partir de ello, analizar los reportes finales que el programa brinda con base en dicha propuesta elegida, reiterando que todas estas propuestas contempladas cumplen para el debido diseño la plataforma de parqueos, calle de rodamiento y loza de hangar, únicamente se escoge 1 desde un punto de vista económico.

En la siguiente tabla 5, se hace el cálculo de los  $m^3$  de los materiales por capas de las distintas propuestas en base al área en planos propuesta por la DGAC.



**Tabla No°5:** Costos unitarios por m<sup>3</sup> de capas de pavimento rígido

<b>Propuesta #1</b>						
<b>Proveedor</b>	<b>Material</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Precio (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Total</b>
Concretos						
Caribeños S. A	Concreto 35Mpa	0.143	2750	393.25	¢98,005.00	¢38,540,466.25
Grupo Orosi	Base estabilizada	0.127	2750	349.25	¢84,524.00	¢29,520,007.00
Grupo Orosi	Sub base granular	0.152	2750	418	¢10,170.00	¢4,251,060.00
						<b>¢72,311,533.25</b>

<b>Propuesta #2</b>						
<b>Proveedor</b>	<b>Material</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Precio (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Total</b>
Concretos						
Caribeños S. A	Concreto 35Mpa	0.144	2750	396	¢98,005.00	¢38,809,980.00
Grupo Orosi	Base estabilizada	0.152	2750	418	¢84,524.00	¢35,331,032.00
						<b>¢74,141,012.00</b>

<b>Propuesta #3</b>						
<b>Proveedor</b>	<b>Material</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Precio (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Total</b>
Concretos						
Caribeños S. A	Concreto 35Mpa	0.153	2750	420.75	¢98,005.00	¢41,235,603.75
Grupo Orosi	Base granular	0.152	2750	418	¢11,300.00	¢4,723,400.00
						<b>¢45,959,003.75</b>

**Fuente:** Propia.

En base a la información de la tabla 5 del resumen de costos de la estructura de las diferentes propuestas, la que resulta de menor impacto económico es la propuesta 3 la cual, aunque tenga alrededor de 24m<sup>3</sup> más de concreto hidráulico el costo de una base estabilizada impacta considerablemente el costo, esto se refleja aún más cuando se analiza la opción 1 y 2, donde se observa que se tiene mayor espesor de estructura y más capas en la propuesta 1 y aun así la 3 es más costosa por el hecho de tener una base estabilizada de mayor grosor; analizado lo anterior y

siguiendo el criterio de mayor económica en el diseño, la propuesta 3 sería la que se va a tomar en cuenta para la elaboración de los planos constructivos, así como para el análisis de los reportes que FAARfield brinda.

#### 4.4. Reportes FAARfield

Una vez elegida la propuesta #3, el software brinda los siguientes cinco (5) reportes acerca del diseño de la estructura del pavimento, los cuales se desglosan en:

- Reporte de la Sección del Pavimento
- Reporte del Grafico CDF
- Reporte PCR
- Reporte del grafico PCR
- Reporte FORM 5010

**Figura No°16:** Información reporte de capas

**Pavement Structure Information by Layer**

No.	Type	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Strength R (MPa)
1	P-501 PCC Surface	153	27,579.04	0.15	4.48
2	P-209 Crushed Aggregate	152	74.60	0.35	0
3	Subgrade	0	19.57	0.4	0

**Airplane Information**

No.	Name	Gross Wt. (kg)	Annual Departures	% Annual Growth
1	Beechcraft King Air C90	5,200	100	5
2	Cessna 206 Stationair	1,638	100	5
3	Cessna 172 Skyhawk	1,160	100	5
4	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1,134	100	5
5	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	2,073	100	5
6	Cessna 208B Grand Caravan EX	3,969	100	5
7	PA-32-300 Cherokee Six	1,542	100	5
8	ARFF Vehicle - 3000 gal-	37,648	100	5

**Fuente:** “Section Report” Software FAARfield

Del reporte de sección del pavimento lo primero que se muestra es el resumen de las aeronaves de diseño con su respectivo peso, cantidad de despegues anuales, su tasa de crecimiento; así como también las 3 capas que lo constituyen, su respectivo modulo, coeficiente de Poisson y la resistencia la flexión de la carpeta de concreto hidráulico, con base a este módulo se calculó su resistencia a la compresión según la siguiente formula:

$$MR: K\sqrt{f'c} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

MR: Resistencia a la flexión en Kg/cm<sup>2</sup>

K: Constante de variación de 2.0 a 2.7 para resistencias de kg/cm<sup>2</sup>

F'c: Resistencia a la compresión del concreto Hidráulico

Utilizando un constante K de 2.5, la cual es la más utilizada para Pavimentos despejamos para obtener el f'c, lo cual sería:

$$\begin{aligned} \left(\frac{MR}{K}\right)^2 &= f'c \\ \left(\frac{45}{2.5}\right)^2 &= f'c \\ 324 \text{ kg/cm}^2 &= f'c \end{aligned}$$

Según la división 500 del CR-2020, los parámetros a cumplir un pavimento rígidos son los indicados en la siguiente imagen:

**Figura No°17:** Resistencia mínima en pavimentos rígidos

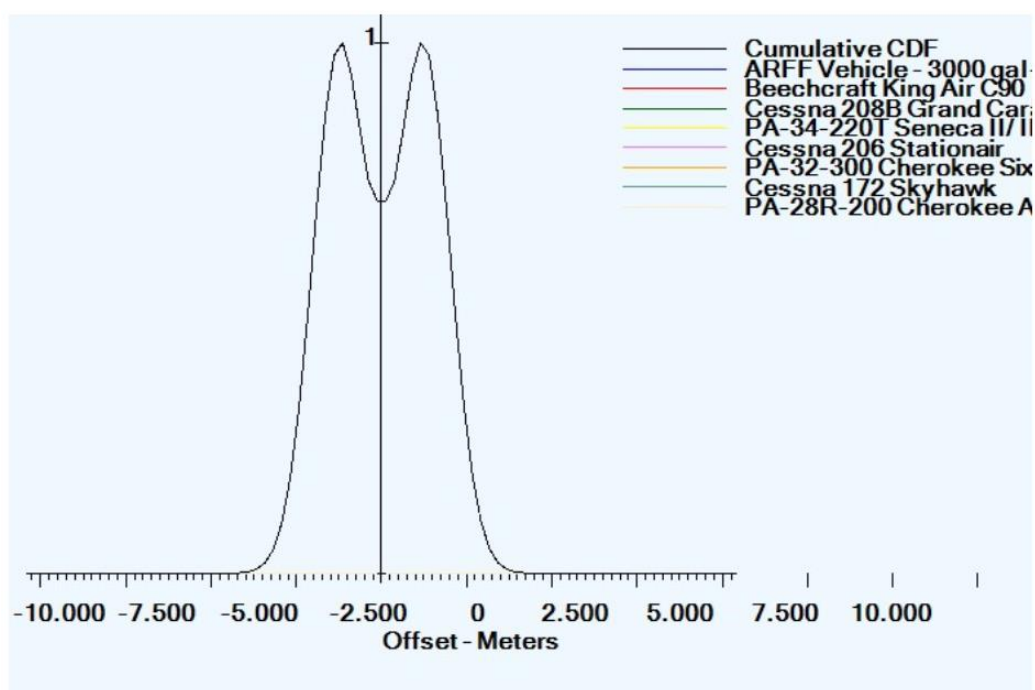
Relación agua/cemento	Temperatura	Asentamiento AASHTO T-119	Resistencia a la compresión a los 28 días AASHTO T-22	Resistencia a la flexotracción a los 28 días AASHTO T-97
máxima 0,45	13 °C - 35 °C	máximo 100 mm*	mínima 355 kg/cm <sup>2</sup> (35 MPa)	mínima 45 kg/cm <sup>2</sup> (4,5 MPa)

\* En el lugar de la descarga las tolerancias son de +0 mm, -65 mm, según lo establecido por la norma ASTM C94. Cuando se trabaja con concretos con aditivos Tipo I y II según ASTM C1017 o Tipo F y G según ASTM C494, el asentamiento puede aumentar a un valor máximo de 200 mm en el lugar de la descarga aplicando las mismas tolerancias.

**Fuente:** Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2020.

Siguiendo dichos parámetros mínimos si bien es cierto nuestro cálculo se obtiene un concreto de  $324 \text{ Kg/cm}^2$ , se sigue los parámetros del CR-2010 y propone un concreto de  $355 \text{ Kg/cm}^2$ .

**Figura No°18:** Grafico CDF



**Fuente:** “CDF Graph Report” Software FAArfield

De la ilustración 18 se extrae la información del factor de daños acumulativos de las diferentes aeronaves y vehículo de bomberos que afectan a la estructura de pavimento, según el gráfico, se observa en la parte inferior como el vehículo ARFF es el que aporta casi el 100% del factor acumulativo, siendo este el “avión” crítico del pavimento.

**Figura No°19: Vehículo critico de diseño****Results Table 2. PCR Value**

No.	Aircraft Name	Critical aircraft Total equiv. departures	Max allowable Gross Weight of critical aircraft (kg)	ACR Thick at max. MGW (mm)	PCR/R/D
1	ARFF Vehicle - 3000 gal-	100	37,648	155	101.2

**Fuente:** “PCR Report” Software FAARfield

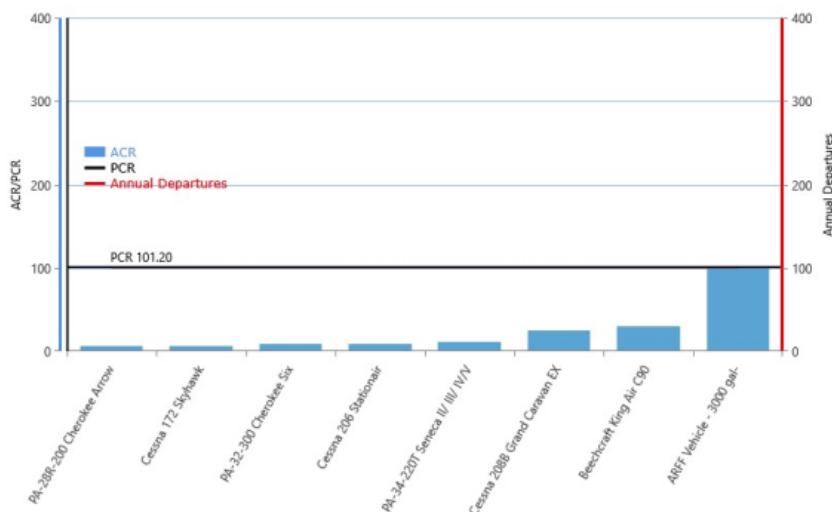
Continuando con la información del “avión” critico de diseño, el vehículo ARFF es el que más impacta en clasificación PCR/R/D de 101.2 que se obtiene de la propuesta #3.

**Figura No°20: Información ACR de aeronaves y vehículos****Results Table 3. New Rigid ACR at Indicated Gross Weight and Strength**

No.	Aircraft Name	Gross Weight (kg)	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure (MPa)	ACR Thick (mm) (D)	ACR/R/D
1	Beechcraft King Air C90	5,200	95	472.13	79	29.5
2	Cessna 206 Stationair	1,638	95	358.53	51	8.7
3	Cessna 172 Skyhawk	1,160	95	344.74	51	6.6
4	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1,134	95	344.74	51	6.5
5	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	2,073	95	379.21	51	10.7
6	Cessna 208B Grand Caravan EX	3,969	95	517.11	74	25.4
7	PA-32-300 Cherokee Six	1,542	95	344.74	51	8.2
8	ARFF Vehicle - 3000 gal-	37,648	100	586.05	155	101.2

**Fuente:** “PCR Report” Software FAARfield

De la ilustración 20 se extrae la información de cada aeronave, así como la del vehículo ARFF, la misma indica sus respectivas clasificaciones ACR/R/D y como estas son menores al PCR/R/D del pavimento, demostrando como este cumple con los requisitos de diseño.

**Figura No°21: Grafico PCR**

-	Beechcraft King Air C90	Cessna 206 Stationair	Cessna 172 Skyhawk	PA-28R-200 Cherokee Arrow	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	Cessna 208B Grand Caravan EX	PA-32-300 Cherokee Six	ARFF Vehicle - 3000 gal-
Aircraft ACR (Blue Square Bar)	29.5	8.7	6.6	6.5	10.7	25.4	8.2	101.2
Calculated PCR (Black Line)	-	-	-	-	-	-	-	101.2
Annual Departure (Red Line)	100	100	100	100	100	100	100	100

**Fuente:** “PCR Report” Software FAARfield

Para una visualización más grafica se tiene la ilustración 21, donde en el grafico se observa la línea negra máxima de valor PCR del pavimento y como las barras azules corresponde a los valores ACN tanto de las aeronaves como del vehículo ARFF, estando todas estas en un nivel por debajo del límite PCR.

**Figura No°22: Clasificación PCR de la propuesta de pavimento rígido**

**Gross Weight (In THSDS)**

35 S	32
36 D	42
37 2D	0
38 2D/2D2	0
39 PCR	101/R/D/W/T

**Fuente:** “5010 Form Report” Software FAARfield

Finalmente, del reporte Form 5010 presente en la ilustración 22, se obtiene del código PCR completo que exige la FAA y que se obtiene de este diseño por FAARfield, ya que es necesario brindar esta información para que cualquier vuelo con una aeronave específica pueda comparar su respectivo ACR con este código PCR de la estructura del pavimento propuesto en este proyecto.

#### 4.5. Diseño Calle Acceso Vehicular metodología AASHTO-93

Para el diseño del acceso vehicular al nuevo puesto de vigilancia aérea del aeropuerto de Guápiles se opta por un diseño basado en la metodología AASHTO, la cual toma en cuenta los siguientes parámetros para su diseño:

- Nivel de servicio Inicial ( $P_o$ ).
- Nivel de servicio final ( $P_t$ ).
- Índice de Pérdida de servicio ( $\Delta PSI$ ).
- Periodo de Diseño en años.
- Numero de ejes equivalentes simples de 18000 lbs (ESAL's) de Diseño.
- Nivel de confianza ( $R\%$ ).
- Desviación estándar ( $S_o$ ).
- Coeficiente de capa de la estructura del pavimento ( $A_i$ ).
- Coeficiente de drenaje de cada capa de la estructura del pavimento ( $M_i$ ).
- Módulo de resiliencia de cada capa de la estructura del pavimento ( $M_r$ ).
- Numero estructural SN.

Con base en dichos parámetros y con la información prevista por la DGAC se procede con el diseño de una estructura de pavimento flexible que cumpla con la normativa vigente y que contempla los criterios de la guía AASHTO, la cual se basa en encontrar los números estructurales (SN) de cada pda y con ello determinar los espesores de las mismas como se amplió en el marco teórico.

##### 4.5.1. Niveles de Servicio

**Tabla No°6:**  $P_t$  según clasificación de vías.

<b>Pt</b>	<b>Clasificación</b>
2.00	Caminos secundarios y calles residenciales locales
2.25	Colectoras menores, calles industriales y comerciales
2.50	Colectores mayores y vías principales

**Fuente:** Propia, extraído de la Guía AASHTO-93



**Figura No°23:** Índice de servicio inicial pavimento flexible

- a. **Initial Serviceability Index (Po):** The initial serviceability index ( $P_o$ ) is the PSI immediately after the pavement is open. At the AASHO road test, values of 4.5 for rigid pavement and 4.2 for flexible pavement were assumed. These values are listed in the 1993 AASHTO Design Guide.

**Fuente:** Guía AASHTO-93

AASHTO indica que para un nivel de servicio inicial en un pavimento flexible se debe utilizar un  $P_o$ : 4.2 (tabla 22), y de la ilustración 23 se obtiene el valor para el valor del nivel de servicio final, que para este caso al ser una calle de acceso restringido se considera una clasificación de colector menor, dando como resultado un valor de  $P_t$ :2.25, con estos valores anteriormente extraídos, se calcula el Índice de pérdida de servicio ( $\Delta PSI$ ) de la siguiente manera:

$$P_o - P_t = \Delta PSI \qquad \text{Ecuación 8}$$

Por lo que se tiene:

$$4.2 - 2.25 = \Delta PSI$$

$$1.95 = \Delta PSI$$

De esta manera se maneja un Índice de pérdida de servicio  $\Delta PSI$  de 1.95.

#### **4.5.2. Periodo de Diseño**

El pavimento que se está diseñando se considera de bajo volumen de tráfico, ya que el acceso a este va a ser limitado, para esta clasificación de la vía la guía nos indica que se debe contemplar lo siguiente.

**Tabla No°7:** Periodo de años de análisis según clasificación de vías.

<b>Clasificación de la Vía</b>	<b>Periodo de Análisis (Años)</b>
Urbana de Alto Volumen de Trafico	30-50
Rural de Alto Volumen de Trafico	20-50
Pavimentada de Bajo Volumen de Trafico	15-25
No Pavimentada de Bajo Volumen de Trafico	10-20

**Fuente:** Guía AASHTO-93

En base a la imagen, se utiliza un periodo de diseño de 20 años para la propuesta que se está desarrollando para el acceso vehicular.

#### **4.5.3. Número de ejes equivalentes simples de 18000 lbs (ESAL's) de diseño**

Para el debido cálculo de ESAL's totales, se debe de tomar en cuenta previamente lo siguiente:

- Trafico promedio diario (TPD) y su distribución de tipos de vehículos (ejes)
- Tasa de crecimiento
- Factor de crecimiento
- Factor camión

Con respecto al TPD, la DGAC brinda este dato con un conteo de 500 vehículos extraído de un proyecto similar en la zona sur del país, para la tasa de crecimiento se toma un crecimiento del 4% en base a la guía de diseño de carreteras de bajo tránsito de Lanamme; para la estratigrafía de los factores camión se utiliza la siguiente tabla que aplica para Costa Rica extraída del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (SIECA).

**Tabla No°8:** Factor de ejes equivalentes según clasificación de ejes.

Tipo de Vehículo	Factor Camión	Descripción
Liviano	0.0001	2 ejes simples
Bus	0.65	1 eje simple y 1 doble
CL	0.1	2 ejes simples
C2	0.8	1 eje simple y 2 eje doble
C3	1.4	1 eje simple y eje tándem
T3-S2	2.2	1 eje simple y 2 ejes tándem

**Fuente:** Propia, extraído del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (SIECA).

Para el factor de crecimiento se aplica la siguiente formula:

$$FC = \frac{(1 + g)^n - 1}{g} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$g$ = tasa de crecimiento en %

$n$ = años de periodo de diseño

Una vez teniendo el TPD, su distribución de tipos de vehículos y los años del periodo de diseño se calculan los ESAL's, esto resumido en la tabla 9.

**Tabla No°9:** Calculo de ejes equivalentes ESAL's.

Tipo de Vehículo	Distribución	Cantidad Vehículos	Tasa crecimiento	Factor crecimiento	Factor Camión	Días/año	ESAL Total
Livianos	70%	350	4%	29.78	0.0001	365	380.41
Pick-Ups	25%	125	4%	29.78	0.1	365	135,862.48
Bus	2%	10	4%	29.78	0.65	365	70,648.49
Camión	2%	10	4%	29.78	1.4	365	152,165.98
Cabecal C-3	1%	5	4%	29.78	2.2	365	119,558.99
<b>ESAL's Totales</b>							<b>478,616.36</b>

**Fuente:** Propia

Con la cantidad de ESAL's totales se calcula el ESAL de diseño, en el cual depende del número de carriles y la dirección de estos, dicho ESAL de diseño se calcula:

$$ESAL = ESAL's * D_D * D_L \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

$D_D$ = Factor de distribución direccional

$D_L$ = Factor de distribución por carril

Para el factor de distribución direccional  $D_D$  se utiliza el valor más alto para no disminuir mucho el ESAL de diseño tomándolo como 0.7 y con respecto al  $D_L$  se toma el valor de 1 ya que solo se diseña 1 un (1) carril por sentido, por lo que el ESAL de diseño queda:

$$ESAL = 478,616.36 * 0.7 * 1$$

$$ESAL = 335,031.45$$

#### 4.5.4. Nivel de Confianza (Rs)

Para el nivel de confianza, la guía ASSHTO recomienda lo siguiente:

**Tabla No°10:** Nivel de confianza según clasificación de vías.

Clasificación de la vía	Nivel de confianza
Calles Locales	80%
Calles Colectoras	88%
Calles Principales	95%

**Fuente:** Propia, extraído de Guía AASHTO-93

#### 4.5.5. Desviación Estándar (So)

Para el nivel de confianza, la guía ASSHTO recomienda lo indicado en la tabla 11.

**Tabla No°11:** Desviación estándar según tipo de pavimento.

Tipo de Pavimento	Rango de Valor		Valor Usado
	Bajo	Alto	
Rígido	0.3	0.4	0.35
Flexible	0.4	0.5	0.45

**Fuente:** Propia, extraído de Guía AASHTO-93

En base a lo indicado en la tabla 11 se utiliza el valor 0.45 como la desviación estándar a utilizar en la propuesta de diseño.

#### 4.5.6. Coeficientes de capa de la estructura de Pavimento (Ai)

Para los coeficientes de capa, la guía ASSHTO recomienda lo indicado en la tabla 12.

**Tabla No°12:** Coeficientes de capas para pavimento flexible.

Componente	Coeficiente
<b>Capa de Rodamiento</b>	
Mezcla Asfáltica en caliente con agregado	0.44
<b>Capa de Base</b>	
Mezcla Asfáltica con Agregado	0.44
Agregado granular con Cemento	0.2
BA Suelo-Cemento	0.15
Agregado granular	0.14
Piedra triturada	0.14
Base de concreto nueva	0.5
Base de concreto viejo	0.4
Concreto triturado y compactado	0.25 a 0.30
Escombros de concreto	0.24
Mezcla asfáltica Reciclada	0.22 a 0.27
Recuperación completa	0.18
<b>Capa Sub Base</b>	
Mezcla Suelo-Cemento (10% Cemento)	0.1
Mezcla Suelo (limos-Cemento (10% limos)	0.1
Sub base modificada	0.14
Mezcla Suelo-Agregado Sub base	0.05

**Fuente:** Propia, extraído de Guía AASHTO-93.

En base a lo indicado en la tabla 12 se utiliza el valor 0.44 para la capa de rodamiento en mezcla asfáltica en caliente con agregado granular, para la capa de base se propone agregado granular por lo que el coeficiente que se utiliza es 0.14 y finalmente para la sub base se propone agregado granular mezclado con suelo limoso y su coeficiente corresponde a 0.10.

#### 4.5.7. Coeficientes de drenaje de capas de la estructura del pavimento (Mi)

Para los coeficientes de capa, la guía ASSHTO indica que se debe de tomar en consideración dos (2) factores, que tan efectivo será el drenaje de cada capa siendo uno (1) el valor mayor y por ende corresponde a un excelente drenaje, y dos (2), ¿cuánto tiempo estará la sub base y la sub rasante en una condición de saturación?, para la respuesta a la pregunta y conociendo las condiciones climatológicas del sector de guápiles, lugar donde se llevara a cabo el proyecto, se considera que para estas capas inferiores el tiempo en porcentaje en que la estructura estará expuesta a niveles cercanos de saturación serán entre un 5% y un 25%, y se contempla además que los drenajes de dichas capas serán de calidad regular, esto con el fin de un diseño conservador.

En la tabla 88 mostrada a continuación se muestra el valor a tomar en cuenta para estos coeficientes de drenaje para las capas de rodamiento, base y subbase según lo anteriormente determinado.

**Tabla No°13:** Valores Mi de capas según drenaje.

<b>Valores de (Mi) recomendados para los Coeficientes de Capa Modificados de Materiales de base y Subbase no Tratada en Pavimentos flexibles</b>				
<b>Calidad del Drenaje</b>	<b>% del Tiempo que la Estructura de Pavimento está Expuesta a Niveles de Humedad Cercanos a la Saturación</b>			
	<b>&lt;1</b>	<b>1-5</b>	<b>5-25</b>	<b>&gt;25</b>
<b>Excelente</b>	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
<b>Bueno</b>	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
<b>Regular</b>	1.25-1.15	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80
<b>Pobre</b>	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
<b>Muy Pobre</b>	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

**Fuente:** Propia, extraído de Guía AASHTO-93.

Basados en los valores de la tabla 13 y los criterios contemplados para determinar los factores (Mi) los mismos serian 1 para la capa de rodamiento de mezcla asfáltica, 0.9 para capa de base y 0.95 para la capa de subbase.

#### **4.5.8. Módulo de resiliencia de cada capa de la estructura del pavimento (Mr)**

Para los módulos de resiliencia (Mr) de las capas se considera CBR de 80% lo cual corresponde a un módulo aproximado de 250Mpa o bien 36250 psi para la base, un CBR de 30% lo cual corresponde a un módulo aproximado de 145Mpa o bien 21025 psi para la subbase y finalmente para la subrasante al tener que hacer sustitución de material, se propone un CBR de 5% que corresponde aproximadamente a un módulo de 50Mpa o 7250psi.

Esta consideración de CBR son datos que según la guía de diseño de Lanname propone para los casos de pavimentos de bajo transito o menores a Un millón (1,000 000) de ESAL's y que además no se cuenta con el ensayo de laboratorio para la determinación exacta del CBR de la subrasante.

#### **4.5.9. Numero Estructural SN**

Para la determinación del número estructural de cada capa SN se utiliza la siguiente formula:

$$SN = SN1 + SN2 + SN3 \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$$SN1 = a1 * d1$$

$$SN2 = a2 * d2 * m2 + SN1$$

$$SN3 = a3 * d3 * m3 + SN2$$

De estas ecuaciones se despeja en cada caso los valores d1, d2 y d3 que corresponden a los espesores de la capa de rodamiento en mezcla asfáltica, base granular y subbase granular



respectivamente, para la determinación de los valores SN1, SN2 y SN3, se extraen de la aplicación del nomograma #, el cual resuelve la ecuación:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)5.19}} + 2.32 \quad \text{Ecuación 12}$$

$$* \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Para la debida lectura del nomograma, se realiza un cuadro resumen con los parámetros necesario para la debida determinación de los SN de cada capa.

**Tabla No°14:** Resumen de parámetros necesarios para diseño de pavimentos flexibles.

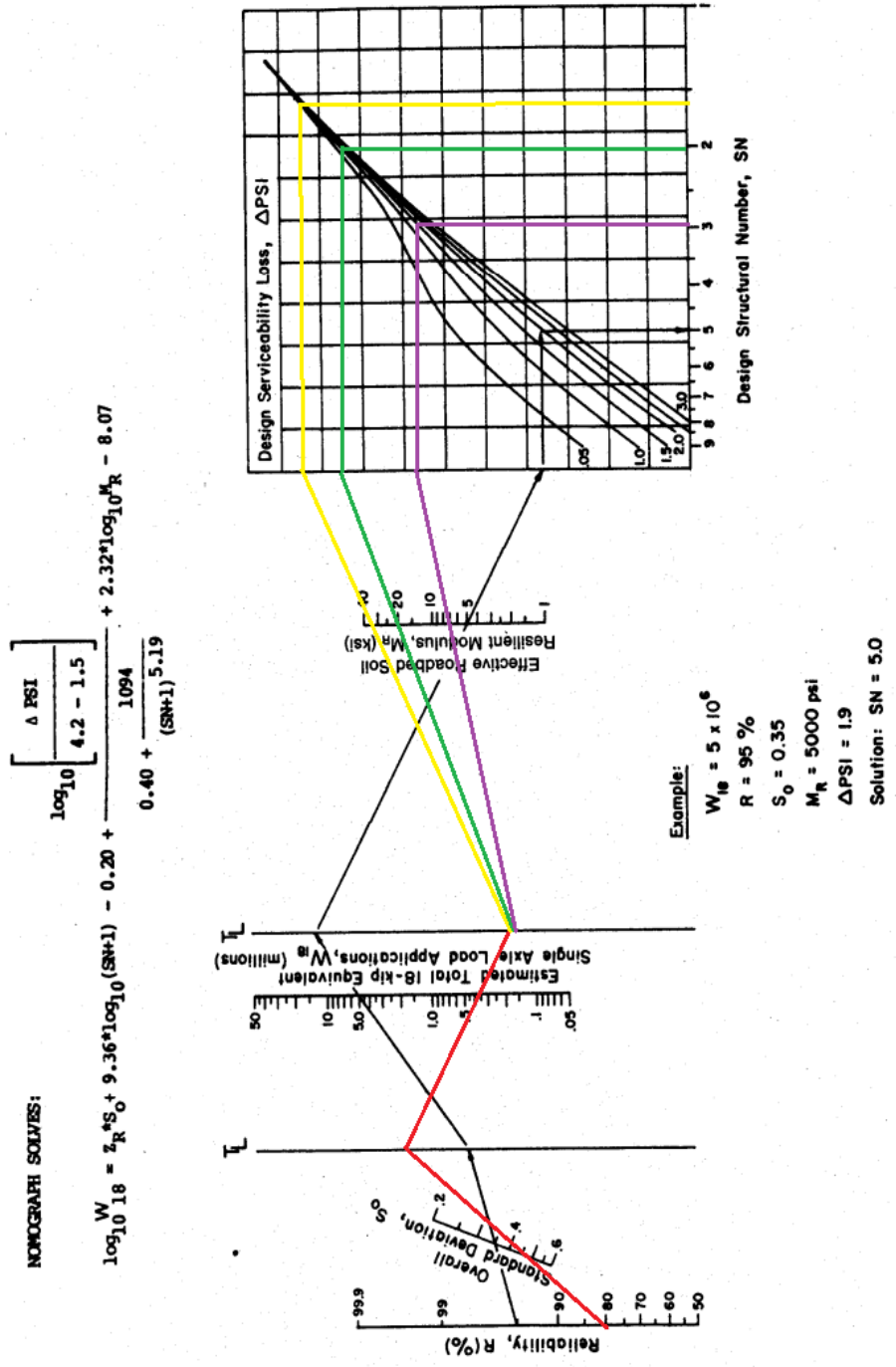
<b>Tabla resumen</b>			
	<b>Ai</b>	<b>Mi</b>	<b>Mr (psi)</b>
<b>Carpeta asfáltica</b>	0.44	1	
<b>Base</b>	0.14	0.9	36250
<b>Subbase</b>	0.1	0.95	21025
<b>Sub rasante</b>			7250
<b>Confiability</b>	80%		
<b>Desviación estándar</b>	44%		
<b>ESAL Diseño</b>	335,031.45		
<b>Δ PSI</b>	1.95		

**Fuente:** Propia

Con los datos de la tabla 14 resumen se realiza la lectura del siguiente Nomograma:

Figura No°24: Nomograma de cálculo de valor SN de capas.

Figure 1: Design chart for flexible pavements based on using mean values for each input  
*AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993*



Fuente: Aplicación propia, extraída del AAHSTO -93.

**Tabla No°15:** Valores SN obtenidos.

Capa	SN
Carpeta asfáltica	-
Base	1.6
Subbase	2.1
Sub rasante	2.9

**Fuente:** Propia

Ya con la obtención de los SN1, SN2 y SN3 del nomograma, se aplican las ecuaciones para la determinación de los espesores de cada capa:

$$SN1 = a1 * d1 * Mi$$

$$1.6 = 0.44 * d1 * 1$$

$$d1 = 3.64 \text{ pulg}$$

Se utiliza de manera redondeada el espesor de la capa de rodamiento en mezcla asfáltica un valor de 4 Pulgadas.

Para la capa de Base se calcula de la misma manera, pero ahora se le suma el valor SN1 recalculado correspondiente a:

$$SN1 \text{ recalculado} = 0.44 * 4 * 1$$

$$SN1 \text{ recalculado} = 1.76$$

Se calcula d2, que corresponde a:

$$SN2 = a2 * d2 * Mi + SN1$$

$$2.1 - 1.76 = 0.14 * d2 * 0.9$$

$$d2 = 2.7 \text{ pulg}$$

Se utiliza de manera redondeada el espesor de la capa base un valor de 4 Pulgadas.

Para la capa de Subbase se calcula de la misma manera, pero ahora se le suma el valor SN1 y el SN2 recalculados y que correspondiente a:

$$SN2 \text{ recalculado} = 0.14 * 4 * 0.9$$

$$SN2 \text{ recalculado} = 0.504 \text{ pulg.}$$

Se calcula  $d_3$ , que corresponde a:

$$SN3 = a_3 * d_2 * M_i + SN1 + SN2$$

$$2.9 - 1.76 - 0.504 = 0.1 * d_3 * 0.95$$

$$d_3 = 6.69 \text{ pulg}$$

Se utiliza de manera redondeada el espesor de la capa base un valor de 7 Pulgadas.

Posteriormente se comprueba que la suma de los números estructurales recalculados (SN recalculados) sea mayor al número estructural SN por encima de la subrasante, lo cual corresponde a:

$$1.76 + 0.506 + 0.605 > 2.9$$

$$\text{por lo tanto } 2.929 > 2.9$$

*Cumple!*

Una vez encontrado los espesores de cada capa se comprueban que cumplan con los espesores mínimos que la guía AASHTO recomienda, en base a la tabla 16 se utilizan espesores redondeados a números comúnmente utilizados en la construcción, por lo que se aumentan un poco para ser más amigables con lo anteriormente mencionado.

**Tabla No°16:** Resumen de espesores de capa obtenidos del diseño flexible.

<b>Conformación de Capas</b>			
<b>Capa</b>	<b>Espesor (pulgadas)</b>	<b>Espesor (cm)</b>	<b>Espesor (cm) Final</b>
<b>Mezcla asfáltica</b>	4	10.16	<u>11</u>
<b>Base granular</b>	4	10.16	<u>15</u>
<b>Subbase granular</b>	7	17.78	<u>20</u>
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>38.1</b>	<b><u>46</u></b>

**Fuente:** Propia

Con la información de la tabla 16 que resume los espesores de las capas lo comprobamos con lo indicado en la tabla 17 correspondiente a los espesores mínimos de cada una de ellas.

**Tabla No°17:** Espesores mínimos requeridos.

<b>Espesores mínimos recomendados por AASHTO</b>		
<b>ESAL's</b>	<b>Capa Mezcla Asfáltica (cm)</b>	<b>Bases Granulares (cm)</b>
<50,000	3	10
50,000-150,000	5	10
150,00-500,000	6.5	10
500,000-2,000,000	7.5	15
2,000,000-7,000,000	9	15
>7,000,000	10	15

**Fuente:** Propia, extraído de la guía AASHTO-93

Con respecto a la información brindada en la tabla 8 y en comparación con los valores obtenidos del diseño de espesores de la estructura del pavimento resumido en la tabla 9, se comprueba que los datos son mayores a los mínimos establecidos por la AAHSTO cumpliendo así con el objetivo planteado de un diseño funcional y que cumpliera con lo establecido con la normativa.

#### 4.6. Análisis de Costos pavimento flexible

Para cumplir con el objetivo de tener un costo aproximado del costo de la construcción de la propuesta obtenida del diseño flexible, se calculan los volúmenes de las capas y en base a las proformas solicitadas a proveedores locales, se logra obtener un costo reflejado en la tabla 18 mostrada a continuación:

**Tabla No°18:** Costos de la propuesta de pavimento flexible.

<b>Propuesta Flexible</b>						
<b>Proveedor</b>	<b>Material</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Total (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Precio (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Total</b>
Grupo Orosi	Mezcla Asfáltica	0.11	2565	282.15	¢50,000.00	¢14,107,500.00
Grupo Orosi	Base estabilizada	0.15	2565	384.75	¢84,524.00	¢32,520,609.00
Grupo Orosi	Sub base granular	0.2	2565	513	¢10,170.00	¢5,217,210.00
						<b>¢51,845,319.00</b>

Fuente: Propia

## 5. Conclusiones

Se logran obtener tres (3) propuestas de diseño distintas para la calle de rodamiento, loza de hangar y plataforma de parqueos mediante el uso del software FAARfield propuesto por la FAA como programa oficial de diseño. Dichas propuestas fueron:

- Propuesta 1
  - Losa de concreto: 143mm
  - Capa de base estabilizada tipo suelo cemento: 127mm
  - Capa de subbase granular: 152mm
  
- Propuesta 2
  - Losa de concreto: 144mm
  - Capa de base estabilizada tipo suelo cemento: 152mm
  
- Propuesta 3
  - Losa de concreto: 153mm
  - Capa de base granular: 152mm

Se determina el presupuesto de materiales para cada propuesta por m<sup>3</sup> siendo la propuesta #3 la más económica, el desglose es el siguiente:

- Propuesta 1 un monto de ₡72 311 533.25
- Propuesta 2 un monto de ₡74 141 012.00
- Propuesta 3 un monto de ₡45 959 003.75

Al utilizar un criterio presupuestario, se escoge la opción #3 como la definitiva y se analizan los reportes que el programa FAARfield brinda obteniendo lo siguiente:

- El vehículo de bomberos es el más crítico y el que más valor aporta en el reporte CDF.

- El valor PCR que obtiene el pavimento propuesto es de 101.20, por lo que cualquier aeronave con un valor ACN menor a este podrá utilizar el mismo sin problema.
- Del reporte de sección se obtiene el valor de resistencia a la flexión de la losa de concreto con un valor de 4.48Mpa o bien 355Kg/m<sup>2</sup>.

Se ha logrado obtener una estructura de pavimento que cumple con los parámetros establecidos en la guía AAHSTO, lo que indica que es una solución adecuada y segura para soportar las cargas previstas y las condiciones del tráfico.

Es importante destacar que el diseño de una estructura de pavimento es un proceso complejo y requiere de un análisis detallado de los factores que pueden influir en su rendimiento y durabilidad, como resultado a dicho proceso de diseño se obtuvieron los siguientes valores para la estructura:

- Capa de mezcla asfáltica de 11cm
- Capa de base granular de 15cm
- Capa de subbase granular de 20cm

La elaboración de los planos constructivos se realizó utilizando la información obtenida del proceso de diseño de las estructuras de pavimento desarrolladas en el proyecto, lo que garantiza que la construcción se realice de acuerdo a las especificaciones y normas técnicas correspondientes. Los planos muestran las dimensiones, especificaciones de materiales, detalles constructivos y otros aspectos relevantes que permiten llevar a cabo la obra de manera efectiva y eficiente.



## 6. Recomendaciones

Con base en todo lo investigado y desarrollado en el proyecto, se recomienda lo siguiente:

- Se recomienda a los estudiantes a realizar un análisis de costo para tres (3) propuestas de diseño flexible para la calle de rodamiento, loza de hangar y plataforma de parqueos y compararlo con las estructuras de pavimento rígidas desarrolladas en este proyecto.
- Se recomienda a los profesionales utilizar un software oficial de diseño de pavimentos flexibles y comparar resultado obtenido con los determinados en este proyecto, esto con el fin de analizar y realizar una comprobación de ambos resultados.
- Se recomienda a otros estudiantes que deseen ampliar lo desarrollado en este proyecto a escalarlo a proyectos de una envergadura mayor tales como como pistas activas de aeropuertos más grandes, así como a carreteras de mayor tránsito vehicular, en el cual se tenga que emplear criterios y valores distintos a este, pero siguiendo los mismos parámetros de diseño.
- Se recomienda a los encargados de ejecutar la obra constructiva en base a los planos elaborados del proyecto, realizar pruebas de laboratorio para obtención de CBR de la subrasante así como pruebas de confirmen los valores de los parámetros utilizados para los diseños de pavimento propuestos en el trabajo.

## 7. Referencias Bibliográficas

- Ibáñez, M.J. (2019). **Diseño básico funcional y constructivo de una plataforma de estacionamiento de aeronaves Aeropuerto Internacional Jorge Chávez** [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de *Sevilla*.
- Roel, K.A. (2018). **Diseño del pavimento de un Aeropuerto Internacional de Pisco (publicación #58)** [Tesis de licenciatura]. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/10191>
- Rolland, D.L. (2018). **Pavimentos Aeronáuticos** [Tesis de licenciatura no publicada]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sánchez, A. (2019). **Mejoramiento de una mezcla asfáltica con la adición de residuos de caucho obtenidos de la remoción en la pista aterrizaje del aeropuerto** [Tesis de maestría no publicada]. Instituto tecnológico de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2014). **Código Sísmico de Costa Rica 2010, Revisión 2014**. San José: CFIA.
- (2018). **Beneficios Económicos del Transporte Aéreo en Costa Rica**. Londres: Oxford Economics.
- FAA. (2022). **FAA Airport Design Software**. Obtenido de [https://www.faa.gov/airports/engineering/design\\_software](https://www.faa.gov/airports/engineering/design_software)
- PMI. (2019). **Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos GUIA PMBOK**. Pennsylvania: Project Management Institute.
- Leiva, F. (2018). **Desarrollo de una guía de diseño para pavimentos de bajo volumen de Tránsito en Costa Rica**. San José: Laboratorio de Materiales de la UCR Lanamme.
- Thenoux, Guillermo. **Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito**. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas de Chile, 2002

García, G. (2014). **Diseño de pavimentos para Aeropistas** [Tesis de maestría no publicada].  
Universidad Nacional Autónoma de México.

FAA. (2021). **Advisory Circular No: 150/5320-6G**. USA: US Department o Transportation

Araya, D. (2021) **Propuesta de diseño de pavimento y diseño geométrico horizontal y vertical de 1.9 km en San Rafael de Heredia, calles La Saca, Naranjo y La Escuela**. [Tesis de licenciatura]. Universidad latina de Costa Rica.

ASSHTO. (1993). **Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimentos 1993**.

Washington, DC: Sociedad Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes.

LanammeUCR. (2010). **Diseños Estándar Para ser usado con el CR-2010**.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. Universidad de Costa Rica.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2005). **Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos**. San José, Costa Rica: Jorge Coronado Iturbide.

## **8. Anexos**

Se adjuntan archivos de anexo correspondiente al estudio de suelos del área a intervenir en el proyecto, informes del programa FAARfield y planos constructivos.

## 9. Glosario

**Calle de rodaje:** Es la superficie de rodamiento de las aeronaves en un aeropuerto donde no se realizan las maniobras de despeje ni aterrizaje, se utiliza únicamente para transportarse de un lugar a otro en el aeropuerto

**Carga Dinámica:** Es una carga que se aplica de forma constante sin tener movimiento y se trasmite de manera puntual o distribuida dependiendo del área de contacto.

**Carga Estática:** Es una carga varia a través del tiempo y en su magnitud, tienen movimiento y se transmiten de manera no uniforme sobre la superficie.

**Estudio de suelos:** Es el documento que brinda la información de la capa de suelo a ciertas profundidades a través de un análisis de las muestras tomadas en el sitio determinado y brinda sus características geotécnicas a tomar en cuenta para cualquier desarrollo constructivo

**FAARFIELD:** Software oficial para el desarrollo del diseño de los pavimentos aeroportuarios a través de la metodología del elemento finito.

**Hangar:** Es una estructura diseñada para el alojamiento temporal y/o mantenimiento de aeronaves.

**Pavimento flexible:** Es el pavimento que se diseña con la capa superior de rodamiento mediante una mezcla de asfalto con un determinado agregado.

**Pavimento rígido:** Es el pavimento que se diseña con la capa superior de rodamiento mediante una mezcla de cemento hidráulico con un determinado agregado.

**Pista activa:** Es la superficie de rodamiento de las aeronaves en un aeropuerto donde se realizan las maniobras de despeje y aterrizaje.

**Presupuesto:** Es el resumen de costos directos, indirectos, mano de obra y utilidades de cualquier obra civil.

**Tráfico aéreo:** Es el flujo aeronáutico que está en control de un aeropuerto, en él se contabilizan los aviones que están por llegar, por despegar y los que se encuentran en las mangas de espera.

**PROYECTO**

**“Estudios de suelos en el Aeródromo de Guápiles”**

**LOCALIZACIÓN**

Distrito: Guápiles  
Cantón: Pococí  
Provincia: Limón

**DIRECCIÓN GENERAL DE AVIACIÓN CIVIL**

**PROFESIONALES**

**Ing. Ezequiel Vieto Solís**  
Número de cédula: 900290261  
Número de colegiado: IC-0312  
Consultor SETENA: CI-134-14

**Ing. Mario Villegas Jiménez**  
Número de cédula: 205760012  
Número de colegiado: IC-20699  
Consultor SETENA: CI-132-2014

**Ing. Miguel A. Rojas Salas**  
Número de cédula: 107330059  
Número de colegiado: IC-5352  
Consultor SETENA: CI-133-14

**DICIEMBRE 2021**

Heredia, Diciembre de 2021

Señores  
Proveeduría Institucional  
Dirección General de Aviación Civil  
Presente

**Asunto: Estudio de suelos. Contratación Directa 2019CD-000328-0006600001**

Informe número: 21-OTS-0123-2088-M1

Estimados señores:

Sírvase encontrar a continuación los resultados del estudio de suelos solicitado para el lote ubicado al costado noroeste del Aeródromo de Guápiles, situado en el distrito de Guápiles, cantón de Pococí, provincia de Limón.

Esta consultoría se realiza en el marco de la Contratación Directa “**Estudios de suelos en el Aeródromo de Guápiles**”.

Este informe sustituye al documento 21-OTS-0123-2088 debido a que se actualiza la información incluyendo las coordenadas para la ubicación de los perfiles sísmicos, recomendaciones de pesos unitarios a partir de los valores medidos en las muestras y referencias de datos de coeficiente de balasto.

Cualquier aclaración o ampliación que se requiera del estudio estamos a la orden.

Nos complace informarle que Vieto & Asociados ha alcanzado la acreditación ECA, alcance LE-023-R01 bajo la norma INTE-ISO/IEC 17025:2017, cumpliendo con la ley 8279 del Sistema Nacional de Calidad, para mayor información sobre nuestro alcance visitar la página [www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr)



21-OTS-0123-2088-M1

## Documento de responsabilidad profesional

Los suscritos **Mario Villegas Jiménez**, portador de la cédula de identidad número 205760012, profesional en **Ingeniería Civil** Incorporado al colegio de profesionales Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, número de colegiado: **IC-20699** consultor inscrito en la Secretaría Técnica Nacional Ambiental, según registro CI-132-14-SETENA, cuya vigencia se encuentra al día hasta el año 2022, **Miguel A. Rojas Salas** portador de la cédula de identidad número 107330059, profesional en **Ingeniería Civil** Incorporado al colegio de profesionales Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, número de colegiado: **IC-5352** consultor inscrito en la Secretaría Técnica Nacional Ambiental, según registro CI-133-14-SETENA, cuya vigencia se encuentra al día hasta el año 2022 y **Ezequiel Vieta Solís** portador de la cédula de identidad número 900290261, profesional en **Ingeniería Civil** Incorporado al colegio de profesionales Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, número de colegiado: **IC-0312** consultor inscrito en la Secretaría Técnica Nacional Ambiental, según registro CI-134-14-SETENA, cuya vigencia se encuentra al día hasta el año 2022, manifestamos ser responsables directos de la información técnica científica que se aporta en el presente documento.

En virtud de ello, sometemos los Datos Geotécnicos de Capacidad de Soporte del informe de Vieta & Asociados No. 21-OTS-0123-2088 al conocimiento de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), como autoridad en materia de Evaluación de Impacto Ambiental del Estado costarricense, con el objetivo de que sean analizados y se constate que los mismos han cumplido con los lineamientos técnicos y normativos establecidos.

Se tiene presente que en apego al artículo 5 del Decreto Ejecutivo 32712-MINAE, la información contenida de estos datos, se presenta bajo el concepto de Declaración Jurada y a conocimiento y conciencia de que dicha información es actual y verdadera y que en caso contrario pueden derivarse consecuencias penales del hecho. Por lo cual, manifiesto que, de encontrarse alguna irregularidad en la información relacionada con el estudio realizado, se asumen las responsabilidades que corresponden en el marco del alcance de servicio ofrecido.



**EZEQUIEL  
VIETO SOLIS  
(FIRMA)** Firmado digitalmente  
por EZEQUIEL VIETO  
SOLIS (FIRMA)  
Fecha: 2021.12.20  
15:30:42 -06'00'  
Ing. Ezequiel Vieto Solís  
Departamento de Geotecnia IC-0312  
Consultor No CI-134-14-SETENA

**MARIO ALBERTO  
VILLEGAS  
JIMENEZ (FIRMA)** Firmado digitalmente  
por MARIO ALBERTO  
VILLEGAS JIMENEZ  
(FIRMA)  
Fecha: 2021.12.20  
13:49:49 -06'00'  
Ing. Mario Villegas Jiménez MGE  
Departamento de Geotecnia IC-20699  
Consultor No.CI-132-2014-SETENA

**MIGUEL  
ANGEL ROJAS  
SALAS (FIRMA)** Firmado digitalmente  
por MIGUEL ANGEL  
ROJAS SALAS (FIRMA)  
Fecha: 2021.12.20  
15:31:12 -06'00'

Ing. Miguel A. Rojas Salas  
Departamento de Geotecnia IC-5352  
Consultor No.CI-133-2014-SETENA

## TABLA DE CONTENIDO

2. INTRODUCCIÓN.....	4
2.1 Objetivo del estudio.....	4
2.2 Coordinación profesional.....	4
2.3 Datos sobre el terreno estudiado .....	4
2.4 Condiciones del terreno .....	5
2.5 Correlación e interacción con datos de geología de la zona .....	7
3. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.....	8
3.1 Metodología aplicada .....	8
3.2 Ensayos.....	10
3.3 Resumen de perforaciones .....	11
3.4 Descripción de los estratos y clasificación de los suelos .....	13
3.5 Resumen de hojas de perforación y fotos.....	16
3.6 Capacidades soportantes.....	52
4. EXPLORACIÓN GEOFISICA .....	54
4.1 Generalidades .....	54
4.2 Metodología de prospección geofísica y equipo .....	55
4.3 Observaciones .....	61
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	62
5.1 Conclusiones técnicas.....	62
5.2 Observaciones y recomendaciones generales .....	62
5.3 Recomendaciones para contrapisos .....	66
5.4 Recomendaciones para rellenos.....	66
5.5 Taludes.....	67
5.6 Recomendaciones para estructuras de retención.....	67
5.7 Parámetros de interés .....	67
5.8 Tipo de suelo para diseño estructural .....	68
5.9 Expansividad de suelos.....	68
5.10 Asentamientos.....	68
5.11 Potencial de licuefacción .....	68
6. DISCUSIÓN DE LOS GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO .....	69
7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS .....	70
ANEXOS.....	71

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 Objetivo del estudio

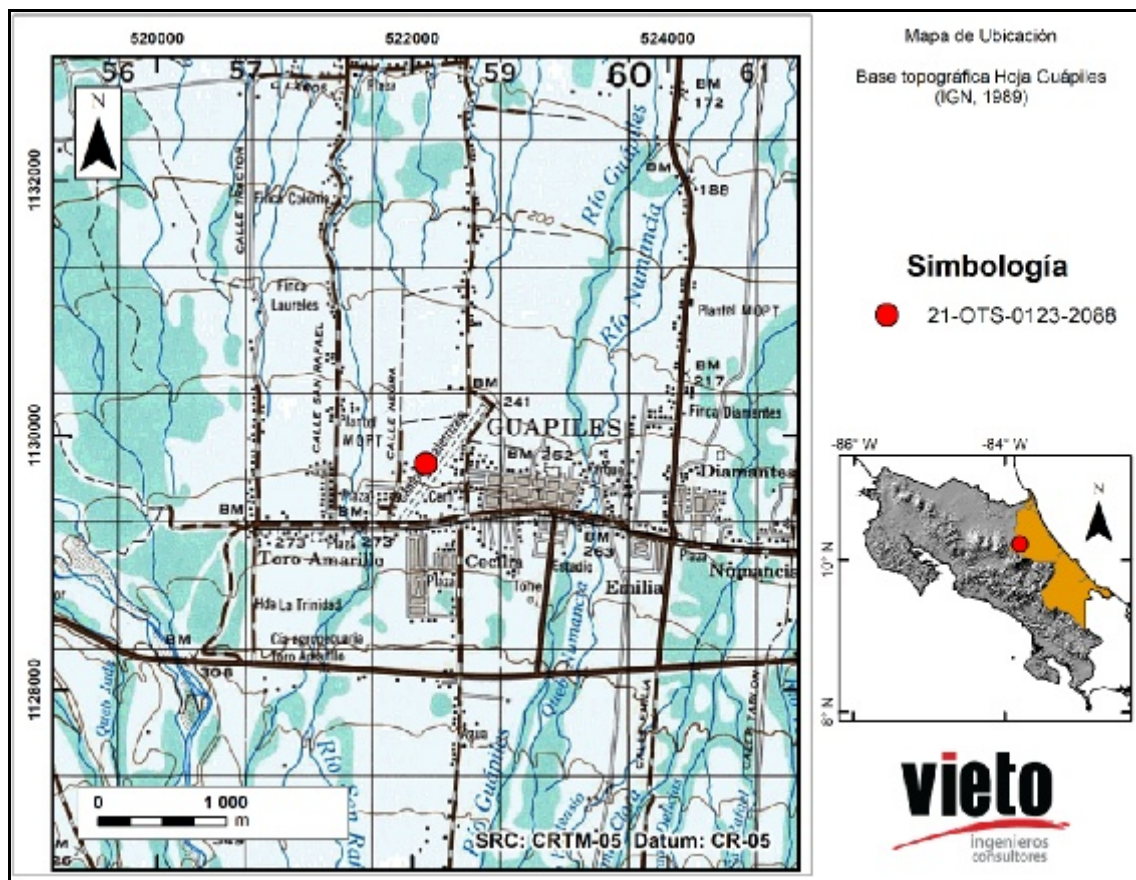
- Estudiar las características físicas y mecánicas del terreno en la zona de interés.
- Estimar las capacidades soportantes del terreno en los sitios de las perforaciones.
- Presentar recomendaciones generales para la cimentación de obras en el sitio.

### 2.2 Coordinación profesional

Se realizó el siguiente estudio de suelos coordinado por el Ing. Mario Villegas Jiménez, IC-20699.

### 2.3 Datos sobre el terreno estudiado

Se estudia el terreno parte del lote ubicado al costado noroeste del Aeródromo de Guápiles que se encuentra localizado en el cantón de Pococí, provincia de Limón.



**Figura.** Mapa de ubicación de la zona en estudio.  
Fuente: Instituto Geográfico Nacional.



## 2.4 Condiciones del terreno

El terreno presenta una topografía relativamente plana con la superficie parcialmente cubierta por césped. Se observan árboles y arbustos aislados. No existen edificaciones construidas en la finca.



**Figura.** Vista satelital de la zona.

Fuente: Google Earth.

A continuación se presentan imágenes que ilustran las condiciones del terreno al momento de ejecutar los trabajos en el sitio.



**Fotografías.** Vistas del lote estudiado.



**Fotografías.** Vistas del lote estudiado.



**Fotografías.** Vistas del lote estudiado.

Se observa que al costado Oeste atraviesa una quebrada cuyo flujo de aguas es intermitente.



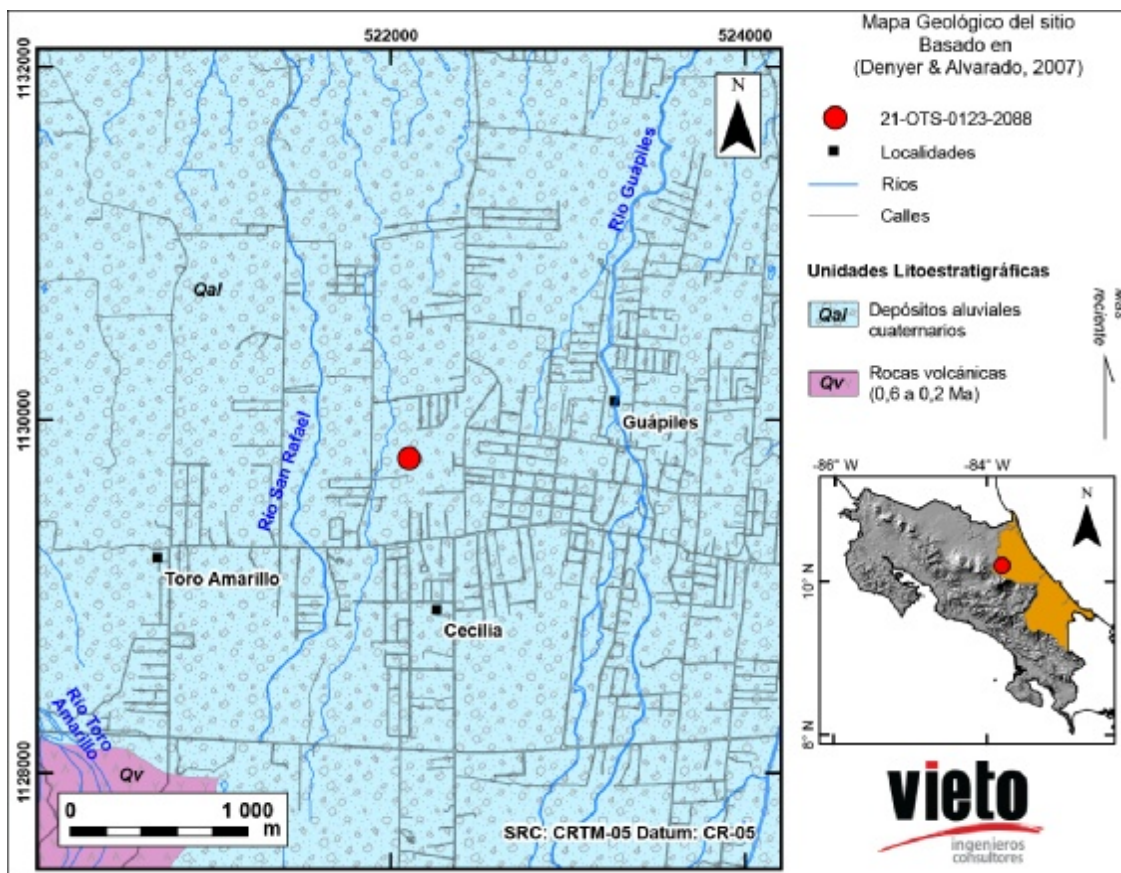
**Fotografías.** Vistas de quebrada.



## 2.5 Correlación e interacción con datos de geología de la zona

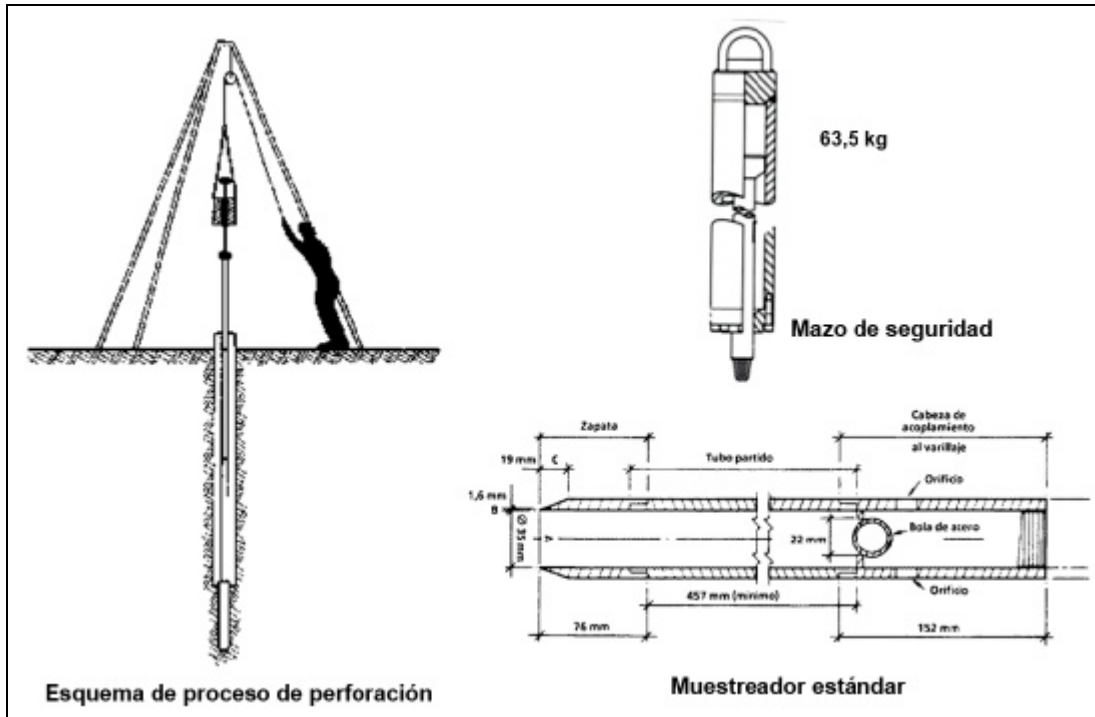
El sitio se localiza en los frentes de abanicos aluviales coalescentes de los ríos Toro Amarillo, Santa Clara y Guápiles, que a su vez conforman la planicie aluvial del río Chirripó-Sucio. El sitio es un nivel base de depositación aluvial activo, pues son comunes las terrazas y depósitos de bloques rocosos erráticos y de granulometría variable.

Según Denyer & Alvarado (2007) el sitio se localiza sobre los depósitos aluviales del río cuaternarios acarreados por la evolución fluvial del río Toro Amarillo, Santa Clara y Guápiles. Dichos depósitos se caracterizan por *facies* de abanico aluvial medio o distal. Hacia el sur del área de estudio afloran rocas volcánicas recientes, relacionadas al volcanismo reciente del Grupo Turrialba e Irazú, por lo que son comunes las intercalaciones de tefras, rocas piroclásticas y lavas en los valles de disección del río Toro Amarillo. Estas rocas poseen edades entre 600 ka y menores que 200 ka, siendo asociables a distintos eventos de volcanismo de arco evolucionado (Alvarado, Sigrán & Pérez, 2000).



**Figura.** Mapa geológico regional del sitio. Modificado de Denyer y Alvarado (2007).





**Figura.** Esquemas de elementos utilizados en perforación SPT según ASTM D1586.



### 3.2 Ensayos

Las muestras extraídas en el campo fueron transportadas al laboratorio de Vieto & Asociados S.A. y analizadas para determinar características físicas y mecánicas de los diferentes estratos, tales como resistencia a la compresión inconfiada, humedad natural, límites de consistencia, distribución de tamaños de partículas y clasificación por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Con base en la información obtenida se elaboró los perfiles de la estratigrafía del suelo en cada zona de estudio los cuales se muestran en las hojas de resumen de la perforación.

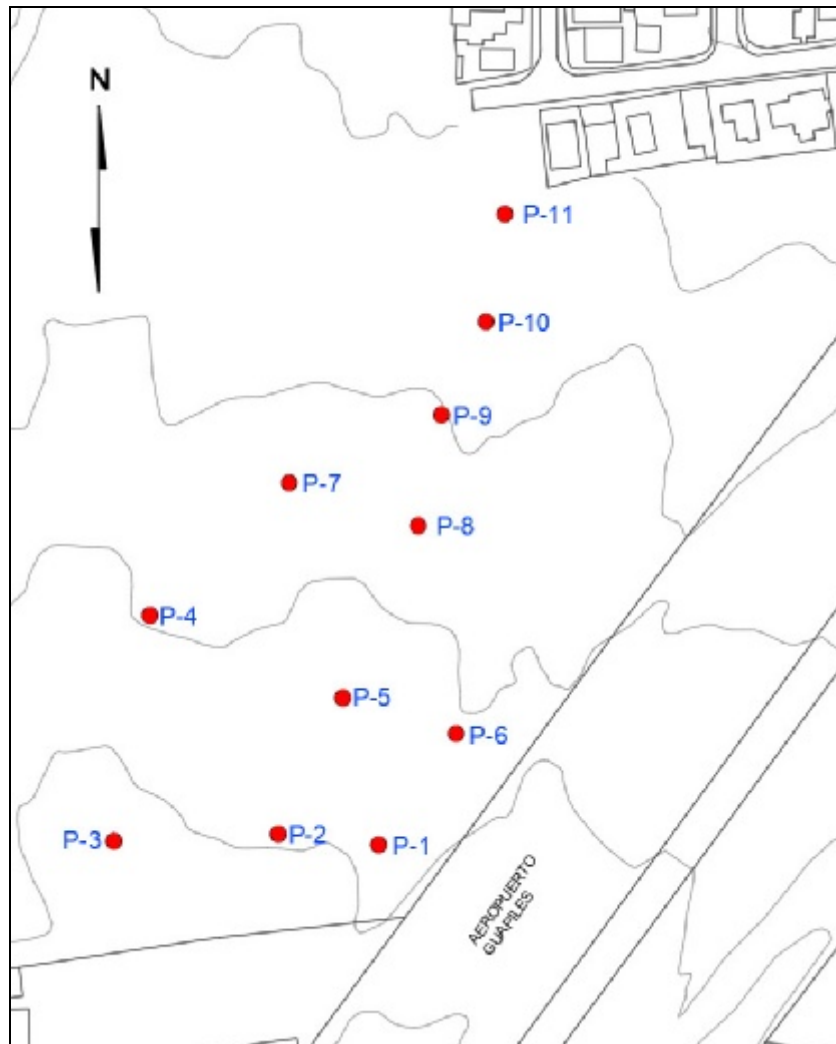
Seguidamente se indican los métodos utilizados que se desarrollan en el estudio de acuerdo con la aplicabilidad del caso según las características de los suelos.

Prueba de penetración y muestreo de suelos con muestreador partido (SPT)*	ASTM D1586
Práctica para preservación y transporte de muestras de suelo*	ASTM D4220
Método para el análisis granulométrico en mallas de agregado fino y grueso*	INTE C46 ASTM C136 AASHTO T27
Ensayo para determinar la cantidad de material más fino que 75 µm (No. 200) tamizado mediante lavado*	ASTM D1140 INTE C360
Método de ensayos para la determinación de contenido de humedad de suelos y rocas*	ASTM D2216 AASHTO T265 INTE C358
Método de ensayo para limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de suelo*	ASTM D4318 AASHTO T89 AASHTO T90 INTE C363
Método de ensayo estándar para esfuerzo de compresión inconfiada de suelos cohesivos*	ASTM D2166
Práctica para la descripción e identificación de suelos* (Procedimiento visual-manual)	ASTM D2488
Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería* (Sistema Unificado de Clasificación de suelos)	ASTM D2487
Método de ensayo para la determinación de densidad en especímenes de suelo**	ASTM D7263 AASHTO T233 INTE C366

\* Ensayo acreditado

\*\* Ensayo no acreditado

### 3.3 Resumen de perforaciones



**Figura.** Diagrama de distribución de perforaciones.

**Tabla.** Resumen de datos de perforaciones.

Perforación	Coordenadas GPS CRTM-05		Profundidad de perforación (m)	Profundidad de nivel freático (m)
	E	N		
<b>P-1</b>	522119.	1129741.	5,00	No se encontró*
<b>P-2</b>	522091.	1129744.	5,00	No se encontró*
<b>P-3</b>	522045.	1129742.	5,00	No se encontró*
<b>P-4</b>	522055.	1129805.	3,00	2,40
<b>P-5-1</b>	522109.	1129782.	1,20	No se encontró*
<b>P-5-2</b>	522109.	1129779.	1,80	No se encontró*
<b>P-6</b>	522140.	1128772.	0,60	No se encontró*
<b>P-7</b>	522094.	1129842.	1,80	No se encontró*
<b>P-8</b>	522130.	1129830.	1,80	No se encontró*
<b>P-9</b>	522136.	1129861.	1,80	No se encontró*
<b>P-10</b>	522148.	1129887.	1,80	No se encontró*
<b>P-11</b>	522154.	1129917.	1,80	No se encontró*

\* Hasta la profundidad explorada.

### 3.4 Descripción de los estratos y clasificación de los suelos

#### Perforación P-1:

- 0,00 m a 1,20 m** Grava limosa de color café con arena (GM).  
LA-1 (NA).  
Grad-1 (52% Grava, 35% Arena, 13% Finos).  
Compacidad variable entre muy suelta y muy densa.  
Resistencia seca media.
- 1,20 m a 5,00 m** Depósito aluvial.  
L<sub>máx</sub>= 100 mm

#### Perforación P-2:

- 0,00 m a 0,60 m** Limo color café oscuro con raíces.  
Consistencia variable entre muy blanda y medianamente rígida.  
Resistencia seca media.
- 0,60 m a 1,80 m** Arena limosa de color café oscuro con rastro de grava (SM).  
LA-2 (LL=97%, LP=65%).  
Grad-2 (5% Grava, 60% Arena, 35% Finos).  
Compacidad variable entre muy suelta y densa.  
Resistencia seca media.
- 1,80 m a 5,00 m** Depósito aluvial.  
L<sub>máx</sub>= 470 mm

#### Perforación P-3:

- 0,00 m a 0,60 m** Limo color café oscuro con raíces.  
Consistencia variable entre muy blanda y blanda.  
Resistencia seca media.
- 0,60 m a 1,20 m** Arena limosa de color café oscuro (SM).  
LA-3 (LL=97%, LP=65%).  
Grad-3 (1% Grava, 61% Arena, 38% Finos).  
Compacidad variable entre muy suelta y densa.  
Resistencia seca media.
- 1,20 m a 5,00 m** Depósito aluvial.  
L<sub>máx</sub>= 300 mm

### Perforación P-4:

- 0,00 m a 0,60 m** Limo color café oscuro con raíces.  
Consistencia variable entre muy blanda y blanda.  
Resistencia seca media.
- 0,60 m a 1,20 m** Arena limosa de color café (SM).  
LA-4 (LL=97%, LP=65%).  
Grad-4 (1% Grava, 62% Arena, 37% Finos).  
Compacidad muy suelta.  
Resistencia seca media.
- 1,20 m a 3,00 m** Arena limosa de color café oscuro (SM).  
LA-5 (LL=33%, LP=24%).  
Grad-5 (2% Grava, 69% Arena, 29% Finos).  
Compacidad variable entre muy suelta y densa.  
Resistencia seca media.

### Perforación P-5-1:

- 0,00 m a 1,20 m** Arena limosa de color café oscuro con raíces (SM).  
LA-6 (LL=97%, LP=65%).  
Grad-6 (57% Arena, 43% Finos).  
Compacidad variable entre muy suelta y muy densa.  
Resistencia seca media.

### Perforación P-5-2:

- 0,00 m a 0,60 m** Limo color café oscuro con raíces.  
Consistencia variable entre muy blanda y blanda.  
Resistencia seca media.
- 0,60 m a 1,80 m** Arena limosa de color café oscuro (SM).  
LA-7 (LL=97%, LP=65%).  
Grad-7 (2% Grava, 74% Arena, 24% Finos).  
Compacidad variable entre medianamente densa y muy densa.  
Resistencia seca media.

### Perforación P-6:

- 0,00 m a 0,60 m** Limo color café oscuro con raíces.  
Consistencia blanda.  
Resistencia seca media.

### Perforación P-7:

- 0,00 m a 0,15 m** Limo color café con raíces.
- 0,15 m a 1,80 m** Arena limosa de color café (SM).  
LA-8 (LL=97%, LP=65%).  
Grad-8 (4% Grava, 62% Arena, 34% Finos).  
Compacidad variable entre muy suelta y muy densa.  
Resistencia seca media.

### Perforación P-8:

- 0,00 m a 1,80 m** Arena limosa de color café oscuro (SM).  
LA-9 (LL=97%, LP=65%).  
Grad-9 (4% Grava, 60% Arena, 36% Finos).  
Compacidad variable entre muy suelta y densa.  
Resistencia seca media.

### Perforación P-9:

- 0,00 m a 1,80 m** Arena limosa de color café con raíces y grava (SM).  
LA-10 (LL=97%, LP=65%).  
Grad-10 (17% Grava, 59% Arena, 24% Finos).  
Compacidad variable entre muy suelta y muy densa.  
Resistencia seca media.

### Perforación P-10:

- 0,00 m a 1,80 m** Arena limosa de color café oscuro con raíces (SM).  
LA-11 (LL=97%, LP=65%).  
Grad-11 (62% Arena, 38% Finos).  
Compacidad variable entre muy suelta y densa.  
Resistencia seca baja.

### Perforación P-11:

- 0,00 m a 1,20 m** Arena limosa de color café oscuro (SM).  
LA-12 (LL=97%, LP=65%).  
Grad-12 (11% Grava, 63% Arena, 26% Finos).  
Compacidad muy suelta.  
Resistencia seca media.
- 1,20 m a 1,80 m** Arena limosa de color café.  
Compacidad variable entre densa y muy densa.  
Resistencia seca baja.

**Nota:**

LA: Límites de Atterberg (Límites de consistencia)  
LL: Límite Líquido / LP: Límite plástico  
Grad: Graduación (Análisis granulométrico)

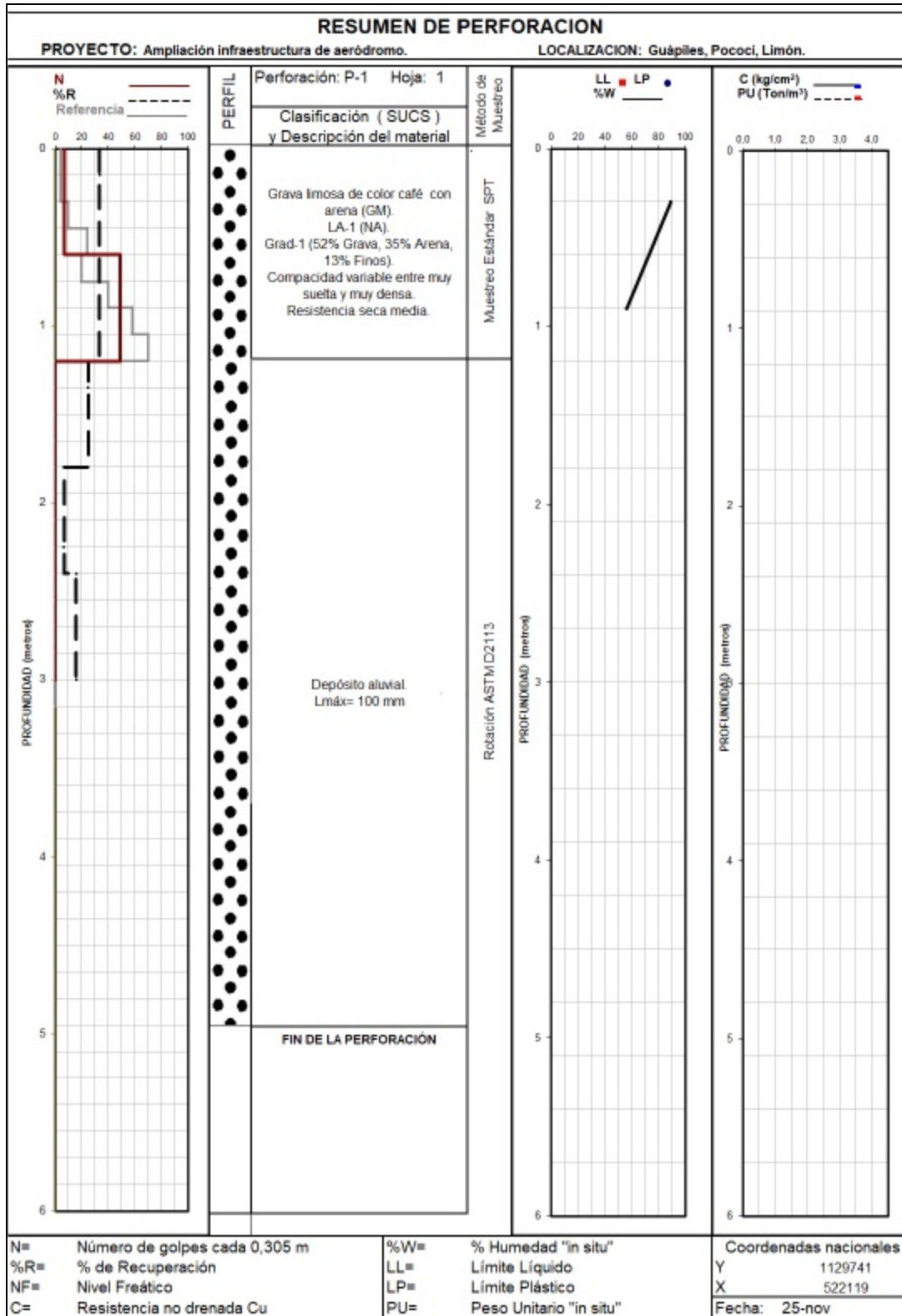


## 3.5 Resumen de hojas de perforación y fotos

### 3.5.1 Perforación P-1

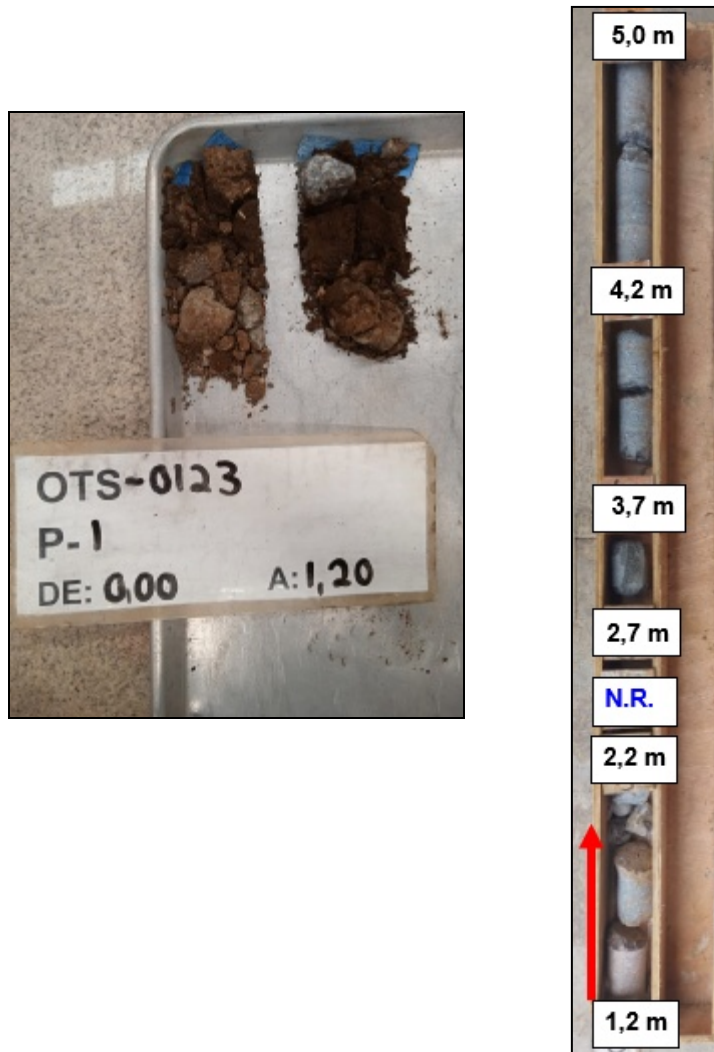


**Fotografía.** Vista de perforación P-1.





## PERFORACIÓN P-1 (OTS-0123)

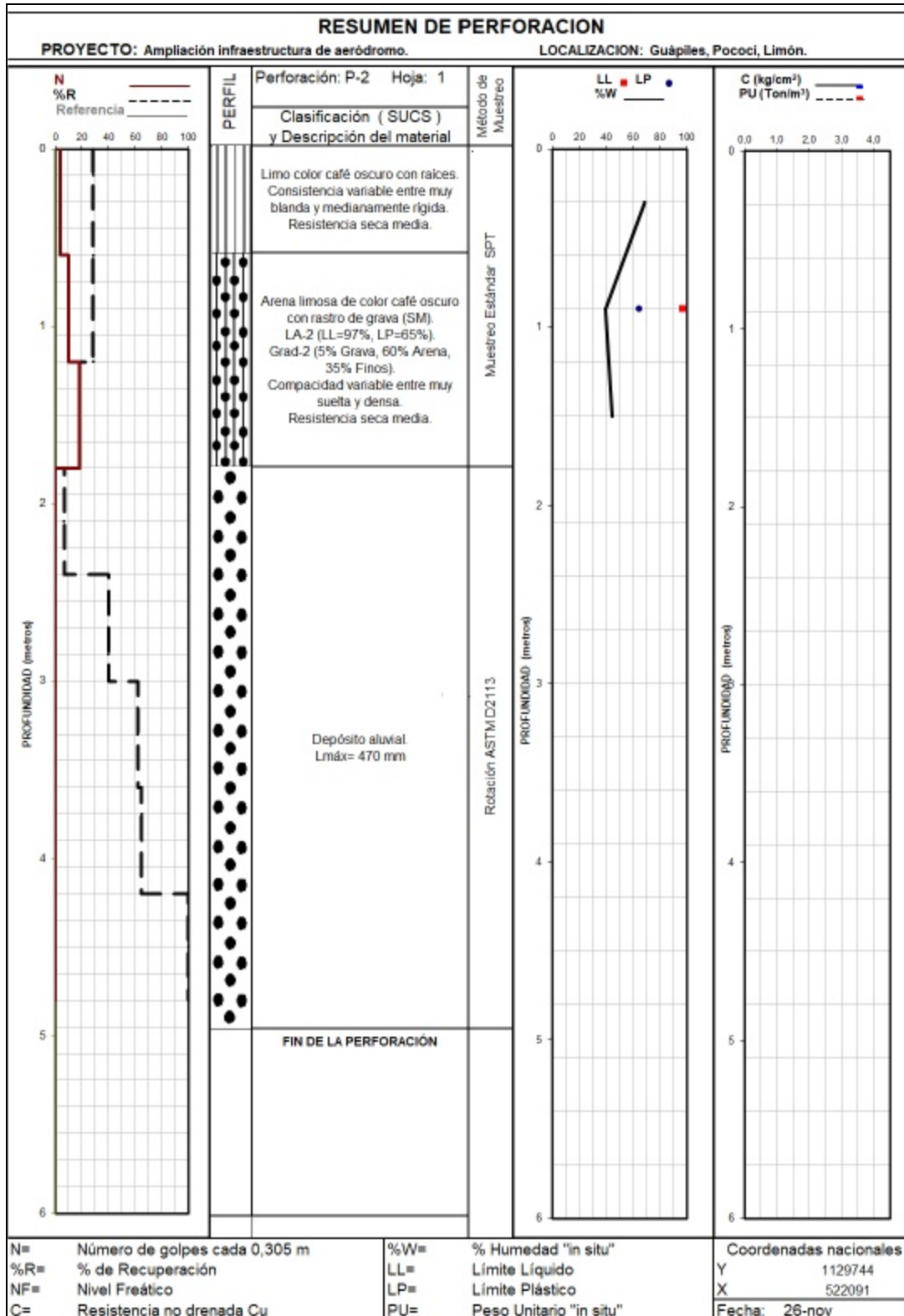


**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 5,0 m.

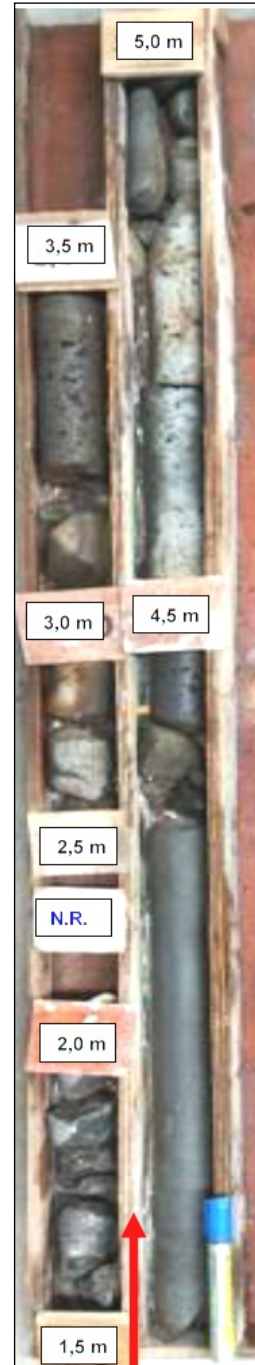
### 3.5.2 Perforación P-2



**Fotografía.** Vista de perforación P-2.



## PERFORACIÓN P-2 (OTS-0123)



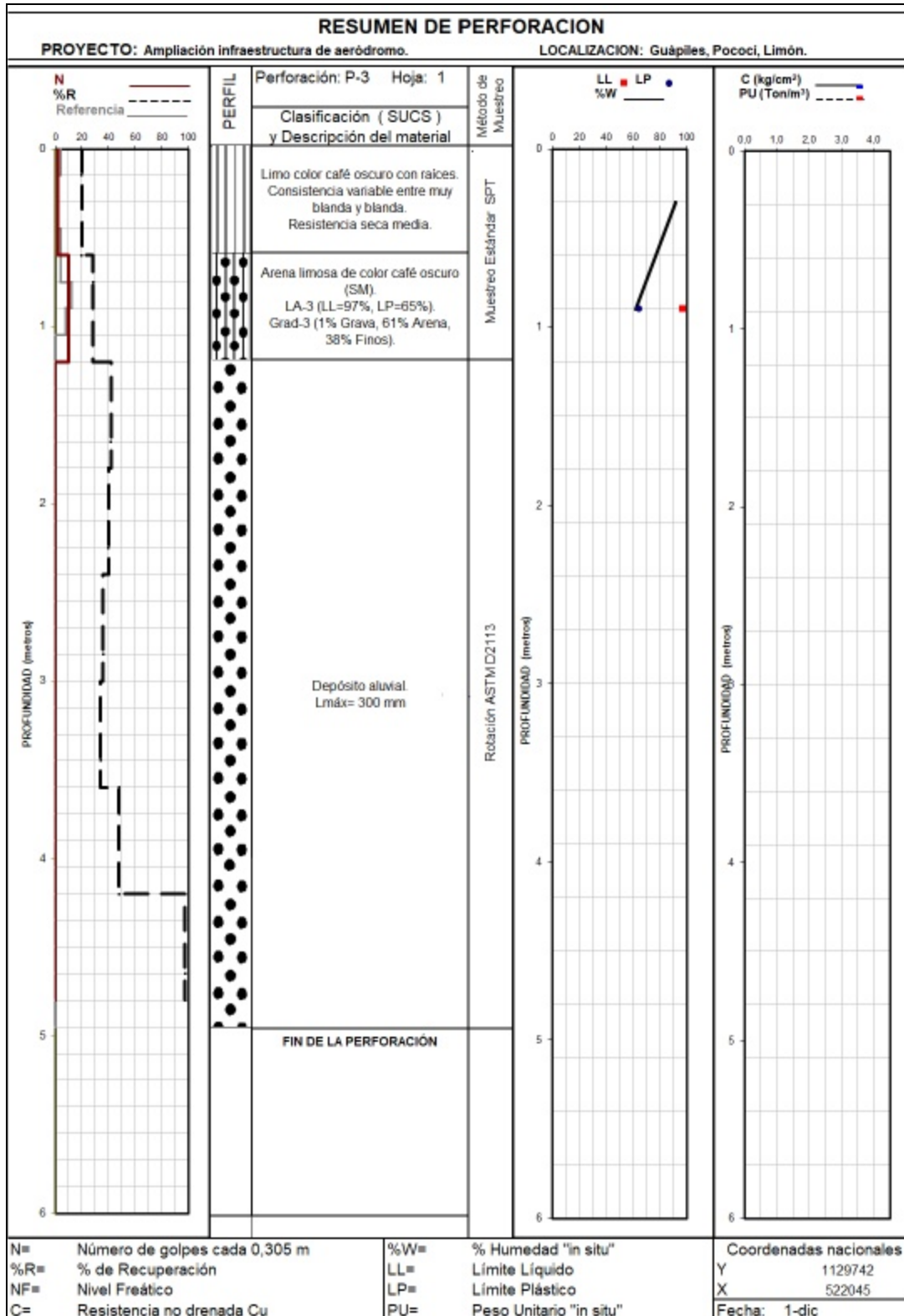
**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 5,00 m.



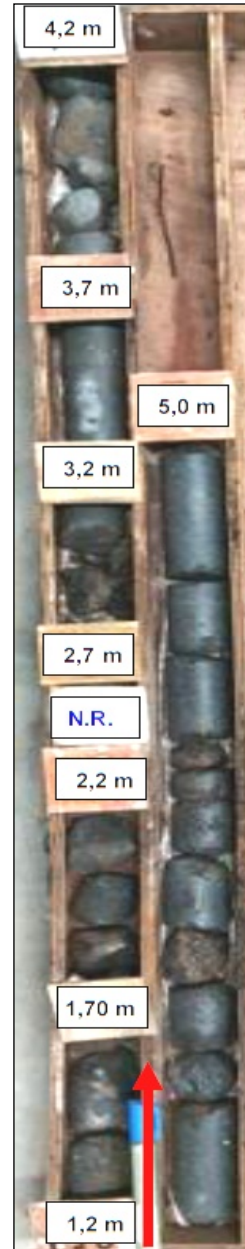
### 3.5.3 Perforación P-3



**Fotografía.** Vista de perforación P-3.

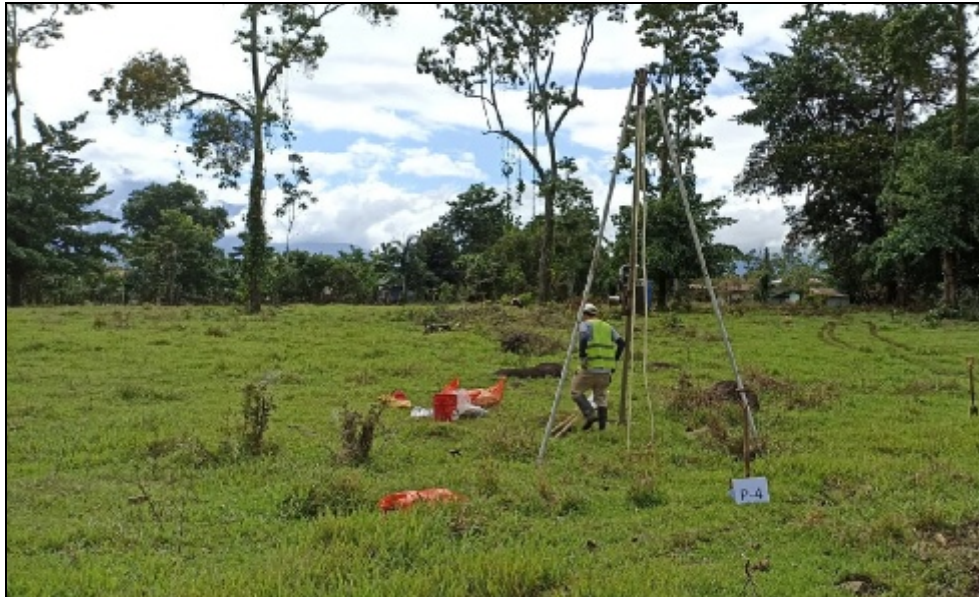


### PERFORACIÓN P-3 (OTS-0118)



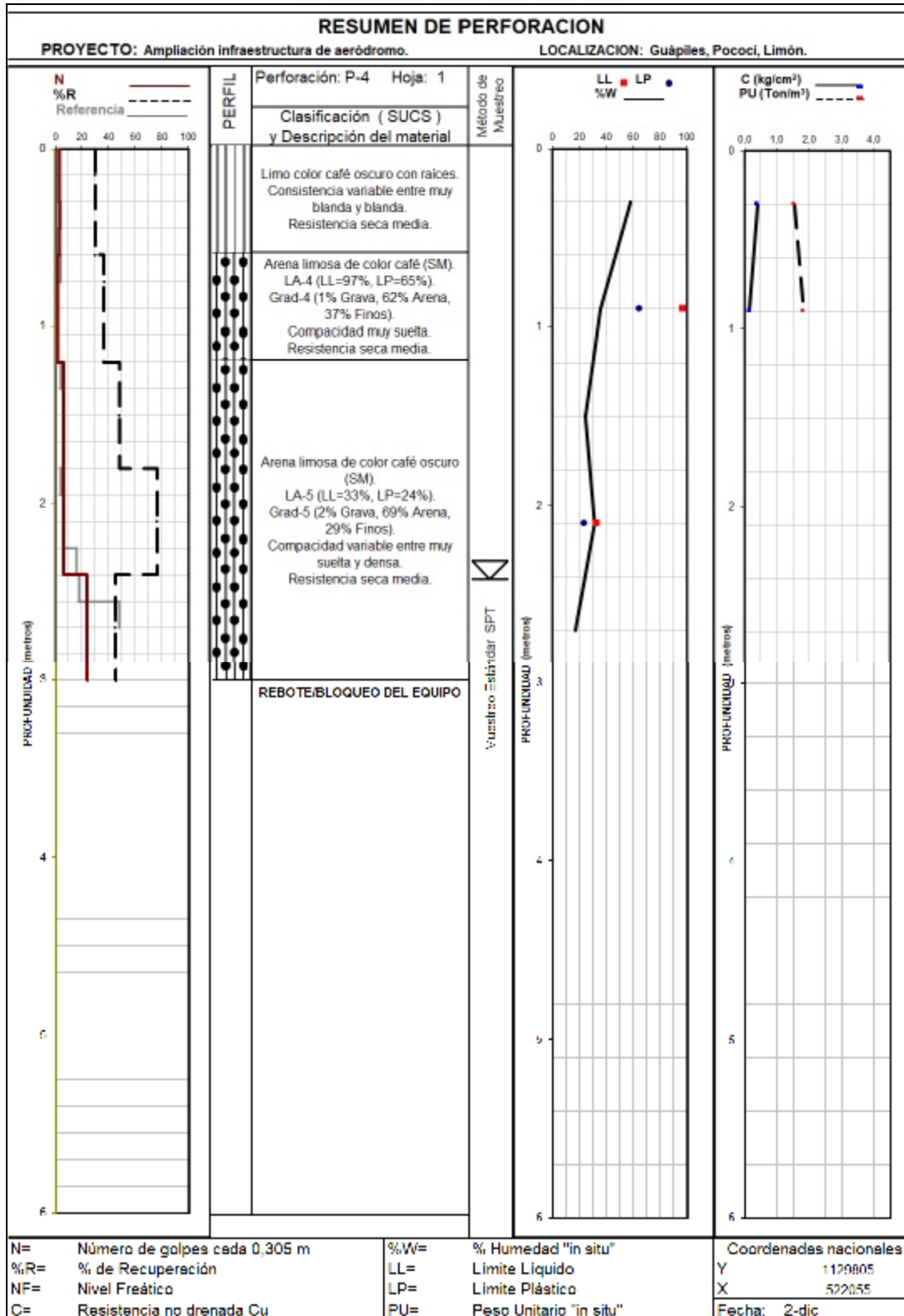
**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 5,00 m.

### 3.5.4 Perforación P-4



**Fotografía.** Vista de perforación P-4.





## PERFORACIÓN P-4 (OTS-0123)

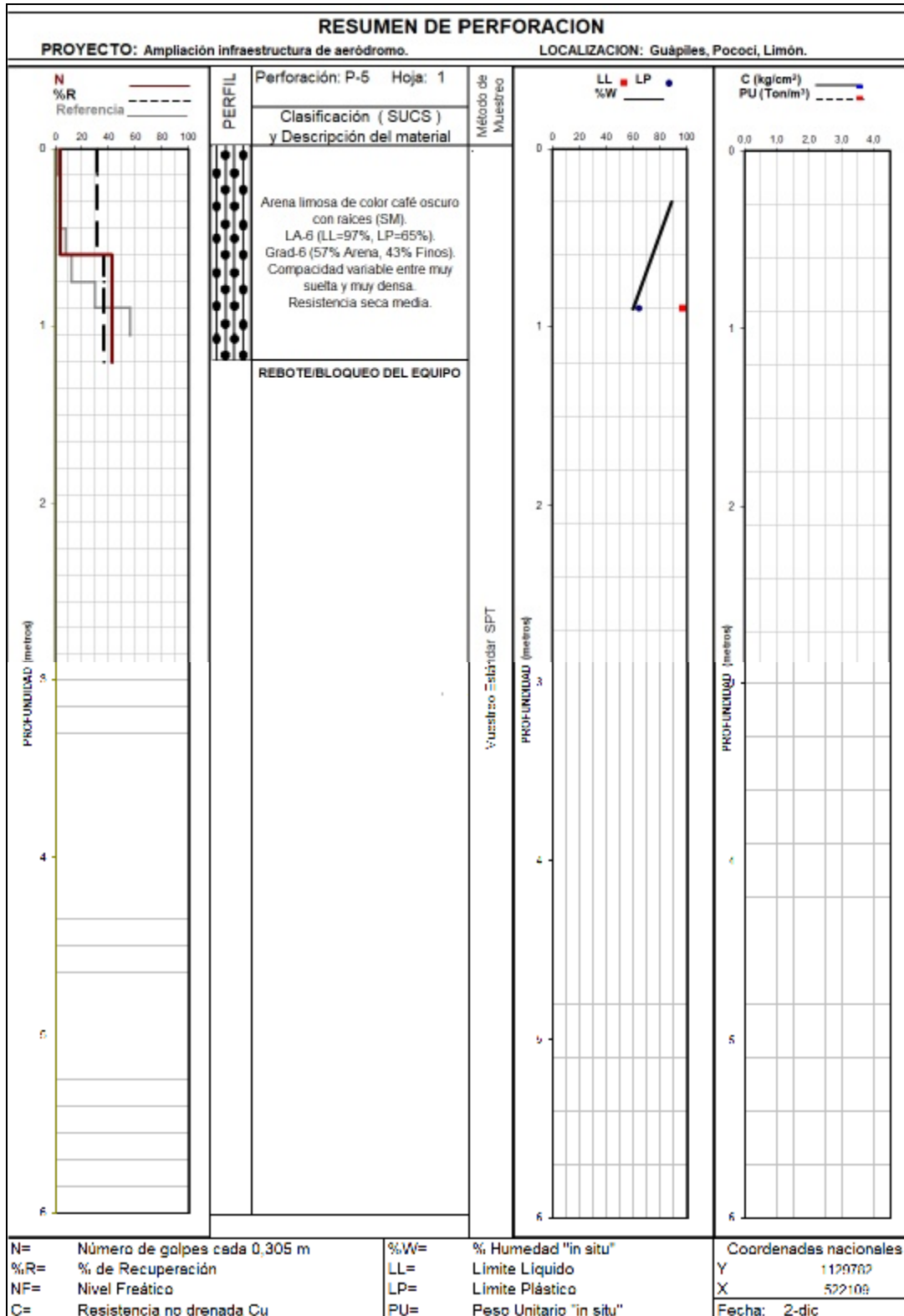


**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 3,00 m.

### 3.5.5 Perforación P-5-1



**Fotografía.** Vista de perforación P-5-1.



## PERFORACIÓN P-5-1 (OTS-0123)



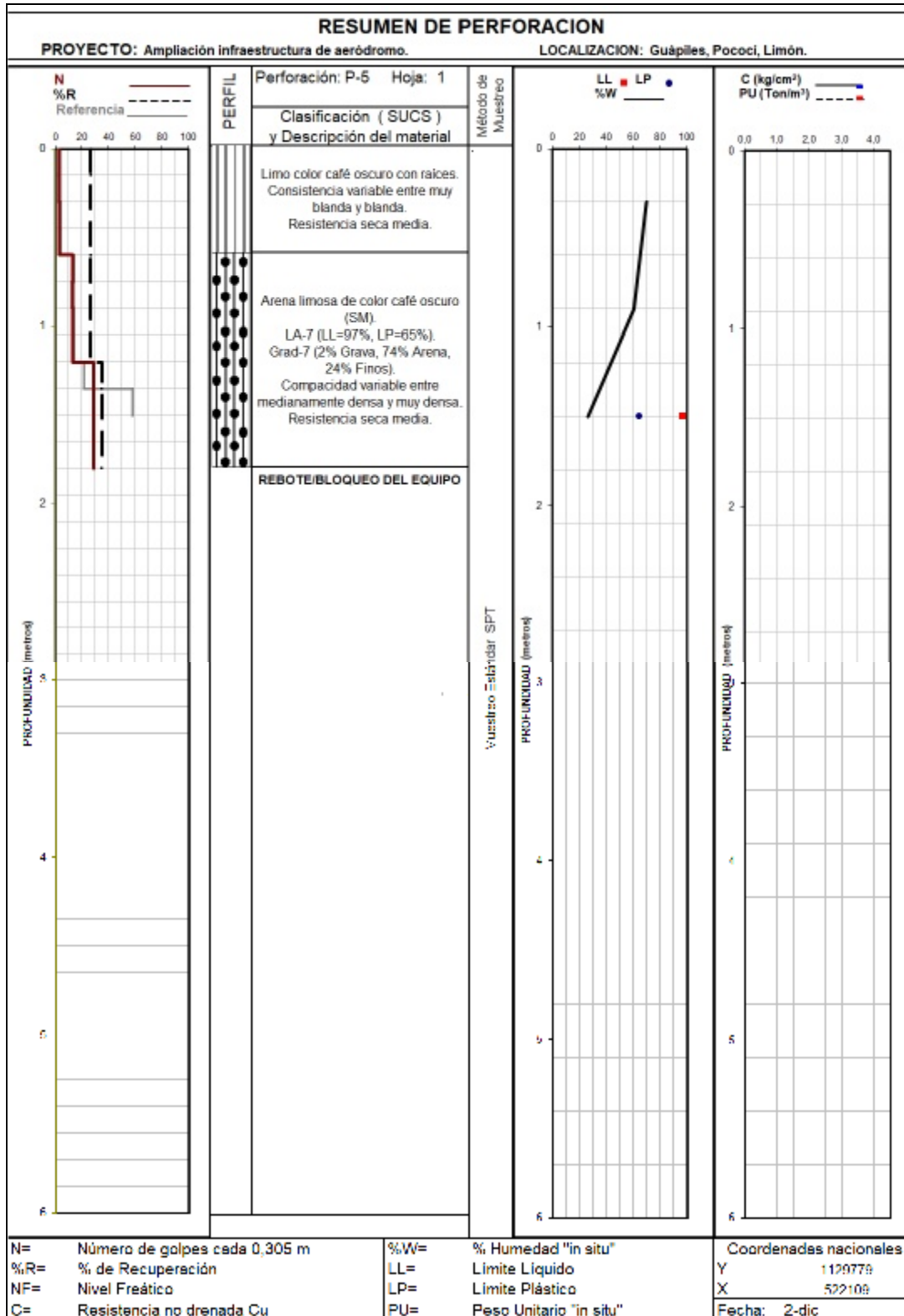
**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 1,20 m.



### 3.6.6 Perforación P-5-2



**Fotografía.** Vista de perforación P-5-2.



## PERFORACIÓN P-5-2 (OTS-0123)



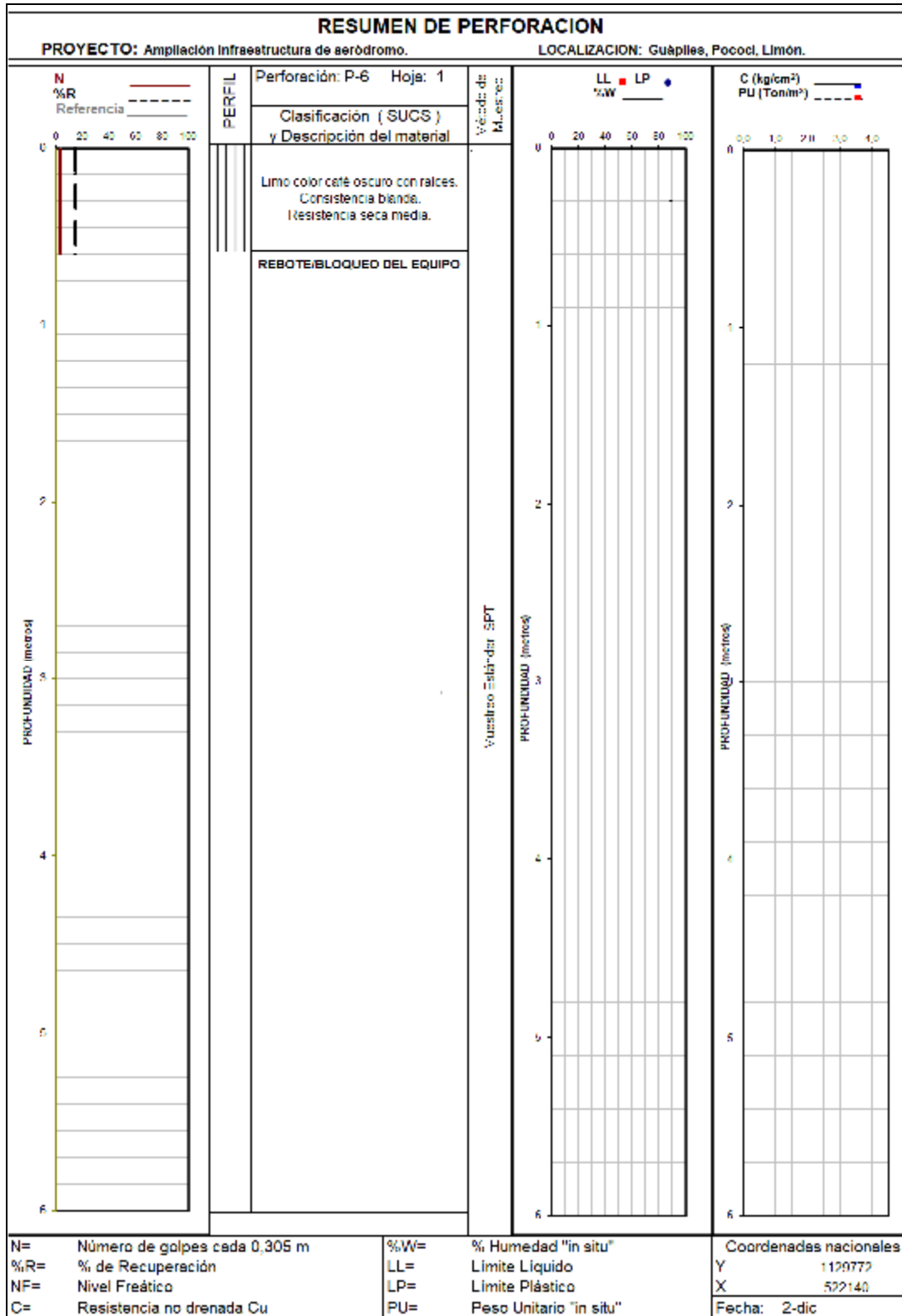
**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 1,80 m.



### 3.5.7 Perforación P-6



**Fotografía.** Vista de perforación P-6.



## PERFORACIÓN P-6 (OTS-0123)

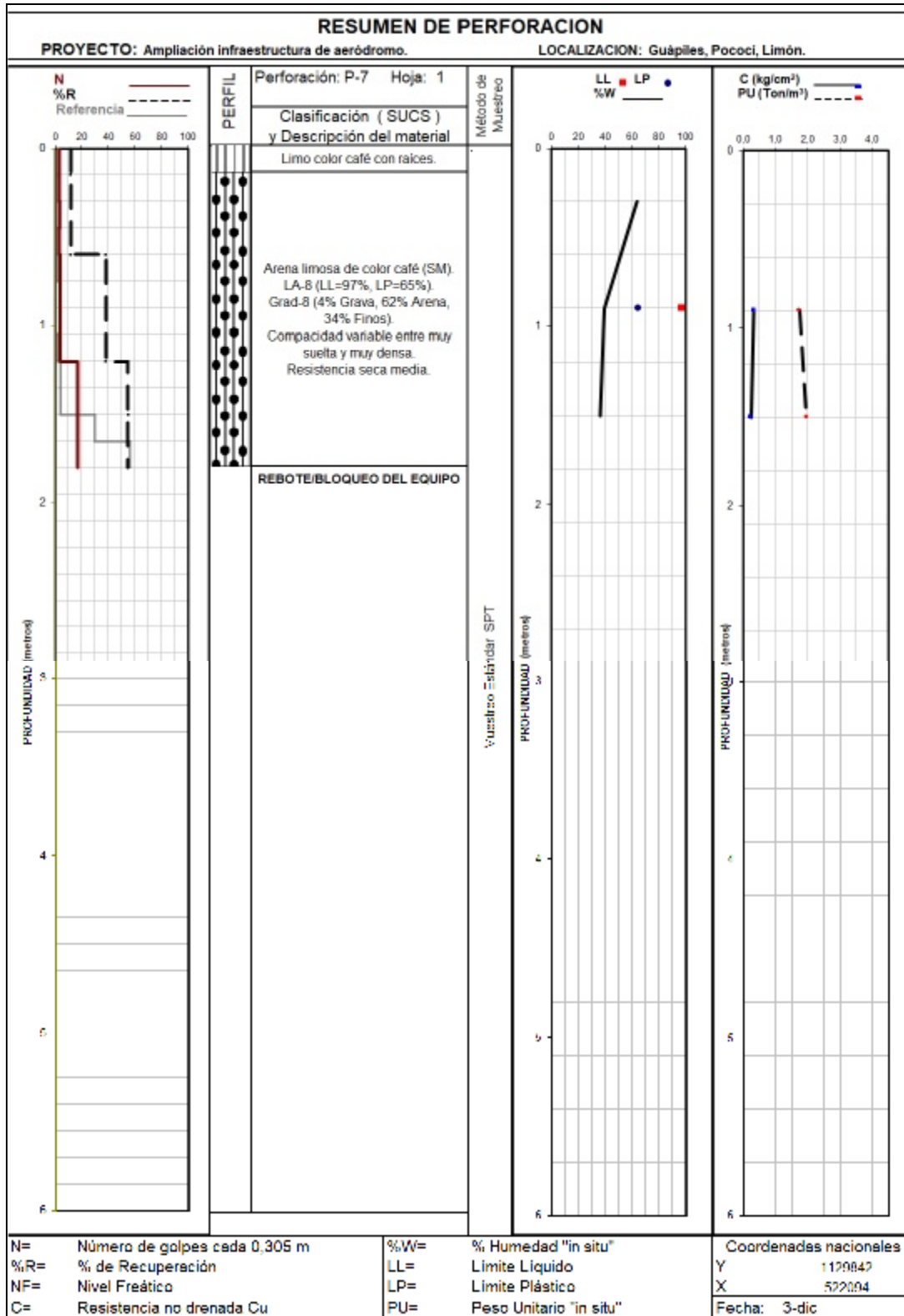


**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 0,60 m.

### 3.5.8 Perforación P-7



**Fotografía.** Vista de perforación P-7.





## PERFORACIÓN P-7 (OTS-0123)

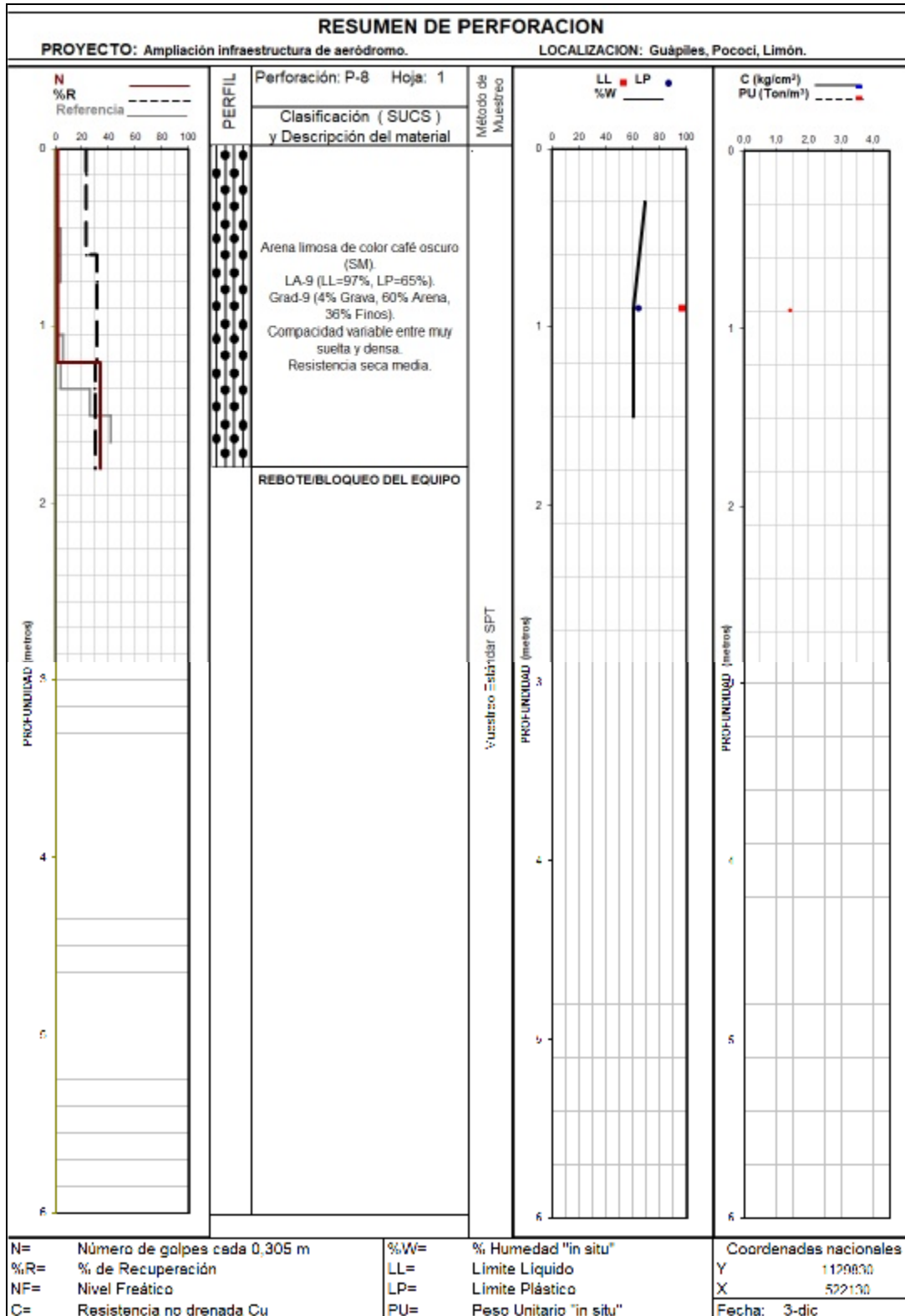


**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 1,80 m.

### 3.5.9 Perforación P-8



**Fotografía.** Vista de perforación P-8.





## PERFORACIÓN P-8 (OTS-0123)

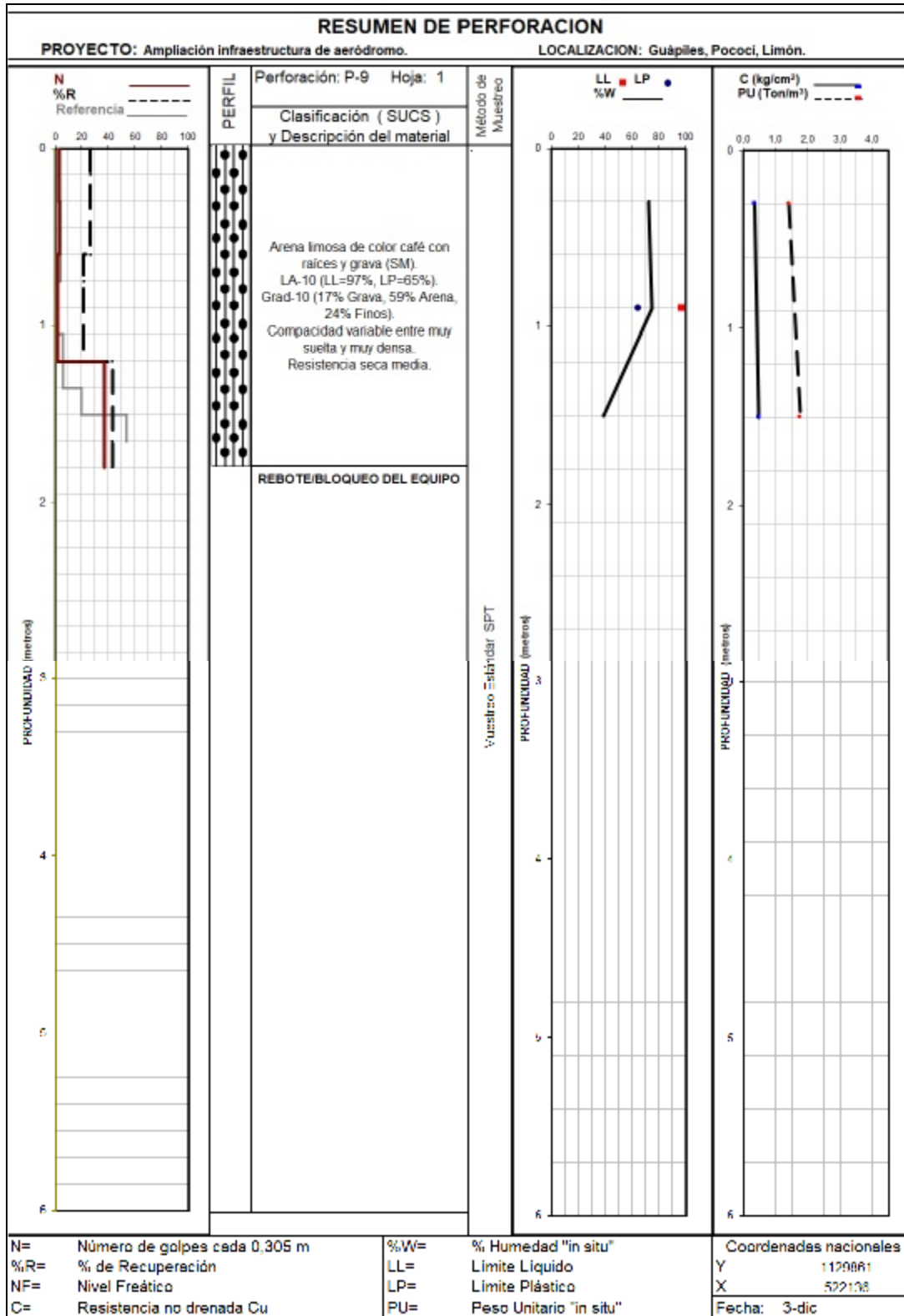


**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 1,80 m.

### 3.5.10 Perforación P-9



**Fotografía.** Vista de perforación P-9.



## PERFORACIÓN P-9 (OTS-0123)



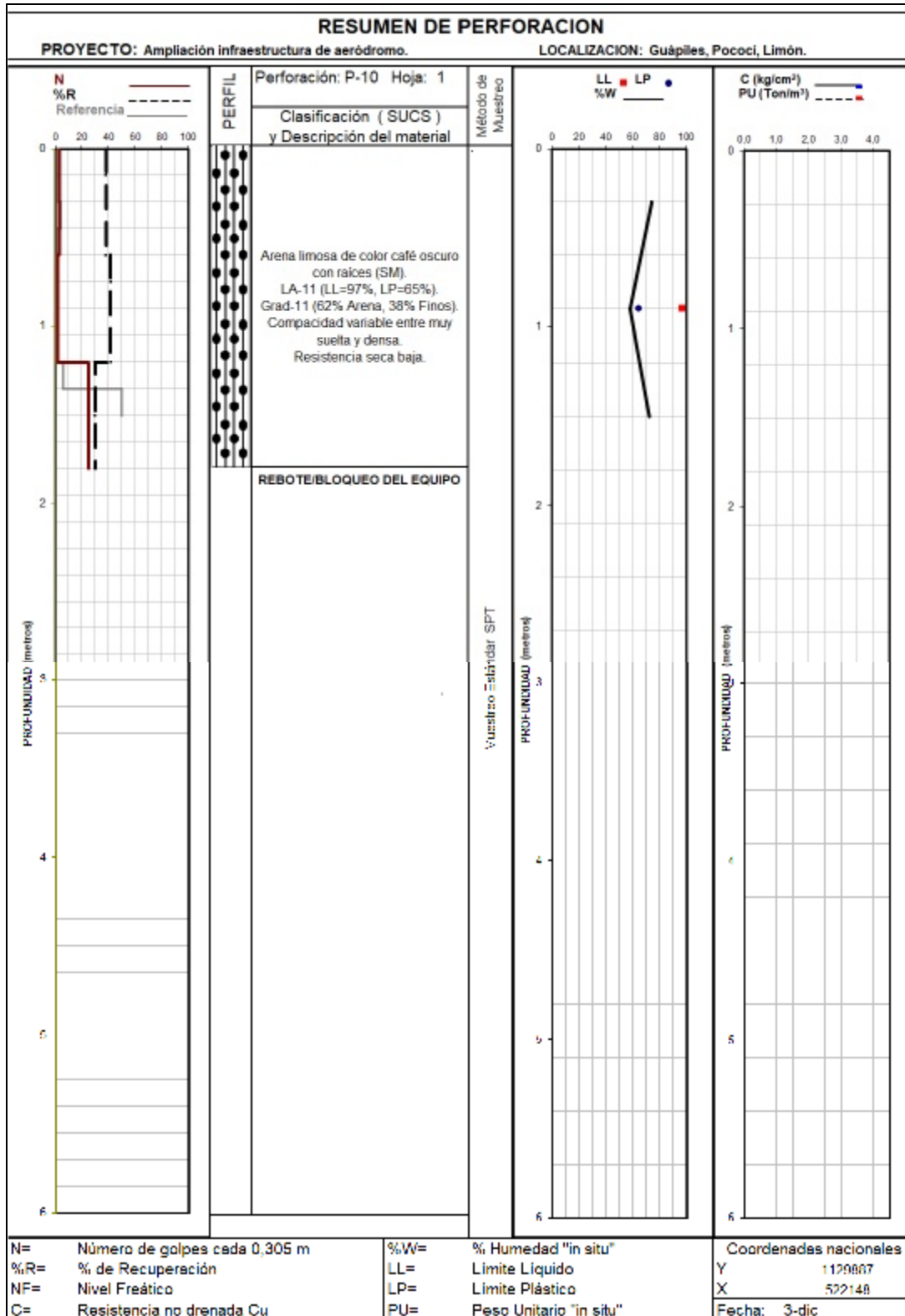
**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 1,80 m.



### 3.5.11 Perforación P-10



**Fotografía.** Vista de perforación P-10.



## PERFORACIÓN P-10 (OTS-0123)



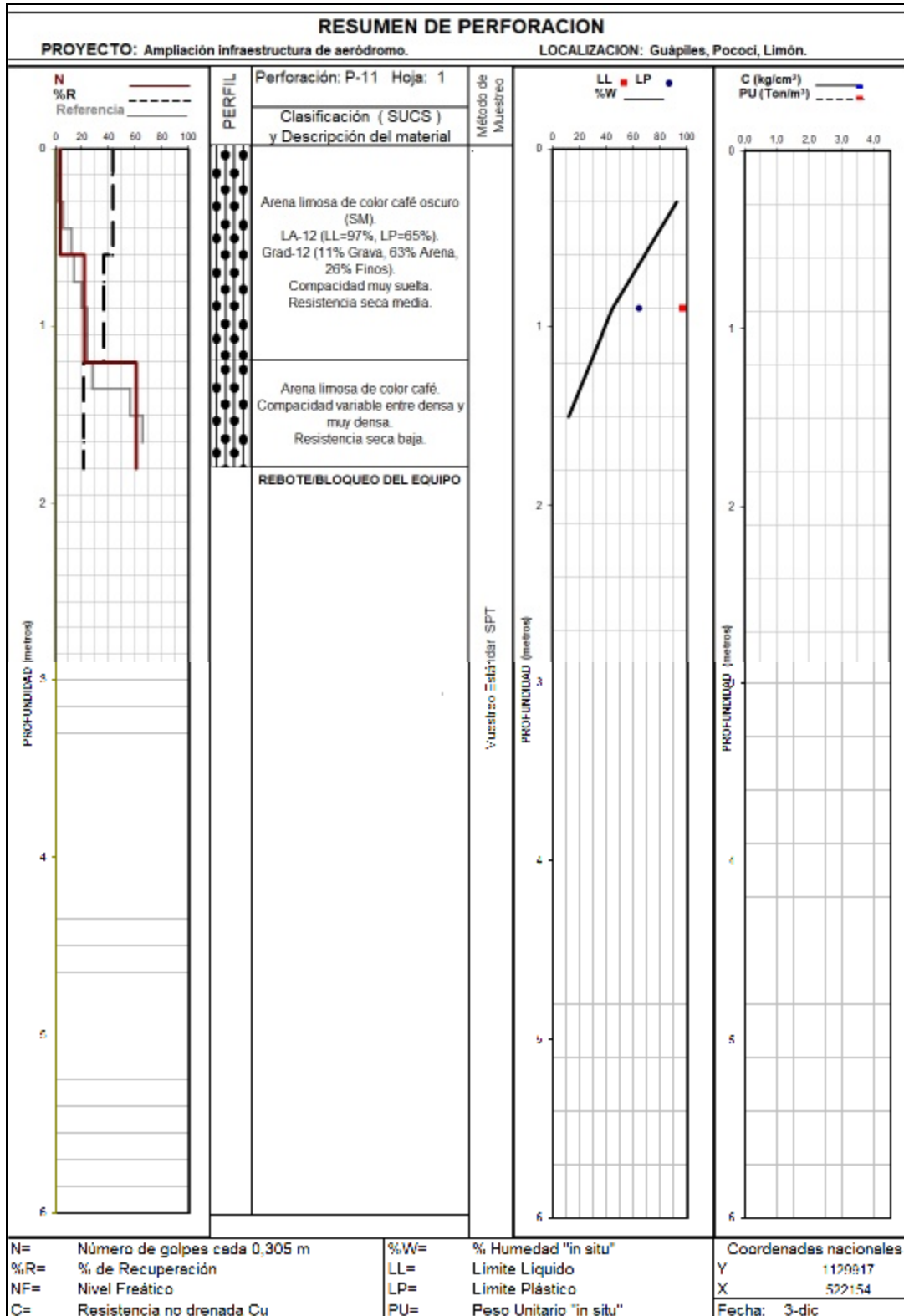
**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 1,80 m.

### 3.5.12 Perforación P-11

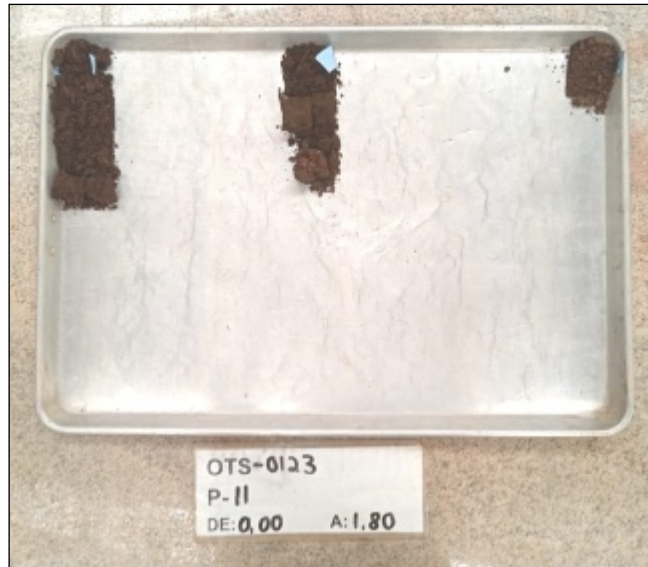


**Fotografía.** Vista de perforación P-11.





## PERFORACIÓN P-11 (OTS-0123)



**Fotografías.** Testigos de perforación. De 0,00 m a 1,80 m.

### 3.6 Capacidades soportantes

Tabla. Capacidad soportante por perforación.

Perforación No	Profundidad desde el nivel actual del terreno (m)	Capacidad soportante admisible $Q_{adm}$ FS=3 (ton/m <sup>2</sup> )
P-1	0,00 – 0,60	4
	0,60 – 1,20	10**
	1,20 – 3,70	10**
	3,70 – 5,00	>30
P-2	0,00 – 0,60	4
	0,60 – 1,50	6
	1,50 – 1,80	10**
	1,80 – 3,50	10**
	3,50 – 5,00	>30
P-3	0,00 – 0,60	2*
	0,60 – 1,20	6
	1,20 – 4,20	10**
	4,20 – 5,00	>30
P-4	0,00 – 1,20	2*
	1,20 – 2,40	6
	2,40 – 3,00	10**
P-5-1	0,00 – 0,60	4
	0,60 – 1,20	Bloqueo
P-5-2	0,00 – 0,60	2*
	0,60 – 1,20	8
	1,20 – 1,80	10
P-6	0,00 – 0,60	3*
	0,60 – 1,20	Bloqueo
P-7	0,00 – 1,50	2*
	1,50 – 1,80	10**
P-8	0,00 – 1,20	2*
	1,20 – 1,80	10**

FS: Factor de seguridad.

\* Suelos de consistencia blanda no adecuados para apoyar fundaciones de manera directa.

\*\* Se limita la capacidad soportante admisible a un valor máximo de 10 ton/m<sup>2</sup>.

**Tabla.** Capacidad soportante por perforación. Continuación.

Perforación No	Profundidad desde el nivel actual del terreno (m)	Capacidad soportante admisible $Q_{adm}$ FS=3 (ton/m <sup>2</sup> )
<b>P-9</b>	0,00 – 1,20	2*
	1,20 – 1,80	10**
<b>P-10</b>	0,00 – 1,20	2*
	1,20 – 1,80	10**
<b>P-11</b>	0,00 – 0,60	2*
	0,60 – 1,80	10**

FS: Factor de seguridad.

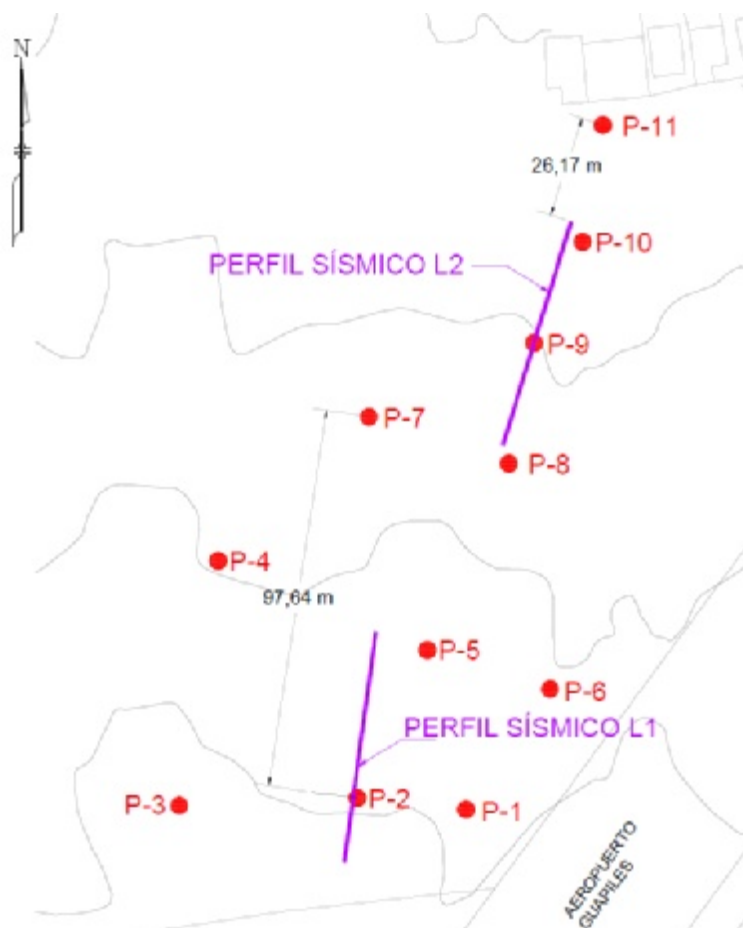
\* Suelos de consistencia blanda no adecuados para apoyar fundaciones de manera directa.

\*\* Se limita la capacidad soportante admisible a un valor máximo de 10 ton/m<sup>2</sup>.

## 4. EXPLORACIÓN GEOFISICA

### 4.1 Generalidades

El presente estudio tiene por objetivo determinar a partir del método de refracción sísmica las características de propagación de ondas sísmicas de los estratos que conforman el terreno en la zona de interés.



**Figura.** Vista de ubicación de los perfiles sísmicos.

**Tabla.** Resumen de datos de coordenadas de ubicación de perfiles sísmicos.

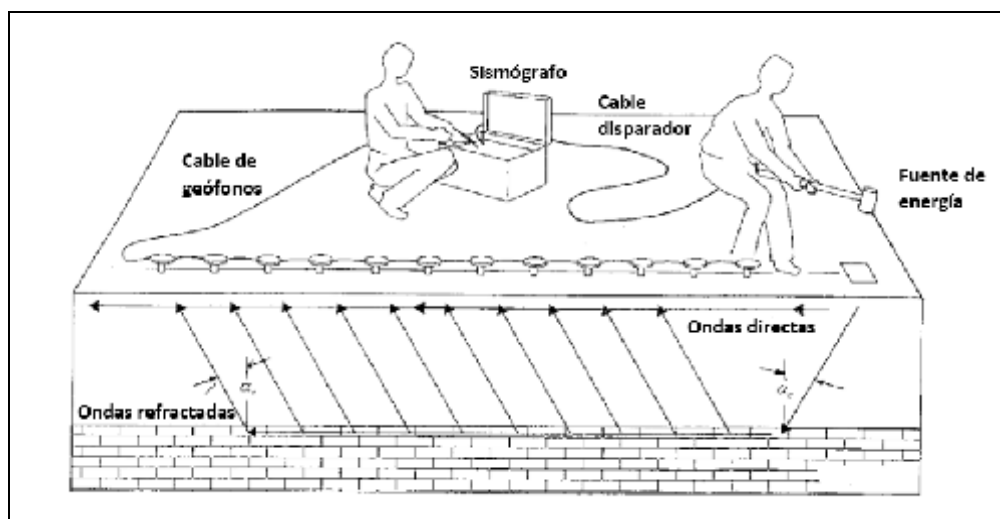
Punto	Perfil L1		Perfil L2	
	E	N	E	N
Extremo sur	522.087.	1.129.727.	522.128.	1.129.835.
Extremo norte	522.095.	1.129.787.	522.146.	1.129.892.

## 4.2 Metodología de prospección geofísica y equipo

### 4.2.1 Adquisición

En la práctica, se busca conocer el tiempo mínimo que tardan las ondas sísmicas o elásticas en propagarse hasta los diferentes horizontes refractores del subsuelo, y luego, de éstos hasta emerger a la superficie, en donde las vibraciones son detectadas con una serie de geófonos, un sismógrafo y una computadora.

Las ondas sísmicas se generaron artificialmente mediante el efecto del golpe con un mazo de 20 lb sobre una placa metálica colocada en la superficie del terreno. Los puntos de generación de ondas se realizan en lugares previamente definidos, los cuales son denominados puntos de disparo.



**Figura.** Esquema de método de trabajo en campo.  
Fuente: ASTM D 5777, modificado por Vieto & Asociados S.A.

Los geófonos son elementos transductores que convierten el movimiento del terreno en una señal eléctrica que se envía al sismógrafo, el cual es un dispositivo electrónico que amplifica las señales y las presenta en forma gráfica. El sismógrafo utilizado cuenta con un sistema de registro sísmico de 24 canales con líneas múltiples y se utiliza conectado a una laptop que registra y procesa los datos registrados.





**Figura.** Vista de la adquisición del tendido sísmico L-1.



**Figura.** Vista de la adquisición del tendido sísmico L-2.



#### 4.2.2 Procesamiento e interpretación

Una vez obtenidos los sismogramas en campo, se procede con la lectura de los tiempos de los primeros arribos en los geófonos requeridos para la elaboración de las gráficas tiempo-distancia (dromocrónicas). Esta selección se basó en criterios de interpretación por parte de los encargados de procesar los datos.

La inversión del modelo sísmico en un proceso iterativo de inversión-ajuste-inversión hasta que los valores teóricos se equiparen a lo observado en exploraciones directas o a lo esperado según las condiciones geológicas del sitio, en ese punto termina el proceso de inversión y se puede establecer el modelo de interpretación sísmica.

El procesamiento para la interpretación de datos se realiza según el Método Recíproco Generalizado (GRM) para identificar el patrón del refractor.

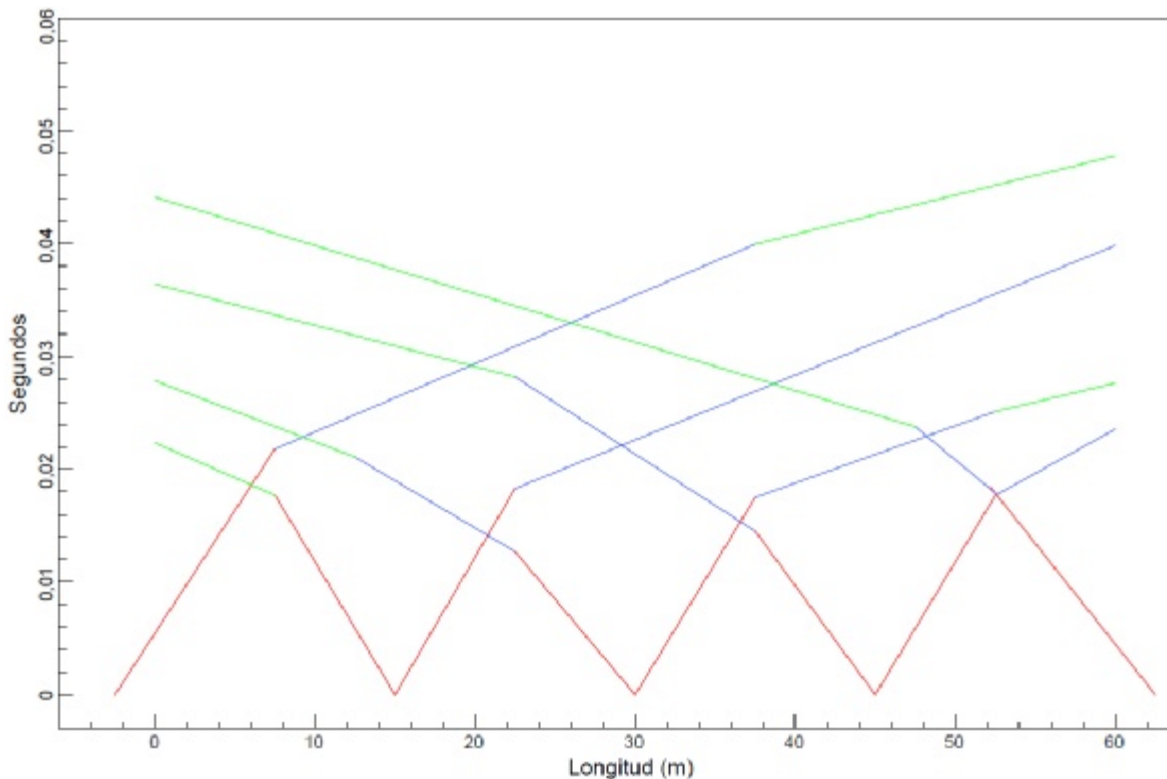
#### 4.2.3 Supuestos y limitaciones

- Las velocidades sísmicas de terreno involucradas en la investigación deben aumentar con la profundidad. En el caso de que se tenga una capa intermedia de menor velocidad no será detectada.
- Los estratos deben poseer un espesor suficiente para ser detectados.
- Investigaciones realizadas sobre rellenos antropogénicos o en áreas utilizadas como vertederos y en presencia de un fuerte ruido ambiental pueden conducir a resultados poco fiables.
- La metodología de refracción sísmica no permite identificar la existencia y/o localización de clastos en la matriz de suelos.

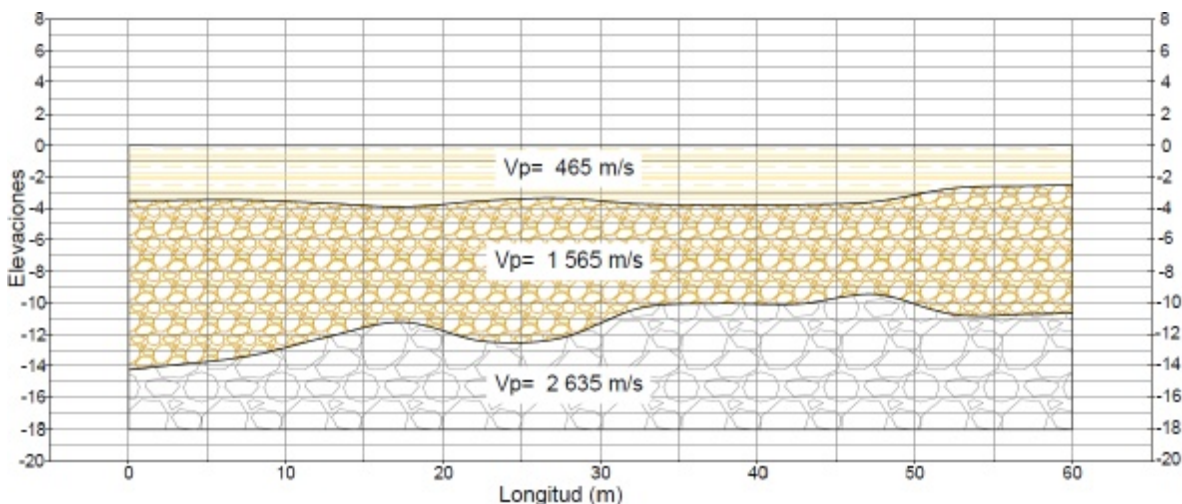
#### 4.2.4 Fuentes de error y observaciones

- En refracción sísmica, las fuentes de error posibles incluyen además de los errores topográficos, la lectura de los tiempos de arribo ( $\pm 2$  ms) y el cálculo de las velocidades y profundidades de las interfaces. Este último punto, significa que para estratos profundos el error es acumulativo dependiendo del contraste de la impedancia acústica.
- Se estima que para las primeras capas el error puede ser de hasta un 10%. Para capas profundas el error puede alcanzar hasta 15% sobre la profundidad total.
- No se realizaron correcciones a los datos de campo.
- Los datos fueron registrados en archivos con formato SEG.

### 4.2.5 Perfil sísmico L-1

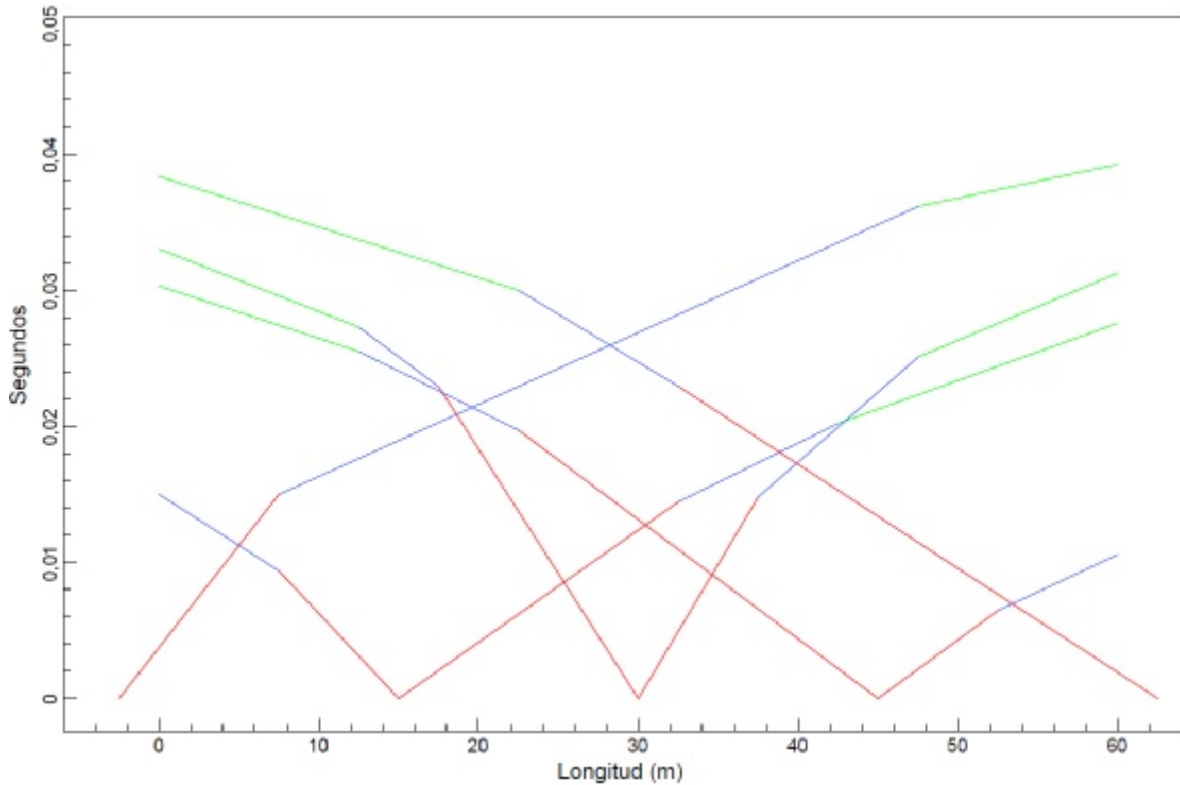


**Figura.** Dromocrónica perfil L-1.

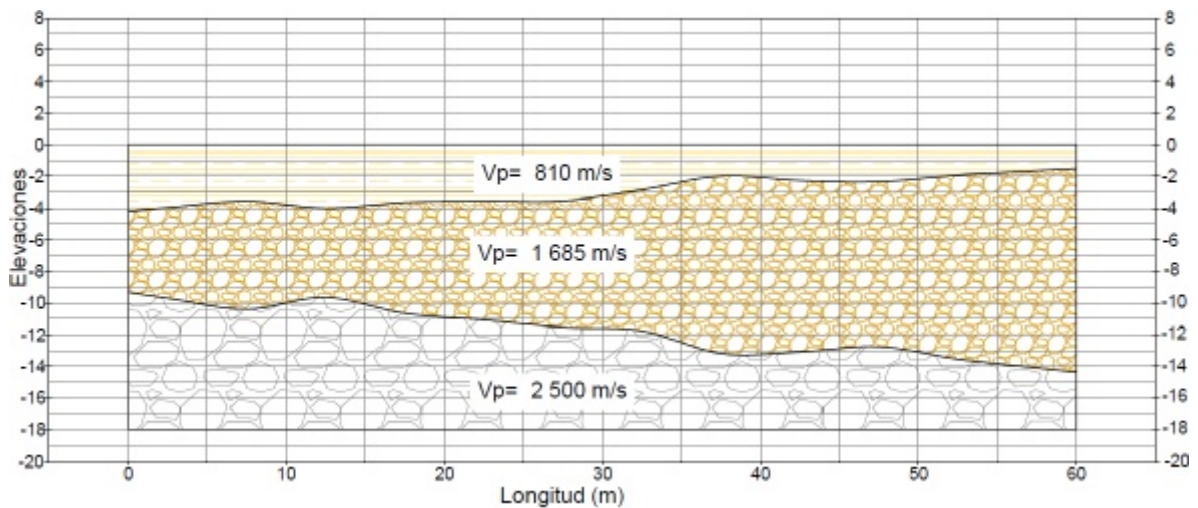


**Figura.** Modelo geofísico perfil L-1.

### 4.2.6 Perfil sísmico L-2




**Figura.** Dromocrónica perfil L-2.



**Figura.** Modelo geofísico perfil L-2.

### 4.3 Observaciones

**Tabla.** Correlación de materiales y velocidades de onda P.

SÍMBOLO	Velocidades (m/s)	DESCRIPCIÓN
	V <sub>p</sub>	
	485 - 810	Suelos superficiales con bloques
	1 565 - 1 685	Material aluvial moderadamente compactado
	2 500 - 2 635	Depósitos aluviales compactos

- Se infiere a partir de observación de campo y del modelo geofísico, al menos 3 capas sísmicas cuyas velocidades aumentan significativamente con la profundidad.
- El primer horizonte, de un espesor variable entre aproximadamente 2 m y 2,5 m, se relaciona con los suelos orgánicos, suelos blandos y sedimentos no consolidados conteniendo bloques rocosos con distribución aleatoria.
- La segunda capa inferida presenta velocidades de 1 565 m/s a 1 685 m/s y se correlaciona con la cobertura superficial de depósitos aluviales moderadamente compactos, asociados con la colmatación sedimentaria de la cuenca del río Tortuguero y Toro Amarillo.
- El refractor basal consiste de igual manera de depósitos aluviales densos con un rango velocidad promedio de onda P de 2 500 m/s a 2 635 m/s. Se presume que este horizonte presenta heterogeneidad en cuanto a morfología y concentración bloques, cantos, gravas y arenas.
- Se considera que los resultados obtenidos son congruentes y satisfactorios de acuerdo con las condiciones geológicas identificadas y resultados de los sondeos geotécnicos realizados en el predio de interés.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones técnicas

El estudio realizado ha permitido la caracterización de propiedades físicas, mecánicas y sísmicas de los suelos existentes en los sitios donde se solicitaron las perforaciones.

Las exploraciones han permitido identificar que el terreno presenta un horizonte superior de suelos blandos de un espesor del orden de 1,5 m en el cual no es apto para el apoyo de fundaciones. Este horizonte es subyacente por un depósito aluvial de compacidad variable.

No se han identificado condiciones que representen una anomalía o problemática particular que limite el desarrollo del proyecto. Sin embargo, debido a las pobres calidades geomecánicas del horizonte superficial del terreno, se recomienda realizar mejoramientos de suelos que consistan en rellenos de sustitución estabilizados mecánicamente.

Mientras se tomen en cuenta los resultados obtenidos y recomendaciones generales, se considera que, desde la perspectiva geotécnica, se pueden controlar las condiciones del terreno para el desarrollo de obras.

### 5.2 Observaciones y recomendaciones generales

Para el presente estudio se realizó un reconocimiento del terreno en conjunto con el Ing. Kenneth Ugalde, representante de la Dirección General de Aviación Civil, quien estableció los puntos de ubicación de las pruebas solicitadas.

En términos generales, se observa que el terreno presenta un horizonte superior de suelos limoso arenosos de consistencia muy blanda que sobreyacen un depósito aluvial conteniendo clastos de tamaño variable con una distribución aleatoria no estratificada.

En el apartado 4 de este informe se presenta las características físicas y mecánicas de los suelos encontrados en los sitios de las perforaciones. En este apartado se presenta la clasificación de los suelos, los valores de humedad natural, recuperación y datos de  $N_{spt}$ , entre otras características. La clasificación de los suelos se realizó mediante el procedimiento de ASTM D 2487 y ASTM D 2488.

En el apartado 5, se presentan las capacidades soportantes del terreno según la profundidad, éstas consideran un factor de seguridad igual a 3,0.

Los resultados y otras observaciones contenidas en este informe se presentan utilizando como referencia los niveles del terreno en los sitios donde se realizaron las perforaciones, por lo que se recomienda tomar las previsiones del caso para que la interpretación de la información y las decisiones de diseño revisen este particular.



### 5.2.1 Análisis de cimentación

Al momento de realizar el presente informe no se cuenta con detalles específicos de las características de las obras que se van a construir en el sitio. Según la información proporcionada vía correo electrónico por el Ing. Kenneth Ugalde *“a la fecha no se cuenta con una planta de diseño, sin embargo, un posible proyecto sería conector, plataforma y hangar, además de una área aproximada de 200 m<sup>2</sup> de construcción de una edificación”*.

Las obras incluirían un *“paquete estructural de unos 60 cm o 70 cm conformado por materiales tales como sub-base, base, base estabilizada y losa de concreto y, en caso de ser requerido según el resultado del estudio de suelo, un material granular de piso, esto para el conector, plataforma y losa de hangar”*.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se presentan las siguientes observaciones recomendaciones preliminares como referencia inicial en la conceptualización de los requisitos del sistema de fundaciones.

- **Estructura de hangar**

Para esta estructura se recomienda un nivel de desplante de fundaciones mínimo de 1,5 m y apoyar las placas sobre un relleno de sustitución de un espesor de unos 0,50 m, es decir, alcanzando una profundidad total de unos 2,0 m. El relleno indicado debe cubrir la huella de la placa más un sobrecancho perimetral mínimo de 0,25 m y puede ser construido con concreto de una resistencia mínima de 3,5 MPa.

Sobre el relleno indicado se puede considerar una capacidad soportante admisible de 10 ton/m<sup>2</sup> con un factor de seguridad igual a 3,0.

Debe tenerse en cuenta que en la zona de la perforación P-4 se ha identificado que para alcanzar la capa de 10 ton/m<sup>2</sup>, el espesor de relleno debe aumentarse a 1,0 m.

Se recomienda inspeccionar las condiciones de los suelos en los fondos de excavaciones de cimientos, donde se espera encontrar la transición con el depósito de aluviones típico de la zona. En el caso de se mantengan capas de suelos limosos, se recomienda verificar la capacidad soportante mediante pruebas *in situ* con penetrómetro dinámico para identificar la eventual necesidad de ajustes en las dimensiones de la sustitución.

En el caso de que durante la etapa constructiva se encuentren depósitos de aluviones en el fondo de las excavaciones de cimientos, éstos pueden extraerse y remplazar con el material de relleno de sustitución.

Se recomienda revisar la necesidad de integrar las fundaciones con una viga de amarre perimetral y arriostrada en las esquinas.

- **Edificaciones de uno o dos niveles**

Para edificaciones de magnitud baja, se puede transmitir las presiones estructurales mediante una cimentación tipo losa apoyada sobre un mejoramiento del terreno que consista en un relleno de sustitución estabilizado mecánicamente en su fundación.

En este caso, se recomienda construir un relleno de sustitución de un espesor de unos 0,75 m utilizando un material granular selecto tipo subbase de acuerdo con las especificaciones del Manual CR-2010 o su versión vigente, el cual se debe compactar a una densidad mínima del 95% de acuerdo con el ensayo Proctor Modificado.

Se recomienda colocar un geotextil no tejido de separación en el fondo de la excavación para la sustitución.

Para la estabilización mecánica, la cual busca dar confinamiento al relleno estructural y aumentar su módulo de rigidez, se recomienda colocar una geomalla de alto módulo a una elevación de +0,15 m y otra a una elevación de +0,45 m respecto al nivel inferior del relleno.

Para la geomalla inferior se recomienda un traslape mínimo de 0,90 m y para la geomalla superior un traslape mínimo de 0,45 m. Se recomienda el uso de geomallas triaxiales dado que ofrecen mayor interacción con el agregado y, por lo tanto, mayor trabazón y confinamiento.

El relleno de sustitución debe cubrir la huella de la losa de fundación más un sobrancho perimetral mínimo de 0,60 m.

Sobre el relleno de sustitución se puede apoyar la losa de fundación considerando una capacidad soportante admisible de 2 ton/m<sup>2</sup> con un factor de seguridad igual a 3,0.

Se recomienda que la losa sea diseñada para que transmita las presiones con una distribución uniforme, lo cual podría requerir ajustes geométricos para el control de excentricidades.

En el caso de que las presiones estructurales excedan el valor permisible, se puede utilizar un concepto de cimentación equivalente al planteado para la estructura de hangar, con cimentaciones corridas apoyadas sobre un relleno de sustitución que transmita las presiones a los suelos que se encuentran a partir de una profundidad de 2 m. Las condiciones deben ser revisadas para el caso específico.

- **Rellenos estructurales**

Para rellenos de estructuras de pavimentos se recomienda caracterizar el material de subrasante mediante pruebas que permitan evaluar su CBR.

Se recomienda cimentar los rellenos estructurales sobre un relleno de sustitución de material tipo préstamos de acuerdo con las especificaciones del Manual CR2010 o su versión más reciente que remplace todos los suelos blandos que se encuentran hasta una profundidad de aproximadamente 1,5 m. El material debe compactarse a una densidad mínima del 95% de acuerdo con el ensayo Proctor modificado.

Los rellenos estructurales de pavimentos, plataformas de trabajo o rellenos de conformación de terraza, se recomienda estabilizarlos mecánicamente mediante el uso de geomallas que ofrezcan un confinamiento al material granular selecto, de modo que se eviten corrimientos que generen el deterioro de los módulos de las capas de agregado compactado.

La estabilización de la fundación de rellenos puede realizarse mediante la colocación de un manto de geomalla a una elevación de +0,15 m respecto al nivel inferior del relleno. Se recomienda el uso de geomallas triaxiales de alto módulo con un traslape mínimo de 0,90 m.

En el nivel inferior del relleno, se recomienda colocar un geotextil no tejido de separación.

### **5.2.2 Otras recomendaciones u observaciones complementarias**

Se recomienda definir el nivel de terraza proyectado tomando en cuenta las condiciones hidrológicas de la zona.

Se recomienda que al momento de realizar los trabajos constructivos, se inspeccione con detalle las condiciones del terreno en el nivel de excavación de la sustitución. Las inspecciones deben estar dirigidas a identificar la eventual necesidad de realizar sustituciones localizadas para remplazo de capas de suelos blandos.

Se recomienda realizar pruebas *in situ* con penetrómetro dinámico de cono en el fondo de excavación de cimientos con el fin de identificar la zona donde se requieren mejoramientos de suelos localizados debido a la existencia de suelos blandos.

Es de suma importancia que se realicen las verificaciones complementarias y los ajustes del caso mencionados en apartados anteriores para evitar que se presenten asentamientos diferenciales.

Los trabajos de movimientos de tierra, preparación del terreno y construcción de rellenos se recomienda realizarlos durante la temporada seca, la ejecución de estas tareas durante la temporada lluviosa puede requerir de procedimientos más rigurosos.



Se debe canalizar y orientar adecuadamente todas las aguas superficiales mediante un sistema de drenaje diseñado de acuerdo con el patrón de escorrentía y su relación con las obras de proyecto.

Toda edificación debe contar con canoas y bajantes cuyas descargas deben estar integradas al sistema de manejo de aguas pluviales.

Dependiendo de la ubicación de la zona de desarrollo de obras, puede ser conveniente revisar las características hidrológicas e hidráulicas de la quebrada que atraviesa en la zona tributaria al lindero Oeste de la finca.

Al momento de ejecutar excavaciones y movimientos de tierras, pueden encontrarse depósitos de aluviones superficiales a profundidades menores a la mínima recomendada, en este eventual caso, se recomienda su remoción y sustitución con los materiales selectos recomendados.

### **5.3 Recomendaciones para contrapisos**

La losa de fundación recomendada trabaja como losa de contrapiso.

Se recomienda valorar la necesidad de barreras de vapor en losas de contrapiso.

### **5.4 Recomendaciones para rellenos**

Los trabajos de movimientos de tierra, preparación del terreno y construcción de rellenos se recomienda realizarlos durante la temporada seca, la ejecución de estas tareas durante la temporada lluviosa puede requerir de procedimientos más rigurosos.

Todo relleno se debe construir sobre una superficie adecuadamente preparada en la que se haya removido todo espesor de suelo meteorizado o con contenido vegetal.

Los rellenos de sustitución se ha recomendado construirlos con un material granular selecto de calidad igual o superior a un material tipo préstamo de acuerdo con las especificaciones del CR2010 o su versión más reciente.

No se recomienda el uso del suelo del sitio para la conformación de rellenos estructurales de apoyo de fundaciones.

Para la verificación de compactación de rellenos mediante densimetría nuclear, se debe contar con información previa de la relación humedad-densidad del material utilizado como relleno.

Se ha recomendado estabilizar mecánicamente los rellenos mediante el uso de geomallas de alto módulo que restrinjan desplazamientos laterales del agregado, ofreciendo confinamiento y una mejora en la rigidez de la capa.

Las geomallas deben colocarse de acuerdo con las recomendaciones del fabricante; de manera preliminar, considerando que se presume que el material de subrasante presenta un bajo CBR, se recomienda un traslape del orden de 0,90 m.

En el caso de rellenos para apoyo de fundaciones, en la etapa de diseño de la fundación y dimensionamiento de rellenos, se debe garantizar que las presiones totales no excedan la capacidad soportante del soportante admisible en el nivel inferior del relleno, para lo cual se deben seguir las consideraciones del apartado 4.3 del Código de Cimentaciones de Costa Rica.

## 5.5 Taludes

El terreno no presenta taludes que representen una amenaza de deslizamientos en la propiedad.

Los taludes de rellenos superficiales se pueden conformar con una pendiente de una relación 2H:1V.

## 5.6 Recomendaciones para estructuras de retención

En el caso de que se deban revisar casos de muros, debe tenerse en cuenta que toda estructura de retención debe cumplir con los requisitos de estabilidad señalados en las consideraciones de diseño del apartado 6.3 del Código de Cimentaciones de Costa Rica.

Se recomienda que muros se cimienten a profundidades mínimas de 1,5 m respecto al nivel actual del terreno.

## 5.7 Parámetros de interés

En el anexo A2 de este informe se presentan tabulados los diferentes parámetros medidos para las muestras extraídas en las perforaciones.

En términos de estimación de coeficientes de empuje, de manera conservadora, para la capa superior de suelos limosas blandos se recomienda utilizar los siguientes coeficientes:

- Coeficiente de presión pasiva: 1,40– 1,55
- Coeficiente de presión activa: 0,65 – 0,70
- Peso unitario húmedo: (17,5 – 18,5) kN/m<sup>3</sup>

Para fines de diseño no se recomienda utilizar valores de pesos unitarios secos.

### **Coeficiente de balasto**

El coeficiente de reacción vertical no es un parámetro intrínsecamente geotécnico sino que depende de otras variables, como la direccionalidad de la resultante de cargas y las características de la superficie cargada, entre otras. Para su determinación se requiere la ejecución de pruebas de placa rígida; sin embargo, de manera preliminar, en el caso de la solución tipo losa, para el relleno de sustitución se recomienda considerar un valor no mayor a  $4 \text{ kg/cm}^3$ .

Para el suelo del sitio se recomienda considerar un valor de coeficiente de reacción vertical no mayor a  $1,3 \text{ kg/cm}^3$ .

## **5.8 Tipo de suelo para diseño estructural**

Para el diseño estructural, se puede considerar un tipo de suelo S3.

## **5.9 Expansividad de suelos**

No se han encontrado suelos arcillosos de alta plasticidad que sean susceptibles a experimentar variaciones volumétricas significativas con los cambios de humedad.

## **5.10 Asentamientos**

Los suelos blandos que conforman el horizonte superficial del terreno se consideran vulnerables a deformaciones y no aptos para el apoyo de fundaciones de manera directa.

Para realizar una estimación de asentamientos, se requiere determinar las características de compresibilidad de los suelos mediante ensayos especiales de acuerdo con ASTM D2435 y considerar en el análisis las presiones de sobrecarga de interés.

De manera preliminar, se considera que mientras no se sobrepasen las capacidades soportantes admisibles señaladas en el apartado 5 de este informe y se sigan las recomendaciones planteadas, no es de esperar asentamientos que afecten la funcionalidad estructural de las obras.

## **5.11 Potencial de licuefacción**

El fenómeno de licuefacción se experimenta en determinados ambientes geológicos e hidrogeológicos en los que se encuentren arenas limpias o limos arenosos no plásticos de compacidad suelta y bajo una condición de nivel freático somero. En este sitio no existe amenaza de licuefacción.

## 6. DISCUSIÓN DE LOS GRADOS DE INCERTIDUMBRE Y ALCANCE DEL ESTUDIO

Los resultados de los ensayos de las perforaciones son puntuales y pueden variar ligeramente en cualquier otro punto. Si al momento de realizar excavaciones se encuentran materiales distintos a los reportados en este estudio se recomienda realizar pruebas adicionales para determinar sus características.

En cuanto al nivel freático, hay que resaltar que no es un dato constante en el tiempo sino que depende de la estación en que se realice su medición.

Se aclara que la viabilidad geotécnica en virtud de cualquier obra a desarrollar no depende de las condiciones del terreno sino de cómo el diseño de las obras se ajusta a éstas. Mientras el concepto de diseño para las diferentes obras del proyecto tome en cuenta las recomendaciones presentadas en el informe y tomen en cuenta las condiciones geotécnicas del terreno identificadas en los resultados obtenidos, se considera que se pueden controlar las condiciones del terreno de manera que sea posible tener una **viabilidad geotécnica** en términos de la relación suelo-estructura.

Los valores de incertidumbre de las mediciones en las que aplica su determinación se encuentran disponibles y pueden ser consultadas mediante una solicitud.

## 7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Testing Material, 2005, Annual Book of ASTM Standard. West Conshokoken, PA, Vol. 04,08
- Asociación costarricense de Geotecnia, 2009, Código de Cimentaciones. Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica, Vol. 1
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, 2009, Código Sísmico de Costa Rica 2002. Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica, Vol. 1.
- Denyer, P. & Alvarado, G.E. (2007). Mapa geológico de Costa Rica, a escala 1: 400 000. San José, Librería Francesa.
- Alvarado, G.E., Sigarán, C. & Pérez, W. (2000). Vulcanismo: sus productos y geoformas. En P. Denyer & S. Kussmaul (Eds.). Geología de Costa Rica (pp. 133-154). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Montero, W. (2001). Neotectónica de la Región Central de Costa Rica: Frontera oeste de la Microplaca de Panamá. *Revista Geológica de América Central*, 24, 29-56.

## ANEXOS

# A1. ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN SUCS

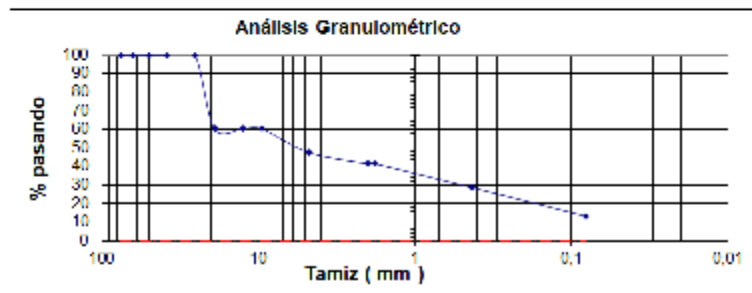
## Grad-1 / LA-1

Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Grava lineal de color café con arena (GM)

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75,0 mm	0	0	100
63,0 mm	0	0	100
50,0 mm	0	0	100
38,1 mm	0	0	100
25,4 mm	0	0	100
19,0 mm	40	40	60
12,5 mm	0	40	60
9,5 mm	0	40	60
4,75 mm	13	52	48
2,0 mm	6	58	42
1,0 mm	0	58	42
425 µm	13	71	29
75 µm	15	87	13,3
Charola	0,0		



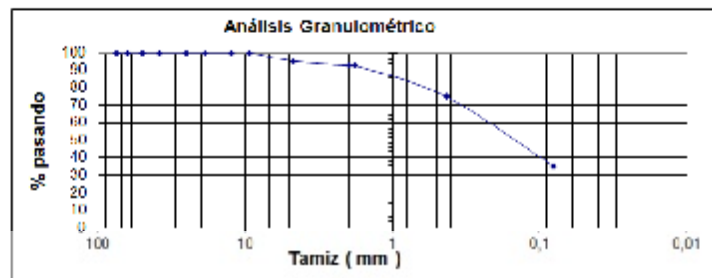
Gravas = 62,3 %  
Arenas = 34,4 %  
Finos = 13,3 %

## Grad-2 / LA-2

### Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro con rastro de grava (SM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75.0 mm	0	0	100
63.0 mm	0	0	100
50.0 mm	0	0	100
30.1 mm	0	0	100
25.4 mm	0	0	100
19.0 mm	0	0	100
12.5 mm	0	0	100
9.5 mm	0	0	100
4.75 mm	5	5	95
2.0 mm	3	7	93
1.0 mm	0	7	93
425 µm	10	25	75
75 µm	40	15	35.1
Charola	0,0		



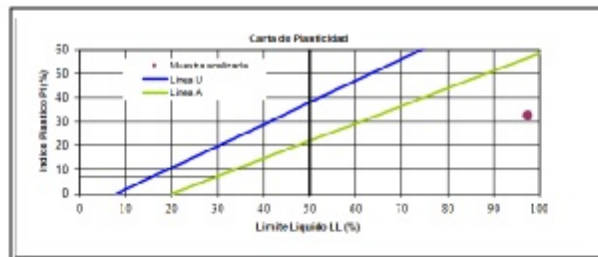
Gravas = 4,9 %  
Arenas = 60,1 %  
Finos = 35,1 %

### Resultados de ensayo para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo

Preparación de la muestra: Método húmedo

Método: A

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro con rastro de grava (SM).



Límite de Atterberg	
Límite líquido	97
Límite plástico	65
Índice plástico	32

% Retenido en malla No. 40	
	25

NP: No plástico  
NA: No aplica

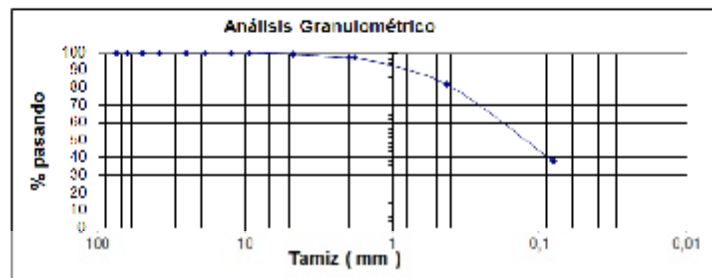


## Grad-3 / LA-3

### Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro (SM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75.0 mm	0	0	100
63.0 mm	0	0	100
50.0 mm	0	0	100
30.1 mm	0	0	100
25.4 mm	0	0	100
19.0 mm	0	0	100
12.5 mm	0	0	100
9.5 mm	0	0	100
4.75 mm	1	1	99
2.0 mm	2	3	97
1.0 mm	0	3	97
425 µm	15	10	92
75 µm	44	12	88.0
Charola	0,0		



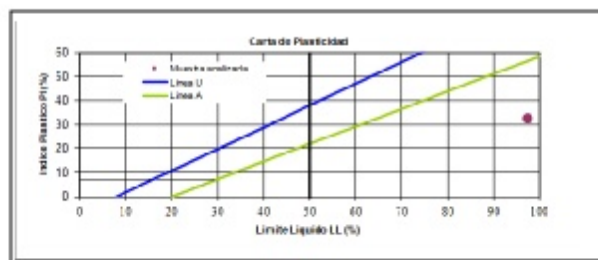
Gravas = 0,9 %  
Arenas = 61,1 %  
Finos = 38,0 %

### Resultados de ensayo para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo

Preparación de la muestra: Método húmedo

Método: A

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro (SM)



Límite de Atterberg	
Límite líquido	97
Límite plástico	65
Índice plástico	32

% Retenido en malla No. 40	
	18

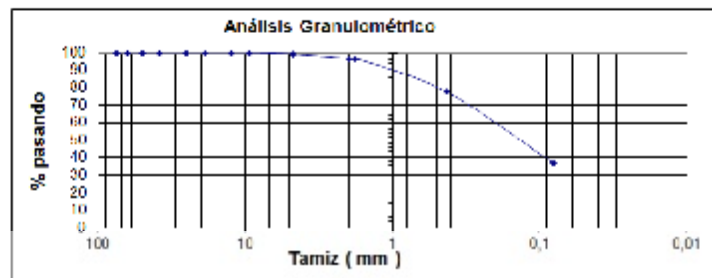
NP: No plástico  
NA: No aplica

## Grad-4 / LA-4

### Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café (SM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75.0 mm	0	0	100
63.0 mm	0	0	100
50.0 mm	0	0	100
30.1 mm	0	0	100
25.4 mm	0	0	100
19.0 mm	0	0	100
12.5 mm	0	0	100
9.5 mm	0	0	100
4.75 mm	1	1	99
2.0 mm	2	3	97
1.0 mm	0	3	97
475 µm	19	22	73
75 µm	41	100	36.6
Charola	0,0		



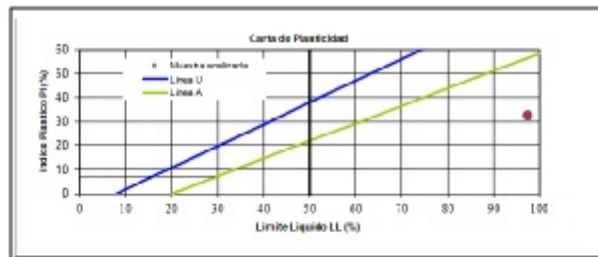
Gravas = 0,8 %  
Arenas = 62,6 %  
Finos = 36,6 %

### Resultados de ensayo para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo

Preparación de la muestra: Método húmedo

Método: A

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café (SM).



Límite de Atterberg	
Límite líquido	97
Límite plástico	65
Índice plástico	32

% Retenido en malla No. 40	
	22

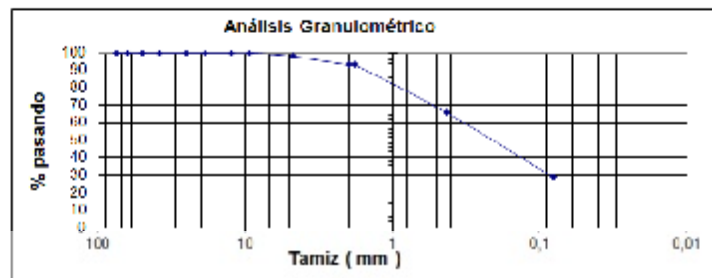
NP: No plástico  
NA: No aplica

## Grad-5 / LA-5

### Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro (SM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75.0 mm	0	0	100
63.0 mm	0	0	100
50.0 mm	0	0	100
30.1 mm	0	0	100
25.4 mm	0	0	100
19.0 mm	0	0	100
12.5 mm	0	0	100
9.5 mm	0	0	100
4.75 mm	2	2	98
2.0 mm	5	7	93
1.0 mm	0	7	93
475 µm	27	34	66
75 µm	17	41	59
Charola	0,0		



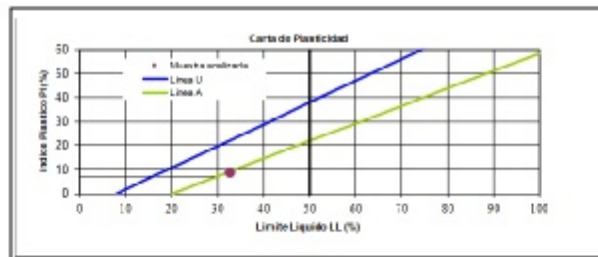
Gravas = 2,1 %  
Arenas = 69,0 %  
Finos = 28,9 %

### Resultados de ensayo para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo

Preparación de la muestra: Método húmedo

Método: A

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro (SM).



Límite de Atterberg	
Límite líquido	33
Límite plástico	24
Índice plástico	9

% Retenido en malla No. 40	
	34

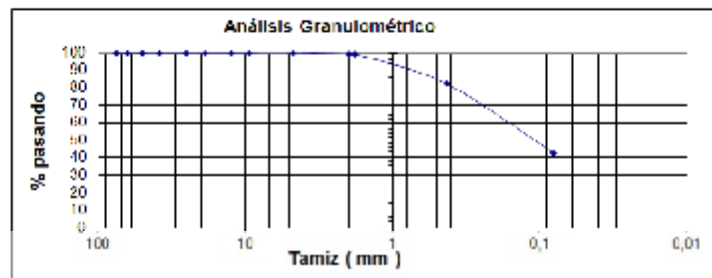
NP: No plástico  
NA: No aplica

## Grad-6 / LA-6

### Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro con raíces (SM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75.0 mm	0	0	100
63.0 mm	0	0	100
50.0 mm	0	0	100
30.1 mm	0	0	100
25.4 mm	0	0	100
19.0 mm	0	0	100
12.5 mm	0	0	100
9.5 mm	0	0	100
4.75 mm	0	0	100
2.0 mm	1	1	99
1.0 mm	0	1	99
425 µm	17	10	82
75 µm	18	17	42.9
Charola	0,0		



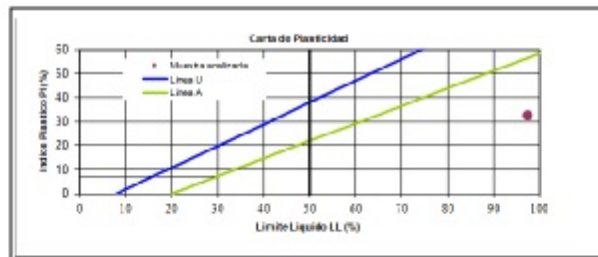
Gravas = 0,0 %  
Arenas = 67,1 %  
Finos = 42,9 %

### Resultados de ensayo para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo

Preparación de la muestra: Método húmedo

Método: A

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro con raíces (SM).



Límite de Atterberg	
Límite líquido	97
Límite plástico	65
Índice plástico	32

% Retenido en malla No. 40	
	18

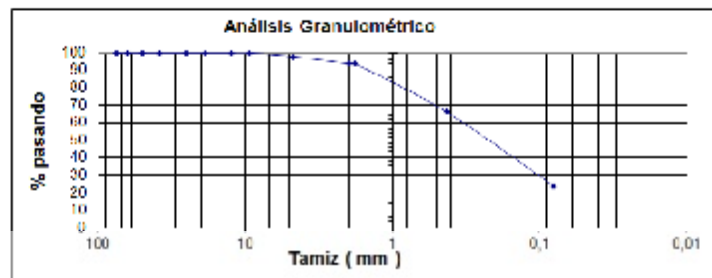
NP: No plástico  
NA: No aplica

## Grad-7 / LA-7

### Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro (SM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75.0 mm	0	0	100
63.0 mm	0	0	100
50.0 mm	0	0	100
30.1 mm	0	0	100
25.4 mm	0	0	100
19.0 mm	0	0	100
12.5 mm	0	0	100
9.5 mm	0	0	100
4.75 mm	2	2	98
2.0 mm	4	6	94
1.0 mm	0	6	94
425 µm	27	31	69
75 µm	42	73	24.1
Charola	0,0		



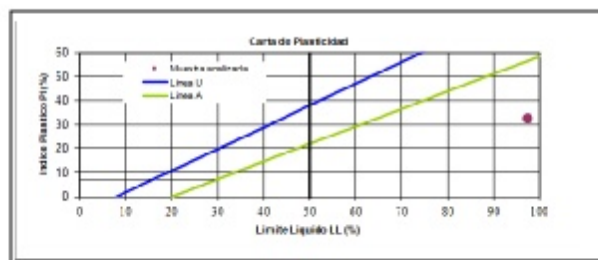
Gravas = 2,2 %  
Arenas = 73,7 %  
Finos = 24,1 %

### Resultados de ensayo para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo

Preparación de la muestra: Método húmedo

Método: A

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro (SM).



Límite de Atterberg	
Límite líquido	97
Límite plástico	65
Índice plástico	32

% Retenido en malla No. 40	
	34

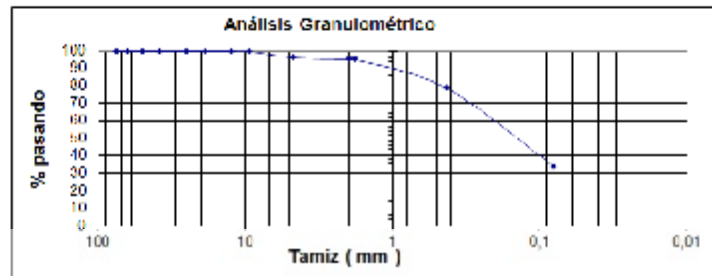
NP: No plástico  
NA: No aplica

## Grad-8 / LA-8

### Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café (SM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75.0 mm	0	0	100
63.0 mm	0	0	100
50.0 mm	0	0	100
30.1 mm	0	0	100
25.4 mm	0	0	100
19.0 mm	0	0	100
12.5 mm	0	0	100
9.5 mm	0	0	100
4.75 mm	4	4	96
2.0 mm	1	5	95
1.0 mm	0	5	95
475 µm	18	21	79
75 µm	45	45	34.2
Charola	0,0		



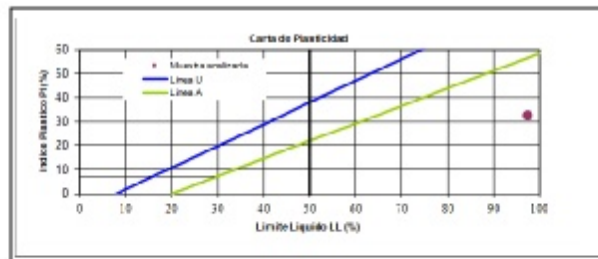
Gravas = 3,7 %  
Arenas = 62,0 %  
Finos = 34,2 %

### Resultados de ensayo para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo

Preparación de la muestra: Método húmedo

Método: A

Descripción del material( objeto de ensayo ): Arena limosa de color café (SM).



Límite de Atterberg	
Límite líquido	97
Límite plástico	65
Índice plástico	32

% Retenido en malla No. 40	
	21

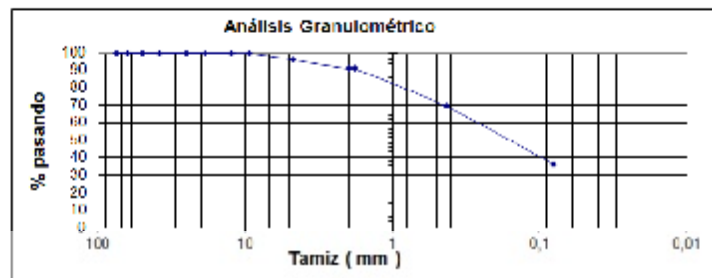
NP: No plástico  
NA: No aplica

## Grad-9 / LA-9

### Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro (SM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75.0 mm	0	0	100
63.0 mm	0	0	100
50.0 mm	0	0	100
30.1 mm	0	0	100
25.4 mm	0	0	100
19.0 mm	0	0	100
12.5 mm	0	0	100
9.5 mm	0	0	100
4.75 mm	4	4	96
2.0 mm	5	9	91
1.0 mm	0	9	91
475 µm	22	21	69
75 µm	13	14	86.4
Charola	0,0		



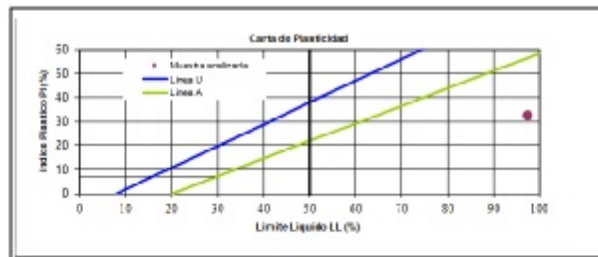
Gravas = 3,8 %  
Arenas = 69,8 %  
Finos = 36,4 %

### Resultados de ensayo para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo

Preparación de la muestra: Método húmedo

Método: A

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro (SM).



Límite de Atterberg	
Límite líquido	97
Límite plástico	65
Índice plástico	32

% Retenido en malla No. 40	
	31

NP: No plástico  
NA: No aplica

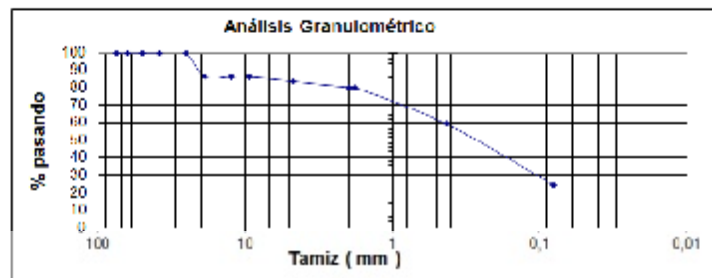


## Grad-10 / LA-10

### Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café con raíces y grava (SM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75.0 mm	0	0	100
63.0 mm	0	0	100
50.0 mm	0	0	100
30.1 mm	0	0	100
25.4 mm	0	0	100
19.0 mm	14	14	86
12.5 mm	0	14	86
9.5 mm	0	14	86
4.75 mm	3	16	84
2.0 mm	4	20	80
1.0 mm	0	20	80
425 µm	21	41	59
75 µm	15	26	74
Charola	0,0		



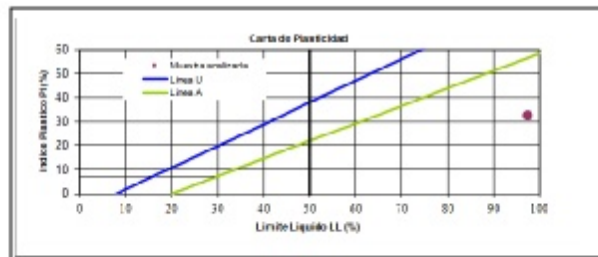
Gravas = 16,4 %  
Arenas = 69,2 %  
Finos = 24,4 %

### Resultados de ensayo para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo

Preparación de la muestra: Método húmedo

Método: A

Descripción del material( objeto de ensayo ): Arena limosa de color café con raíces y grava (SM).



Límite de Atterberg	
Límite líquido	97
Límite plástico	65
Índice plástico	32

% Retenido en malla No. 40	
	41

NP: No plástico  
NA: No aplica

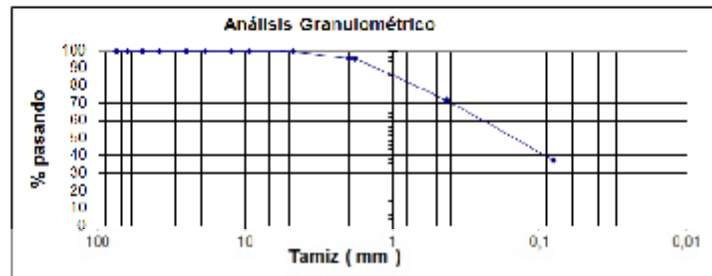


## Grad-11 / LA-11

### Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro con raíces (SM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75.0 mm	0	0	100
63.0 mm	0	0	100
50.0 mm	0	0	100
30.1 mm	0	0	100
25.4 mm	0	0	100
19.0 mm	0	0	100
12.5 mm	0	0	100
9.5 mm	0	0	100
4.75 mm	0	0	100
2.0 mm	4	5	95
1.0 mm	0	5	95
475 µm	24	29	72
75 µm	14	14	86
Charola	0,0		



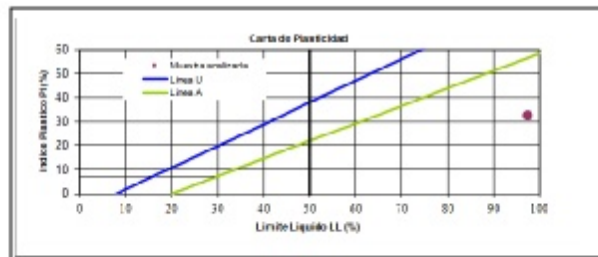
Gravas = 0,4 %  
Arenas = 62,1 %  
Finos = 37,5 %

### Resultados de ensayo para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo

Preparación de la muestra: Método húmedo

Método: A

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro con raíces (SM).



Límite de Atterberg	
Límite líquido	97
Límite plástico	65
Índice plástico	32

% Retenido en malla No. 40	
	28

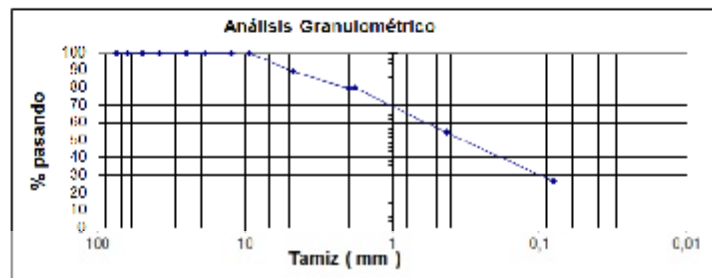
NP: No plástico  
NA: No aplica

## Grad-12 / LA-12

### Resultados de ensayo para el análisis granulométrico mediante tamiz

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro (SM).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO			
Tamiz	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasando
75.0 mm	0	0	100
63.0 mm	0	0	100
50.0 mm	0	0	100
30.1 mm	0	0	100
25.4 mm	0	0	100
19.0 mm	0	0	100
12.5 mm	0	0	100
9.5 mm	0	0	100
4.75 mm	10	10	90
2.0 mm	10	20	80
1.0 mm	0	20	80
475 µm	26	46	54
75 µm	28	44	26.4
Charola	0,0		



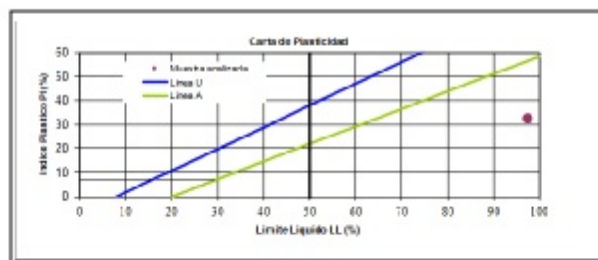
Gravas = 10,5 %  
Arenas = 63,1 %  
Finos = 26,4 %

### Resultados de ensayo para límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelo

Preparación de la muestra: Método húmedo

Método: A

Descripción del material (objeto de ensayo): Arena limosa de color café oscuro (SM).



Límite de Atterberg	
Límite líquido	97
Límite plástico	65
Índice plástico	32

% Retenido en malla No. 40	
	46

NP: No plástico  
NA: No aplica

## A2. DATOS SOLICITADOS

Tabla. Resumen de datos solicitados. Perforación P-1.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{0,34}$	Ø efectivo (°)
0,00 – 0,60	7	GM	--	--	--	52	35	13	89,1	--	36	24
0,60 – 1,20	49		--	--	--	52	35	13	56,4	--	51	34
1,20 – 5,00	Rotación	Aluvión	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla. Resumen de datos solicitados. Perforación P-2.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{0,34}$	Ø efectivo (°)
0,00 – 0,60	4	--	--	--	--	--	--	--	68,8	--	--	--
0,60 – 1,20	10	SM	--	97	65	5	60	35	39,7	--	46	30
1,20 – 1,80	18		--	97	65	5	60	35	44,8	--	39	26
1,80 – 5,00	Rotación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla. Resumen de datos solicitados. Perforación P-3.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{0,34}$	Ø efectivo (°)
0,00 – 0,60	2	ML	--	--	--	--	--	--	91,9	--	--	--
0,60 – 1,20	10	SM	--	97	65	1	61	38	62,2	--	44	30
1,20 – 5,00	Rotación	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla. Resumen de datos solicitados. Perforación P-4.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{0,34}$	Ø efectivo (°)
0,00 – 0,60	3	--	1,548	--	--	--	--	--	58,1	0,41	--	--
0,60 – 1,20	2	SM	1,824	97	65	1	62	37	36,3	0,16	23	15
1,20 – 1,80	6		--	33	24	2	69	29	24,6	--	30	20
1,80 – 2,40	6		--	33	24	2	69	29	31,6	--	28	19
2,40 – 3,00	24		--	33	24	2	69	29	17,5	--	40	27

**Tabla.** Resumen de datos solicitados. Perforación P-5-1.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{0.34}$	$\phi'$ efectivo (°)
0,00 – 0,60	4	SM	--	97	65	--	57	43	88,9	--	31	20
0,60 – 1,20	43		--	97	65	--	57	43	60,0	--	50	33

**Tabla.** Resumen de datos solicitados. Perforación P-5-2.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{0.34}$	$\phi'$ efectivo (°)
0,00 – 0,60	3	ML	--	--	--	--	--	--	70,4	--	--	--
0,60 – 1,20	13	SM	--	97	65	2	74	24	60,6	--	38	25
1,20 – 1,80	29		--	97	65	2	74	24	26,9	--	44	29

**Tabla.** Resumen de datos solicitados. Perforación P-6.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{0.34}$	$\phi'$ efectivo (°)
0,00 – 0,60	4	ML	--	--	--	--	--	--	89,3	--	--	--

**Tabla.** Resumen de datos solicitados. Perforación P-7.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{0.34}$	$\phi'$ efectivo (°)
0,00 – 0,60	3	--	--	--	--	--	--	--	64,2	--	--	--
0,60 – 1,20	4	SM	1,753	97	65	4	62	34	40,0	0,35	--	--
1,20 – 1,80	17		1,972	97	65	4	62	34	36,9	0,25	--	--

**Tabla.** Resumen de datos solicitados. Perforación P-8.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{1,34}$	$\phi'$ efectivo (°)
0,00 – 0,60	2	SM	--	97	65	4	60	36	69,6	--	25	17
0,60 – 1,20	2		1,462	97	65	4	60	36	60,7	0,28	23	15
1,20 – 1,80	34		--	97	65	4	60	36	60,6	--	46	30

**Tabla.** Resumen de datos solicitados. Perforación P-9.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{1,34}$	$\phi'$ efectivo (°)
0,00 – 0,60	3	SM	1,433	97	65	17	59	24	72,8	0,37	29	19
0,60 – 1,20	2		--	97	65	17	59	24	75,3	--	23	15
1,20 – 1,80	37		1,774	97	65	17	59	24	38,8	0,49	47	31

**Tabla.** Resumen de datos solicitados. Perforación P-10.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{1,34}$	$\phi'$ efectivo (°)
0,00 – 0,60	3	SM	--	97	65	--	62	38	74,4	--	28	19
0,60 – 1,20	2		--	97	65	--	62	38	58,2	--	23	15
1,20 – 1,80	25		--	97	65	--	62	38	72,7	--	43	28

**Tabla.** Resumen de datos solicitados. Perforación P-11.

Profundidad (m)	Nspt	SUCS	Peso unitario (ton/m <sup>3</sup> )	LL (%)	LP (%)	% gravas	% arenas	% finos	Humedad natural (%)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\phi' = \tan^{-1} \left[ \frac{N_{60}}{325} \right]^{1,34}$	$\phi'$ efectivo (°)
0,00 – 0,60	4	SM	--	97	65	11	63	26	92,7	--	31	20
0,60 – 1,20	22		--	97	65	11	63	26	45,0	--	43	29
1,20 – 1,80	61		--	97	65	11	63	26	12,4	--	51	34

Donde:

Nspt: Número de golpes medidos en campo

SUCS: Clasificación de suelos según Sistema Unificado

LL: Límite líquido / LP: Límite Plástico

Cu: resistencia no drenada.

Para la estimación del ángulo de fricción, se utiliza la siguiente correlación y se aplica un factor de corrección de un valor de 2/3 según criterio del ingeniero especialista.

$$\text{Schmertmann [16]} \quad 1970 \quad \phi' = \tan^{-1} \left[ \left( \frac{N_{100}}{32,5} \right)^{0,24} \right]$$

# Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 Section Report

FAARFIELD 2.0.18 (Build 05/26/2022)

**Job Name: Aerodromo de Guapiles**

**Section: Propuesta 3**

Analysis Type: New Rigid

Last Run: Thickness Design 2023-03-04 13:13:57

Design Life = 20 Years

Total thickness to the top of the subgrade = 306mm

## Pavement Structure Information by Layer

No.	Type	Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Strength R (MPa)
1	P-501 PCC Surface	153	27,579.04	0.15	4.48
2	P-209 Crushed Aggregate	152	74.60	0.35	0
3	Subgrade	0	19.57	0.4	0

## Airplane Information

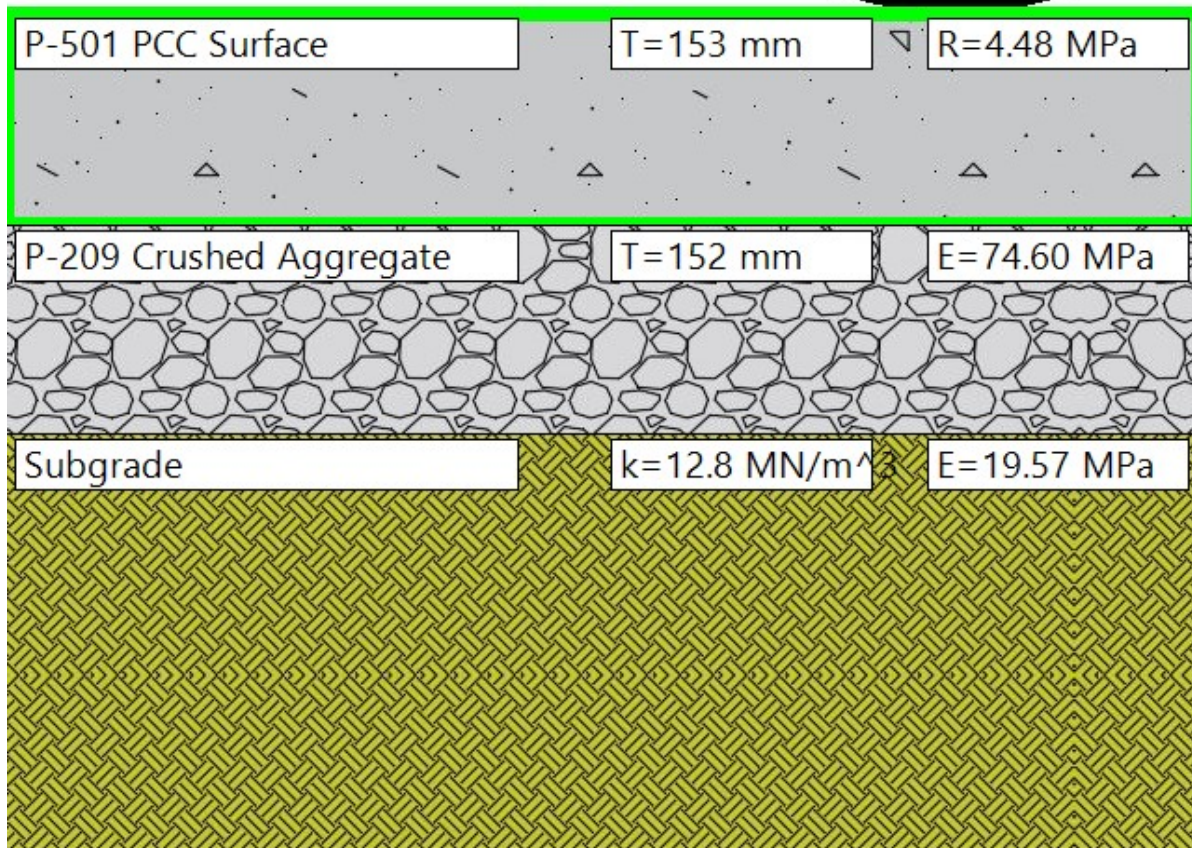
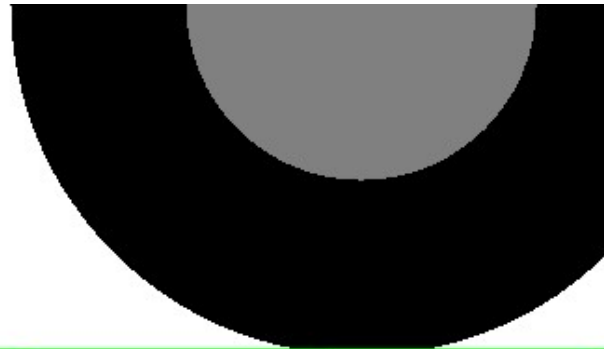
No.	Name	Gross Wt. (kg)	Annual Departures	% Annual Growth
1	Beechcraft King Air C90	5,200	100	5
2	Cessna 206 Stationair	1,638	100	5
3	Cessna 172 Skyhawk	1,160	100	5
4	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1,134	100	5
5	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	2,073	100	5
6	Cessna 208B Grand Caravan EX	3,969	100	5
7	PA-32-300 Cherokee Six	1,542	100	5
8	ARFF Vehicle - 3000 gal-	37,648	100	5



### Additional Airplane Information

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	Beechcraft King Air C90	0.00	0.00	9.62
2	Cessna 206 Stationair	0.00	0.00	14.91
3	Cessna 172 Skyhawk	0.00	0.00	17.45
4	PA-28R-200 Cherokee Arrow	0.00	0.00	17.65
5	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	0.00	0.00	13.72
6	Cessna 208B Grand Caravan EX	0.00	0.00	11.54
7	PA-32-300 Cherokee Six	0.00	0.00	15.16
8	ARFF Vehicle - 3000 gal-	1.00	1.00	3.32

*User Is responsible For checking frost protection requirements.*



# Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 PCR Report

FAARFIELD 2.0.18 (Build 05/26/2022)

**Job Name: Aerodromo de Guapiles**

**Section: Propuesta 3**

This file name = PCR Results for New Rigid 2023-03-04 13:20:11

Evaluation pavement type is rigid and design program is FAARFIELD.

Section name: Propuesta 3 in job file: Aerodromo de Guapiles.JOB.xml

Units = Metric

Analysis Type: New Rigid

Subgrade Modulus =19.57MPa (Subgrade Category is D)

Evaluation Pavement Thickness = 306 mm

Pass to Traffic Cycle (PtoTC) Ratio = 1.00

Maximum number of wheels per gear = 3

CDF = 1.000

**Results Table 1. Input Traffic Data**

No.	Aircraft Name	Gross Weight (kg)	Percent Gross Weight	Tire Pressure (MPa)	Annual Departure	20 Years Coverage
1	Beechcraft King Air C90	5,200	95.00	472.13	100	339
2	Cessna 206 Stationair	1,638	95.00	358.53	100	201
3	Cessna 172 Skyhawk	1,160	95.00	344.74	100	172
4	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1,134	95.00	344.74	100	170
5	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	2,073	95.00	379.21	100	219
6	Cessna 208B Grand Caravan EX	3,969	95.00	517.11	100	260
7	PA-32-300 Cherokee Six	1,542	95.00	344.74	100	198
8	ARFF Vehicle - 3000 gal-	37,648	100.00	586.05	100	903

**Results Table 2. PCR Value**

No.	Aircraft Name	Critical aircraft Total equiv. departures	Max allowable Gross Weight of critical aircraft (kg)	ACR Thick at max. MGW (mm)	PCR/R/D
1	ARFF Vehicle - 3000 gal-	100	37,648	155	101.2



**Results Table 3. New Rigid ACR at Indicated Gross Weight and Strength**

No.	Aircraft Name	Gross Weight (kg)	Percent Gross Weight on Main Gear	Tire Pressure (MPa)	ACR Thick (mm) (D)	ACR/R/D
1	Beechcraft King Air C90	5,200	95	472.13	79	29.5
2	Cessna 206 Stationair	1,638	95	358.53	51	8.7
3	Cessna 172 Skyhawk	1,160	95	344.74	51	6.6
4	PA-28R-200 Cherokee Arrow	1,134	95	344.74	51	6.5
5	PA-34-220T Seneca II/ III/ IV/V	2,073	95	379.21	51	10.7
6	Cessna 208B Grand Caravan EX	3,969	95	517.11	74	25.4
7	PA-32-300 Cherokee Six	1,542	95	344.74	51	8.2
8	ARFF Vehicle - 3000 gal-	37,648	100	586.05	155	101.2

# Federal Aviation Administration FAARFIELD CDF Graph

FAARFIELD 2.0.18 (Build 05/26/2022)

**Job Name: Aerodromo de Guapiles**

**Section: Propuesta 3**

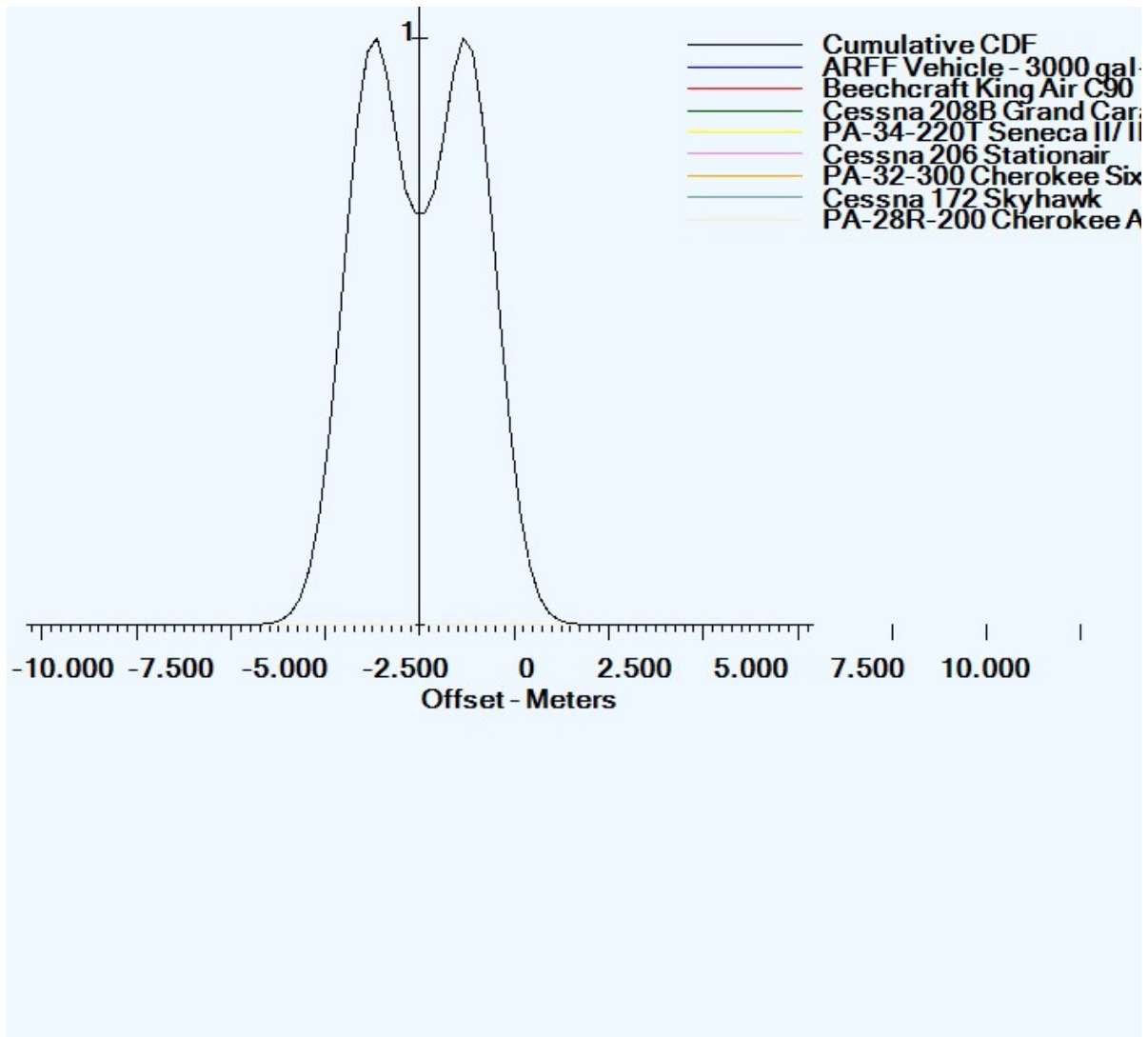
Analysis Type: New Rigid

Analysis Run Time: 2023-03-04 13:13:57

Last Run: Thickness Design

Design Life = 20.0 Years

Total thickness to the top of the subgrade = 306mm



# Federal Aviation Administration FAARFIELD 2.0 Form 5010

FAARFIELD 2.0.18 (Build 05/26/2022)

## RUNWAY DATA

Job Name: Aerodromo de Guapiles

Section: Propuesta 3

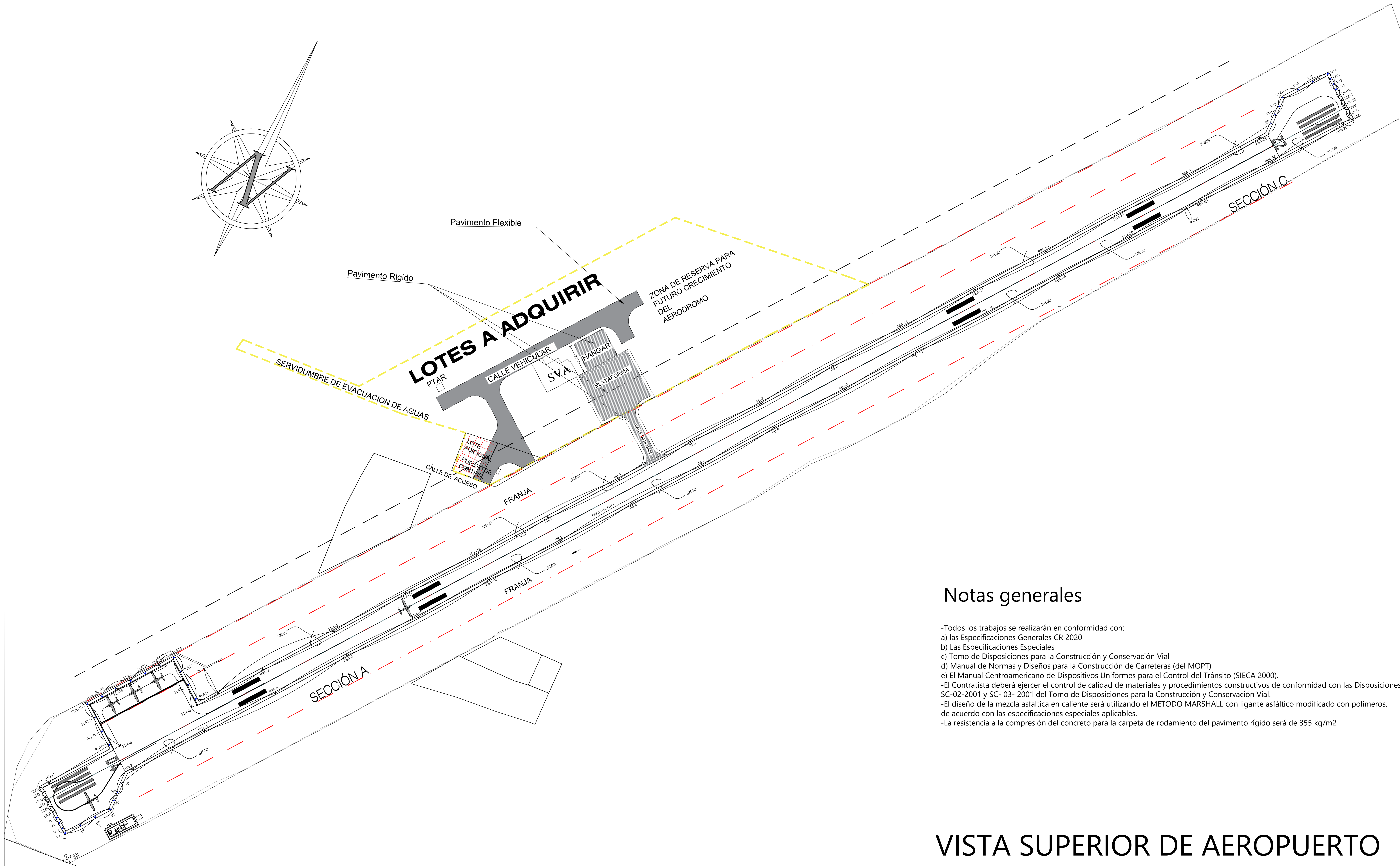
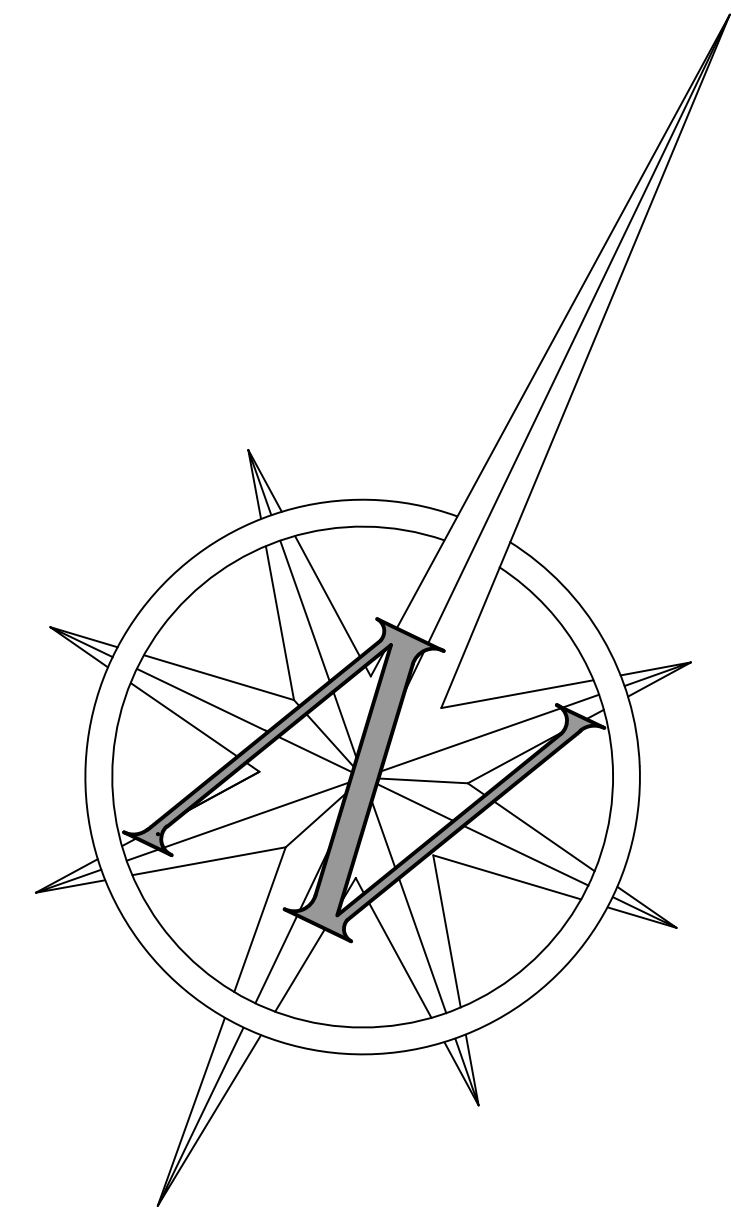
### Gross Weight (In THSDS)

35 S	32
36 D	42
37 2D	0
38 2D/2D2	0

39 PCR	101/R/D/W/T
--------	-------------







### Notas generales

- Todos los trabajos se realizarán en conformidad con:
- a) Las Especificaciones Generales CR 2020
- b) Las Especificaciones Especiales
- c) Tomo de Disposiciones para la Construcción y Conservación Vial
- d) Manual de Normas y Diseños para la Construcción de Carreteras (del MOPT)
- e) El Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (SIECA 2000).
- El Contratista deberá ejercer el control de calidad de materiales y procedimientos constructivos de conformidad con las Disposiciones SC-02-2001 y SC- 03- 2001 del Tomo de Disposiciones para la Construcción y Conservación Vial.
- El diseño de la mezcla asfáltica en caliente será utilizando el METODO MARSHALL con ligante asfáltico modificado con polímeros, de acuerdo con las especificaciones especiales aplicables.
- La resistencia a la compresión del concreto para la carpeta de rodamiento del pavimento rígido será de 355 kg/m2

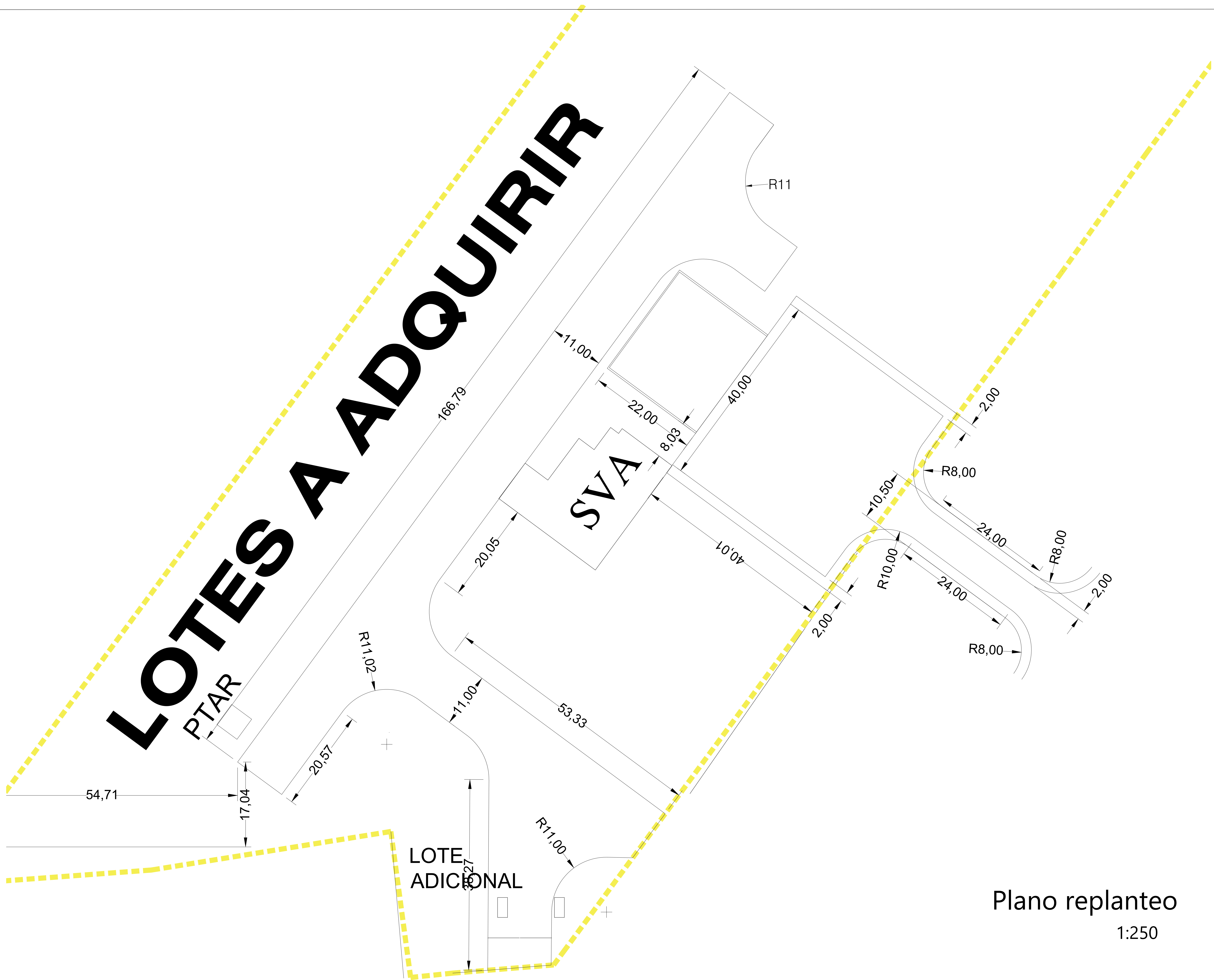
## VISTA SUPERIOR DE AEROPUERTO

1:1000

PROYECTO: Diseño estructuras de Pavimento Aeropuerto de Guapiles		
PROPIETARIO: Direccion General de Aviacion Civil DGAC		
PROVINCIA Limon	CANTON Pococí	DISTRITO Guapiles
RESPONSABLE DEL DISEÑO JASON GUSTAVO PEÑARANDA CHACON		
INFORMACION REGISTRO PUBLICO		
PROPIETARIO N° CATASTRO MATRICULA		
CONTENIDO: Lamina de Vista superior		
ESCALA INDICADA	FECHA Abril 2023	LÁMINA TIPO A
		LÁMINA/TOTAL 1 / 4
ESTE PLANO ES PROPIEDAD INTELECTUAL DEL PROFESIONAL RESPONSABLE. SE PROHIBE LA COPIA TOTAL O PARCIAL DE ESTA LÁMINA SIN AUTORIZACION DEL MISMO.		



# LOTES A ADQUIRIR



Plano replanteo  
1:250

PROYECTO:  
Diseño estructuras de Pavimento  
Aeropuerto de Guapiles

PROPIETARIO:  
Direccion General de  
Aviacion Civil DGAC

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO
Limon	Pococí	Guapiles

RESPONSABLE DEL DISEÑO  
JASON GUSTAVO PEÑARANDA CHACON

INFORMACION REGISTRO PUBLICO

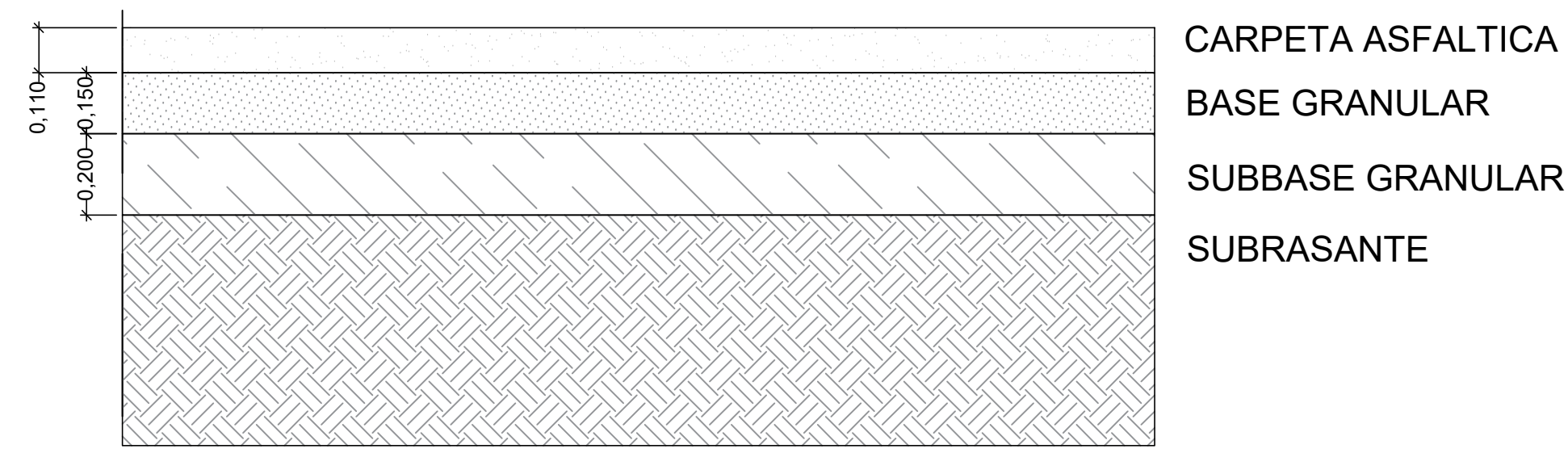
PROPIETARIO  
N° CATASTRO  
MATRICULA

CONTENIDO:  
  
Lamina de replanteo

ESCALA	FECHA	LÁMINA TIPO	LÁMINA/TOTAL
INDICADA	Abril 2023	A	2 / 4

ESTE PLANO ES PROPIEDAD INTELECTUAL DEL PROFESIONAL RESPONSABLE. SE PROHIBE LA COPIA TOTAL O PARCIAL DE ESTA LÁMINA SIN AUTORIZACION DEL MISMO.

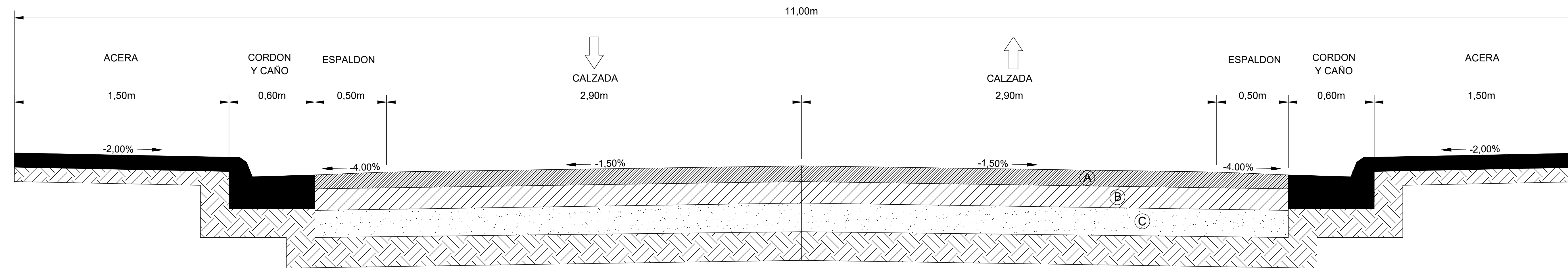




SIMBOLOGÍA DE MATERIALES	
(A)	CARPETA ASFÁLTICA
(B)	BASE GRANULAR
(C)	SUBBASE GRANULAR

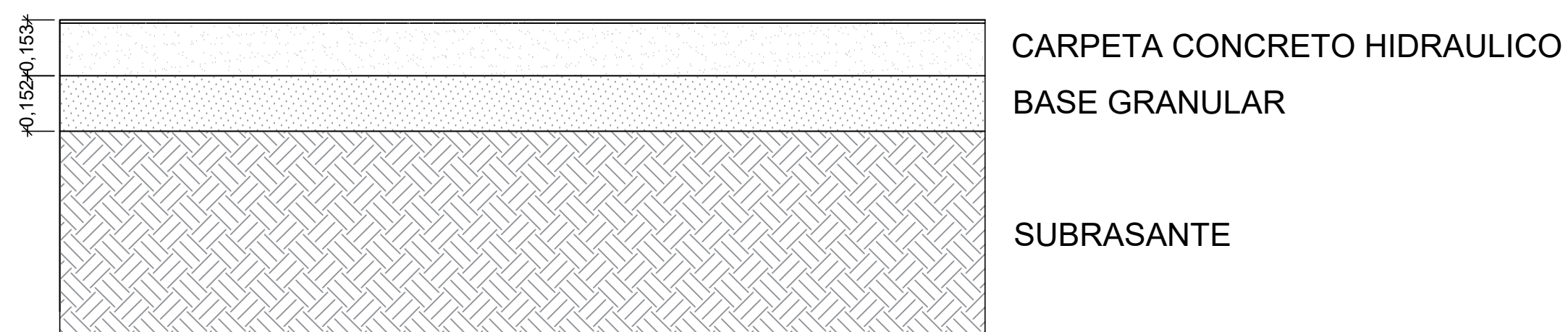
CONFORMACION ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE

ESCALA 1:15



SECCION CALLE ACCESO VEHICULAR

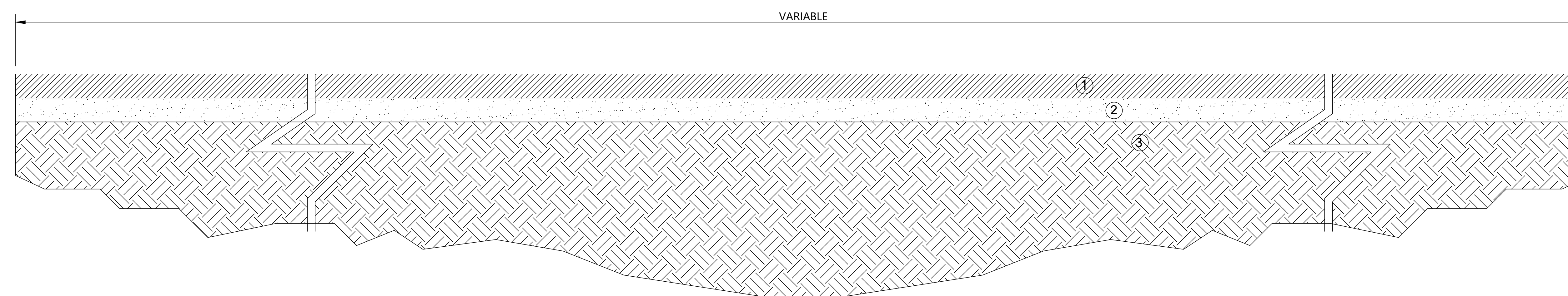
ESCALA 1:15



SIMBOLOGÍA DE MATERIALES	
①	CARPETA CONCRETO HIDRAULICO
②	BASE GRANULAR
③	SUBRASANTE

CONFORMACION ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RIGIDO

ESCALA 1:15



SECCION TIPICA PARA CALLE DE RODAMIENTO, PLATAFORMA DE PARQUEOS Y HANGAR

ESCALA 1:15

PROYECTO:  
Diseño estructuras de Pavimento  
Aeropuerto de Guapiles

PROPIETARIO:  
Direccion General de  
Aviacion Civil DGAC

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO
Limon	Pococí	Guapiles

RESPONSABLE DEL DISEÑO  
JASON GUSTAVO PEÑARANDA CHACON

INFORMACION REGISTRO PUBLICO

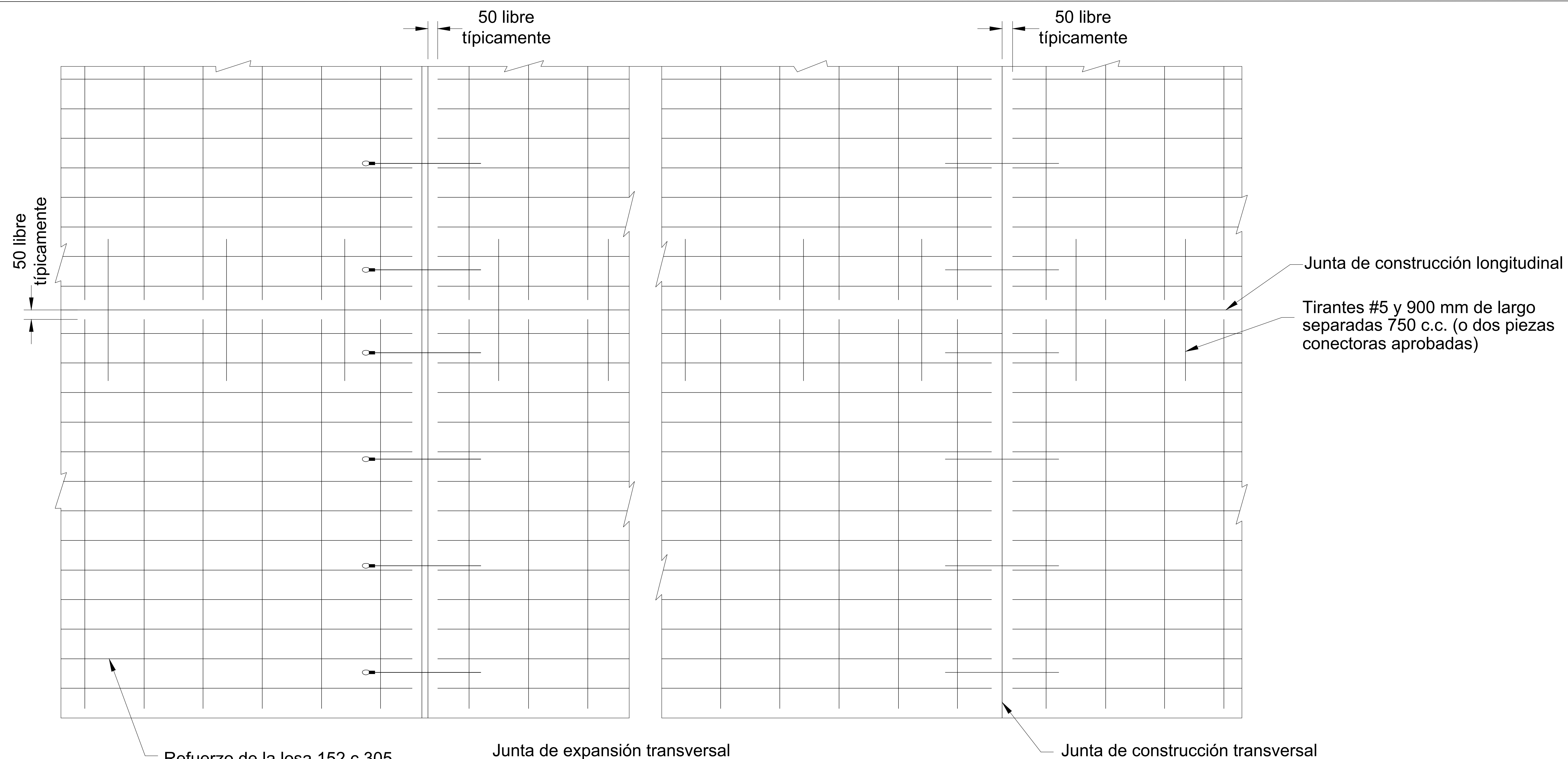
PROPIETARIO  
N° CATASTRO  
MATRICULA

CONTENIDO:  
  
Lamina de secciones

ESCALA	FECHA	LÁMINA TIPO	LÁMINA/TOTAL
INDICADA	Abril 2023	A	3 / 2

ESTE PLANO ES PROPIEDAD INTELECTUAL DEL PROFESIONAL RESPONSABLE. SE PROHIBE LA COPIA TOTAL O PARCIAL DE ESTA LÁMINA SIN AUTORIZACION DEL MISMO.





Refuerzo de la losa 152 c 305  
 MW34,9xMW34,9 malla de alambre  
 o varillas #2 separadas 225 c.c.  
 longitudinalmente y 300 c.c.  
 transversalmente

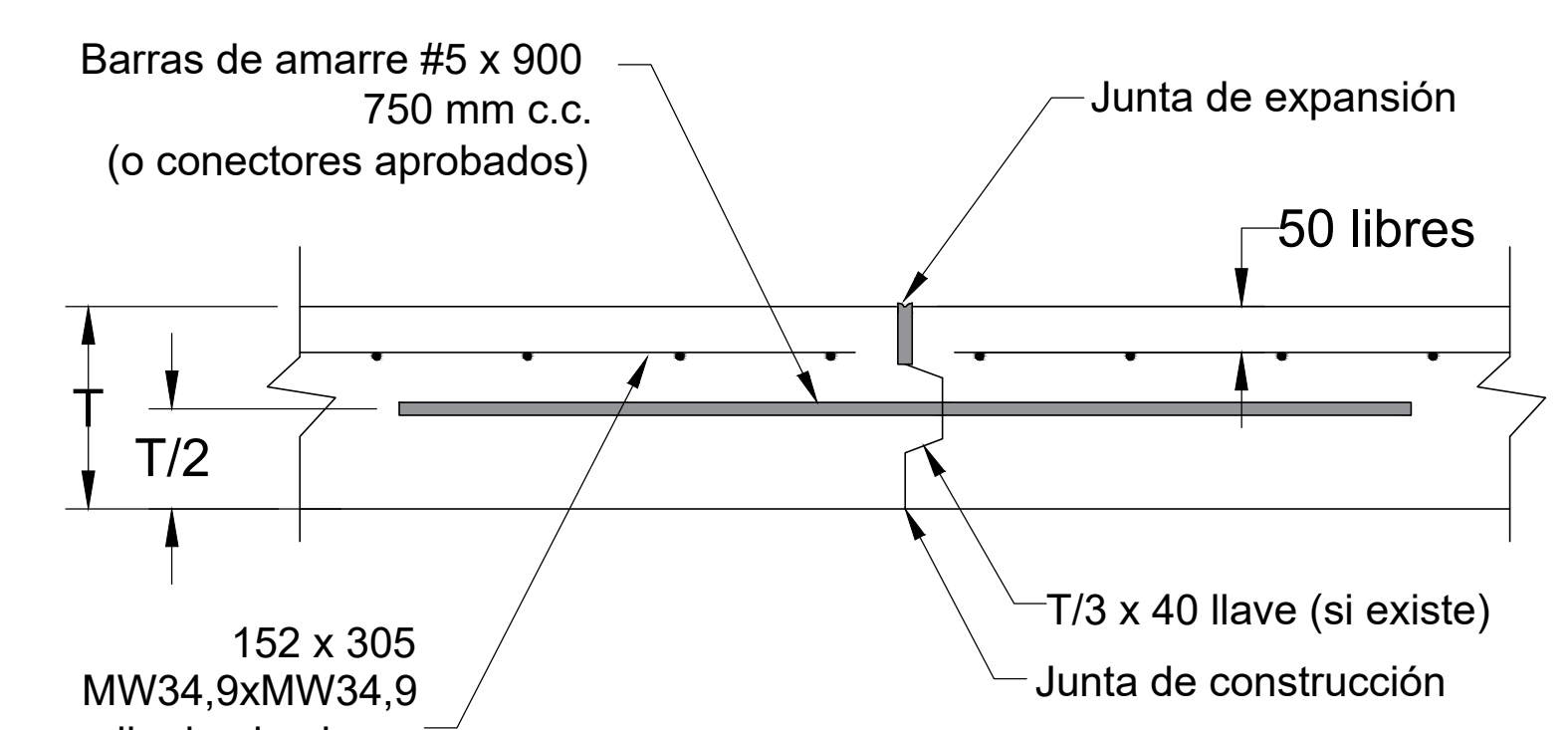
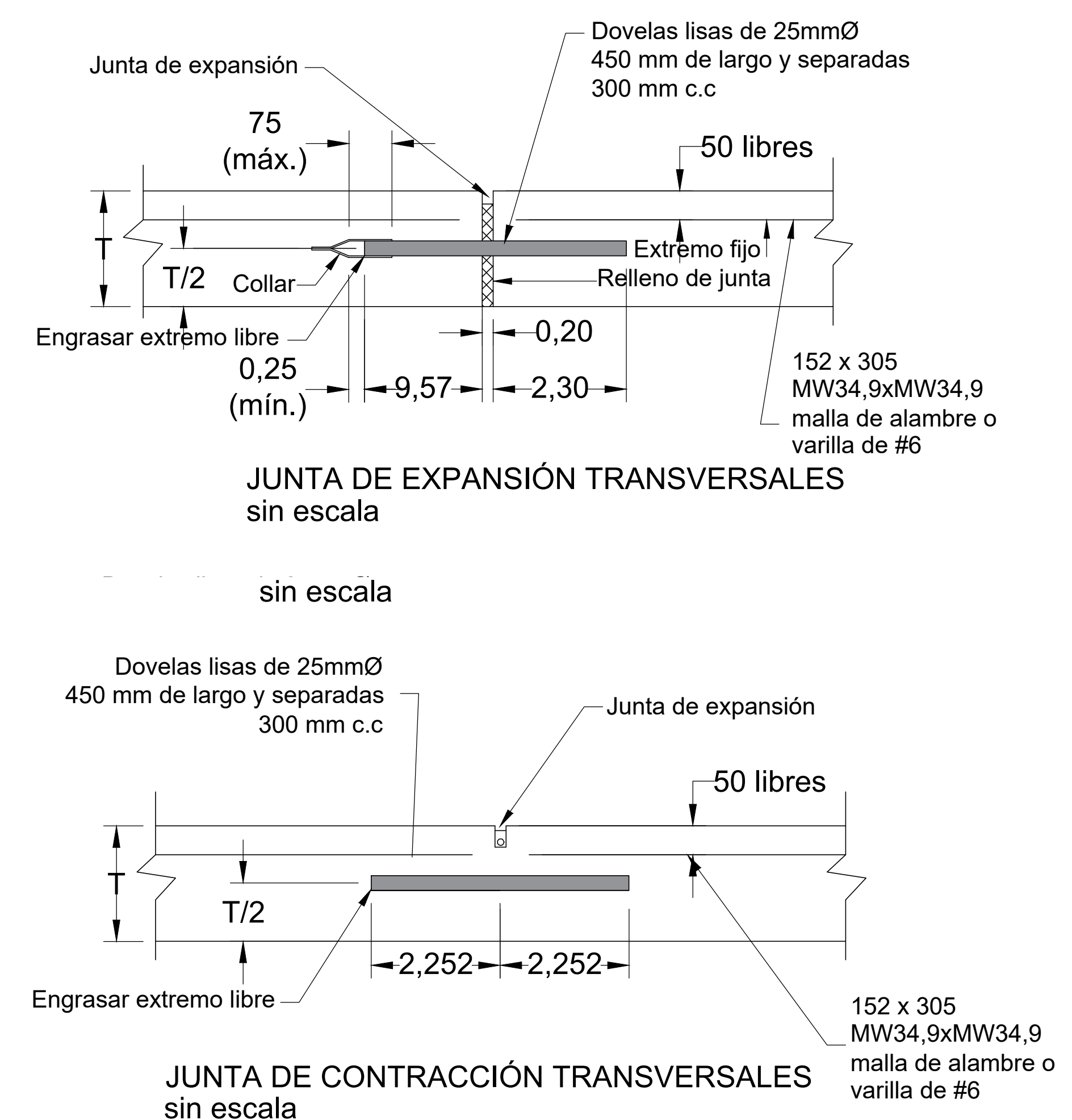
Junta de expansión transversal

Junta de construcción transversal

Junta de construcción longitudinal  
 Tirantes #5 y 900 mm de largo  
 separadas 750 c.c. (o dos piezas  
 conectoras aprobadas)

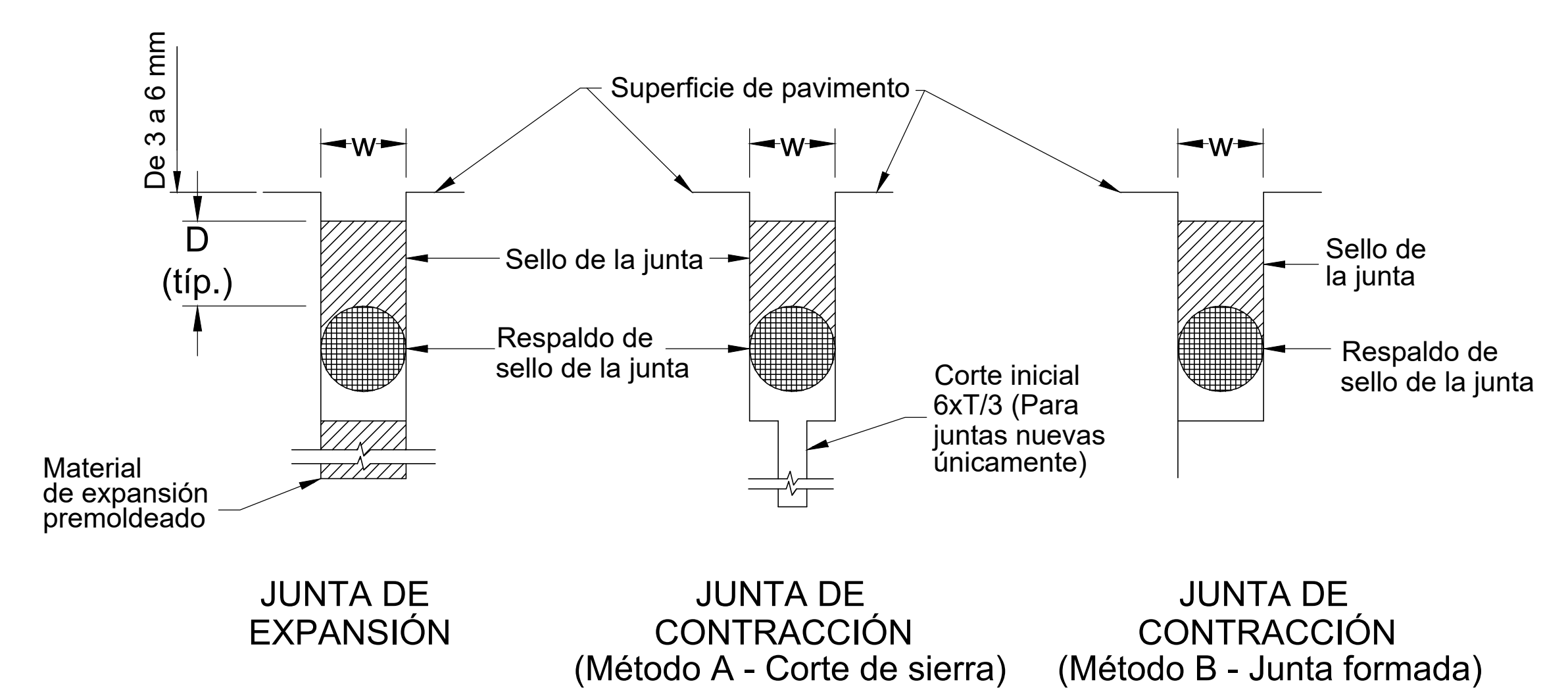
PLANTA

Pavimento de concreto Portland  
 con refuerzo de acero  
 1:10



JUNTA DE CONTRACCIÓN LONGITUDINAL  
 sin escala

DETALLES DE JUNTAS PARA  
 PAVIMENTO DE CONCRETO REFORZADO CON CEMENTO PORTLAND



DETALLES DE SELLO DE LAS JUNTAS PARA  
 PAVIMENTO DE CONCRETO REFORZADO CON CEMENTO PORTLAND  
 sin escala

PROYECTO: Diseño estructuras de Pavimento Aeropuerto de Guapiles		
PROPIETARIO: Direccion General de Aviacion Civil DGAC		
PROVINCIA: Limon	CANTON: Pococi	DISTRITO: Guapiles
RESPONSABLE DEL DISEÑO: JASON GUSTAVO PEÑARANDA CHACON		
INFORMACION REGISTRO PUBLICO		
PROPIETARIO: N° CATASTRO: MATRICULA:		
CONTENIDO:  Lamina de detalles		
ESCALA: INDICADA	FECHA: Abril 2023	LÁMINA TIPO: A
		LÁMINA/TOTAL: 4/4
ESTE PLANO ES PROPIEDAD INTELECTUAL DEL PROFESIONAL RESPONSABLE. SE PROHIBE LA COPIA TOTAL O PARCIAL DE ESTA LÁMINA SIN AUTORIZACION DEL MISMO.		



**UNIVERSIDAD LATINA  
DE COSTA RICA**  
POWERED BY **Arizona State University**

## **TRIBUNAL EXAMINADOR**

Este proyecto titulado: Diseño y presupuesto de estructuras de pavimento para el nuevo puesto de vigilancia aérea del Aeródromo de Guápiles, por el (la) estudiante: Peñaranda Chacón Jason Gustavo, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede San Pedro, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

---

Pablo Torres Morales  
Tutor

---

Danilo Hernández Guerrero  
Lector

---

Victor Obando Angulo  
Lector

## DECLARACIÓN JURADA

Yo, Jason Gustavo Peñaranda Chacón estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual del Proyecto de Graduación titulado:

Diseño y presupuesto de estructuras de pavimento para el nuevo puesto de vigilancia aérea del Aeródromo de Guápiles.

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en San José, Costa Rica, 4 de mayo del 2023.

  
Jason Gustavo Peñaranda Chacón



**Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)**

**Universidad Latina de Costa Rica**

<b>Yo (Nosotros):</b>	Jason Gustavo Peñaranda Chacón
<b>De la Carrera / Programa:</b>	Licenciatura en Ingeniería Civil
<b>Modalidad de TFG:</b>	Proyecto Final de graduación
<b>Titulado:</b>	Diseño y presupuesto de estructuras de pavimento para el nuevo puesto de vigilancia aérea del Aeródromo de Guápiles

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el “AUTOR”), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la “OBRA”). **SEGUNDO:** El **AUTOR** autoriza y cede a favor de la **UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L.** con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la “UNIVERSIDAD”), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la **OBRA** necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la **OBRA** con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El **AUTOR** acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la **UNIVERSIDAD** no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El **AUTOR** garantiza la originalidad de la **OBRA**, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la **OBRA**, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del **AUTOR** y este garantiza mantener indemne a la **UNIVERSIDAD** ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El **AUTOR** se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la **UNIVERSIDAD** **SEXTO:** La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el **AUTOR** y la **UNIVERSIDAD**, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El **AUTOR** acepta que la **UNIVERSIDAD**, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO**: El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD**., el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD**. puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO**: El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO**: El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO.** La presente autorización se extiende el día 04 de mayo de 2023 a las 21:14

Firma del estudiante(s):

