

## **1. AGRADECIMIENTOS**

A todas las personas que me ayudaron a realizar este trabajo y en especial a mi familia que me acompaño es todo este camino.

En primer lugar, quiero agradecer al Ingeniero Rico Miguel, mi supervisor externo, que aparte de ser una gran persona y compañero me transmitido todos sus conocimientos y experiencias en la ingeniería.

Al Doctor Alejandro Tanco, mi tutor en esta práctica, por su labor, información y buena predisposición a lo largo de esta práctica.

Amigos y compañeros, que fueron parte de este proceso, compartiendo el día a día y apoyando en cada momento.

## **2. RESUMEN**

El desarrollo de la presente Práctica Profesional Supervisada, procura alcanzar como objetivo general el obtener experiencia práctica complementaria aplicando y profundizando los conceptos adquiridos durante los años de estudio de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Se emplearán los conceptos adquiridos durante el cursado de las distintas materias, adecuadas a la necesidad esta temática.

El presente informe está referido al Anteproyecto de Rehabilitación que tiene por objeto analizar y plantear, desde el punto de vista ingenieril, distintas alternativas para la rehabilitación estructural de la Pista RWY 16/34 del Aeródromo Público "Capitán Omar Darío Gelardi" de la Fábrica de Aviones S.A. (FAdeA S.A.) de la ciudad de Córdoba.

Como resultado final, el Anteproyecto plantea alternativas de intervención para la mejora del estado estructural de la pista en cuestión, y las obras que deberán ejecutarse para su adecuación a las nuevas exigencias de operación planteadas por las autoridades de FAdeA S.A.

En el informe se describen la metodología utilizada, trabajos de campaña, trabajos de laboratorio, consideraciones del tráfico, PCN actual del pavimento, propuestas de rehabilitación y estimación de cómputos y presupuestos.

## CONTENIDO

1. AGRADECIMIENTOS.....	1
2. RESUMEN.....	2
3. PAVIMENTOS PARA AEROPUERTO.....	13
3.1 Introducción.....	13
3.2 Tipos de pavimento.....	13
3.2.1 Capas de pavimento.....	13
3.2.2 Proceso de Construcción de Pavimentos en Aeropuertos.....	13
4. INVESTIGACIONES Y EVALUACIÓN DE SUELOS.....	15
4.1 Introducción.....	15
4.2 Investigaciones del suelo.....	15
4.3 Topografía y obtención de muestras.....	16
4.3.1 Tareas realizadas en campo.....	17
4.3.2 Procesamiento de datos.....	19
4.3.3 Apertura de Calicatas.....	22
4.3.4 Extracción de testigos.....	27
4.3.5 Ensayos DCP.....	32
4.4 Pruebas al Suelo.....	35
4.4.1 GRANULOMETRÍA.....	35
4.4.2 LÍMITE LÍQUIDO (VN - E2 – 65).....	46
4.4.3 LÍMITE PLÁSTICO (VN - E3 – 65).....	51
4.4.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS HRB (VN - E4 – 84).....	54

4.4.5 COMPACTACIÓN (VN – E5 – 93) .....	55
4.4.6 DETERMINACIÓN DEL VALOR SOPORTE RELATIVO (VN – E6 – 84) ....	56
4.5 INSPECCION VISUAL. ....	62
5. SUPERFICIE HIDROLOGÍCA. ....	64
5.1 CRITERIOS.....	64
5.1.1 Objetivos de diseño. ....	64
5.1.2 Grado de drenaje requeridos. ....	64
5.1.3 Tormenta de Diseño .....	64
5.1.4 Frecuencia .....	65
5.1.5 Áreas .....	65
5.2 Método Racional. ....	67
5.2.1 Intensidad de la lluvia. ....	70
5.2.2 Longitud del Cauce.....	71
5.2.3 Pendiente del Cauce Principal.....	71
5.2.4 Caudales .....	71
6. DRENAJE DE LA SUPERFICIE DE PAVIMENTO.....	73
6.1 Introducción.....	73
6.2 Frecuencia de diseño y propagación.....	73
6.2.1 Selección de la Frecuencia de Diseño .....	73
6.2.2 Selección de Tormenta y Propagación.....	73
6.3.1 Capacidad.....	77
6.3.2 Secciones.....	77

6.3.3 Datos Geométricos. ....	77
6.3.4 Datos del Flujo. ....	77
6.3.5 Conclusiones. ....	79
<b>7. ESTRUCTURAS DE DRENAJE. ....</b>	<b>80</b>
7.1 Introducción. ....	80
7.2 Procedimientos de diseño. ....	80
7.2.1 Clasificación de los drenajes. ....	80
7.2.3 Hidráulica de Tormenta. ....	81
7.2.4 Diseño de Flujo a Presión. ....	81
7.3 Estructura de drenaje. ....	81
7.3.1 Introducción. ....	81
7.3.2 Estructura de Entrada. ....	81
7.3 Sifones. ....	82
<b>8. METODO ESTANDARIZADO ACN-PCN. ....</b>	<b>83</b>
8.1 DETERMINACION DEL ACN. ....	84
8.1.1 ACN para pavimentos flexibles. ....	85
8.1.2 Cálculo de ACN. ....	86
8.2 OBTENCION DE LOS VALORES DEL ACN UTILIZANDO LA APLICACION COMFAA. ....	86
8.2.1 Utilización de la aplicación. ....	87
8.2.2 Variables que intervienen en la determinación de los valores ACN. ....	88
8.3 Número de Clasificación del Pavimento PCN. ....	89
8.3.1 Determinación del valor numérico del PCN. ....	89

8.3.2 Método de evaluación técnica para determinar el valor PCN. ....	89
8.3.3 Determinación del valor PCN. ....	89
8.3.4 Limitaciones del PCN. ....	90
8.3.5 Reporte del PCN. ....	90
8.3.6 Resultados obtenidos. ....	90
<b>9. PROPUESTAS DE REHABILITACIÓN. ....</b>	<b>94</b>
9.1 Determinación de espesores. ....	94
9.1.1 Utilización de FAIRFIELD. ....	94
6.2 Alternativas. ....	98
9.2.1 Alternativa 1. ....	98
9.2.2 Alternativa 2. ....	99
9.2.3 Alternativa 3. ....	100
9.2.4 Alternativa 4. ....	100
9.3 Resumen. ....	101
<b>10. ESTIMACIÓN DE CÓMPUTOS Y PRESUPUESTOS. ....</b>	<b>103</b>
<b>11. CONCLUSIONES. ....</b>	<b>106</b>
<b>12. BIBLIOGRAFÍA. ....</b>	<b>107</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura N°1. Base TRIMBLE TSC-3. ....	16
Figura N°2. Móvil y controladora TRIMBLE TSC-3.....	17
Figura N°3. Utilización de GPS. ....	18
Figura N°4. Utilización de GPS. ....	19
Figura N° 5. Curvas de Nivel Cabecera Norte.....	21
Figura N° 7. Apertura de Calicata .....	23
Figura N° 8. Corte de Pavimento .....	23
Figura N°9. Realización de Ensayo de Cono de Arena. ....	24
Figura N° 10 Calicata N°1. ....	25
Figura N° 11. Calicata N°2. ....	25
Figura N° 12. Calicata N°3. ....	26
Figura N° 13. Calicata N°4. ....	26
Figura N°14. Extracción de Testigo 14.....	28
Figura N° 15. Extracción de testigo 1.....	29
Figura N° 16. Extracción de testigo 10.....	29
Figura N° 17. Testigo T1.....	31
Figura N° 18. Testigo T6.....	32
Figura N° 19. Testigo T11.....	32
Figura N° 20. Resultados de DCP en Testigo T1.....	34
Figura N° 21. Curva Granulométrica B1.....	37
Figura N° 22. Curva Granulométrica B2.....	38

Figura N° 23. Curva Granulométrica B3.....	39
Figura N° 24. Curva Granulométrica B4.....	40
Figura N° 25. Curva Granulométrica Resumen de Base .....	41
Figura N° 26. Curva Granulométrica S1.....	42
Figura N° 27. Curva Granulométrica S2.....	43
Figura N° 28. Curva Granulométrica S3.....	44
Figura N° 29. Curva Granulométrica S4.....	45
Figura N° 30. Curva Granulométrica Resumen Subrasante .....	46
Figura N° 31. Ubicación de la pista. ....	65
Figura N° 32. Escurrimiento natural en el área de estudio. ....	66
Figura N° 33 IDF .....	68
Figura N° 34. Curvas i-d-F (Zona Centro) .....	70
Figura N° 35. Escurrimiento natural en el área de estudio. ....	71
Figura N° 36. Formas de cunetas. ....	76
Figura N° 37. Modelación Progresiva 894.86.....	78
Figura N° 38. Modelación Progresiva 976.72.....	78
Figura N° 39. Modelación Progresiva 1050.....	79
Figura N° 40. Sifón.....	82
Figura N° 41. Operación de COMFAA .....	87
Figura N° 42. Operación de COMFAA. ....	88
Figura N° 43. Paquete estructural adoptado para la pista actual.....	91
Figura N°44. Cálculo de Espesor Equivalente.....	91

Figura N° 45. Transformación en estructura equivalente.....	92
Figura N° 46. Espesores de la estructura estándar equivalente .....	92
Figura N°47. Reporte de salida de COMFAA 3.1. ....	93
Figura N° 48. Detalle Alternativa 1. ....	99
Figura N° 49. Detalle Alternativa 2. ....	99
Figura N° 50. Detalle Alternativa 3. ....	100
Figura N° 51. Detalle Alternativa 4. ....	100

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Planilla de puntos relevados .....	20
Tabla 2. Resultados Ensayo Cono de Arena - Base. ....	27
Tabla 3. Resultados Ensayo Cono de Arena - Subrasante. ....	27
Tabla 4. Espesor de Testigos Asfálticos. ....	30
Tabla 5. Ubicación, Espesor y Densidad de Testigos Asfálticos. ....	31
Tabla 6. Resultados de ensayos DCP. ....	35
Tabla 7. Ensayo de Granulometría "B1".....	37
Tabla 8. Ensayo de Granulometría B2 .....	38
Tabla 9. Ensayo de Granulometría B3 .....	39
Tabla 10. Ensayo de Granulometría B4 .....	40
Tabla 11. Ensayo de Granulometría S1 .....	42
Tabla 12. Ensayo de Granulometría S2 .....	43
Tabla 13. Ensayo de Granulometría S3 .....	44
Tabla 14. Ensayo de Granulometría S4 .....	45
Tabla 15. Determinación de Límite Líquido B1.....	47
Tabla 16. Determinación de Límite Líquido B2.....	48
Tabla 17. Determinación de Límite Líquido B3.....	48
Tabla 18. Determinación de Límite Líquido B4.....	49
Tabla 19. Determinación de Límite Líquido S1.....	50
Tabla 20. Determinación de Límite Líquido S2.....	50
Tabla 21. Determinación de Límite Líquido S3.....	51

Tabla 22. Determinación de Límite Líquido S4.....	51
Tabla 23. Determinación de Límite Plástico - Índice de Plasticidad S1 .....	52
Tabla 24. Determinación de Límite Plástico - Índice de Plasticidad S2 .....	53
Tabla 25. Determinación de Límite Plástico- Índice de Plasticidad S3 .....	53
Tabla 26. Determinación de Límite Plástico - Índice de Plasticidad S4 .....	54
Tabla 27. Clasificación de Base.....	54
Tabla 28. Clasificación de material de Subrasante .....	55
Tabla 29. Ensayo de Compactación de Base .....	56
Tabla 30. Ensayo de Compactación de Subrasante .....	56
Tabla 31. Compactación de Probetas para CBR - B1 .....	57
Tabla 32. Lecturas de Dial - B1.....	57
Tabla 33. CBR vs. Densidad - B1 .....	58
Tabla 34. Compactación de Probetas para CBR - B2, 3 y 4.....	58
Tabla 35. Lecturas de Dial - B2, 3 y 4.....	59
Tabla 36. CBR vs. Densidad - B2, 3 y 4.....	59
Tabla 37. Compactación de Probetas para CBR - S1 y S4 .....	60
Tabla 38. Lecturas de Dial - S1 y S4.....	60
Tabla 39. CBR vs. Densidad - S1 y S4 .....	61
Tabla 40. Compactación de Probetas para CBR - S2 y S3 .....	61
Tabla 41. Lecturas de Dial - S2 y S3.....	62
Tabla 42.CBR vs. Densidad - S2 y S3 .....	62
Tabla 43 Coeficiente de Escorrentía.....	69

Tabla 44. Caudales de Diseño .....	72
Tabla 45. Condiciones estándar de soporte de la subrasante para el cálculo de ACN 84	
Tabla 46. Resultado del ensayo de VSR (subrasante).....	84
Tabla 47. Consideraciones del tráfico aéreo. ....	85
Tabla 48. Cómputo y presupuesto estimativo Alternativa 1.....	103
Tabla 49. Cómputo y presupuesto estimativo Alternativa 2.....	104
Tabla 50. Cómputo y presupuesto estimativo Alternativa 3.....	104
Tabla 51. Cómputo y presupuesto estimativo Alternativa 4.....	105

### **3. PAVIMENTOS PARA AEROPUERTO**

A continuación, se dan algunos de los lineamientos especificados por la FAA en la Circular 150-5320 6E.

#### **3.1 Introducción.**

Los pavimentos de aeropuertos se construyen para proporcionar un apoyo adecuado a las cargas impuestas por los aviones y para producir un firme, estable, sin problemas, todo el año, la superficie además debe estar libre de desechos u otras partículas que pueden ser recogidos por la hélice de una aeronave. Con el fin de cumplir satisfactoriamente con estos requisitos, el pavimento debe ser de tal calidad y espesor que no va a ceder por el peso impuesto. Además, debe poseer suficiente estabilidad inherente para soportar, sin sufrir daños, la acción abrasiva del tráfico, condiciones meteorológicas adversas, y otras influencias deterioro. Para producir este tipo de pavimentos se requiere una coordinación de los muchos factores de diseño, construcción e inspección para asegurar la mejor combinación posible de los materiales disponibles y un alto nivel de mano de obra.

#### **3.2 Tipos de pavimento.**

Pavimentos que pueden ser utilizados para la materialización de la carpeta de rodamiento de un aeropuerto son: superficies asfálticas flexibles, rígidos, mezcla en caliente y superposiciones rígidas. Varias combinaciones de tipos de pavimentos y capas estabilizadas resultan complejas, por lo tanto, se clasifican entre flexible y rígido.

##### **3.2.1 Capas de pavimento.**

Superficie: las capas superficiales incluyen el concreto de cemento Portland (PCC), la mezcla de asfalto en caliente (HMA), mezcla de arena-bituminoso, y tratamientos de superficie bituminosa rociadas.

Base: las capas de base consisten en una variedad de diferentes materiales, que generalmente se dividen en dos clases principales, tratados y no tratados. Una base sin tratar se compone de agregados triturados o no triturados. Una base tratada consiste normalmente en un agregado triturado o no triturado mezclado con un estabilizador tal como cemento, asfalto, etc.

Subbase: las capas de sub-base se componen de un material granular, un material granular estabilizada, o un terreno estabilizado.

##### **3.2.2 Proceso de Construcción de Pavimentos en Aeropuertos.**

En algunos casos, puede ser necesario construir el perfil del pavimento, capa por capa; la planificación para el futuro ensanche de calzadas, a veces es ventajoso para

dar cabida a aviones más grandes. Si la construcción en etapas se va a realizar, la necesidad de una buena planificación no se puede exagerar. Es importante diseñar el pavimento completo antes del inicio de cualquier etapa y para asegurar que cada etapa proporciona una superficie operativa.

En la planificación de un pavimento por etapas se debería reconocer una serie de consideraciones.

La adecuación de cada etapa: el diseño de cada etapa para acomodar adecuadamente el tráfico que va a utilizar el pavimento hasta que se construye la siguiente etapa.

Drenaje: el diseño y construcción de las capas subyacentes y las instalaciones de drenaje de un pavimento construido en etapas se debe adaptar a las normas requeridas para la sección transversal final. Se debe proporcionar las instalaciones de cimentación y drenaje adecuados en la primera etapa, ya que las capas subyacentes no ser fácilmente accesibles para la actualización en el futuro.

## 4. INVESTIGACIONES Y EVALUACIÓN DE SUELOS

A continuación, se dan algunos de los lineamientos especificados por la FAA en la Circular 150-5320 6E.

### 4.1 Introducción.

La importancia de la identificación y evaluación de las bases de pavimento exacta no se puede exagerar. Aunque no es posible explorar todo el campo de la mecánica de suelos, en lo siguiente se va a resaltar los aspectos que son particularmente importantes.

a. Sistema de clasificación: se utilizará el sistema unificado de Clasificación de Suelos (USC) en materia de ingeniería relativos a pavimentos de aeropuertos civiles.

b. Sub-base: Debe recordarse que el suelo de la subrasante en última instancia, proporciona soporte para el pavimento y las cargas impuestas. El pavimento sirve para distribuir la carga impuesta a la sub-base sobre un área mayor que la de la zona de contacto del neumático. Cuanto mayor es el espesor de pavimento, mayor es el área sobre la cual se distribuye la carga en la sub-base. De ello se deduce, por lo tanto, que a mayor inestabilidad del suelo de la sub-base, mayor es el área requerida de distribución de la carga y por consiguiente el espesor requerido de pavimento es mayor. Los suelos que tienen las mejores características deben ser incorporados en las capas superiores de la sub-base de la clasificación selectiva.

c. Drenaje: Además de la relación que tienen con las condiciones de nivelación del suelo y pavimentación, determinan la necesidad de drenajes e influyen materialmente la cantidad de escorrentía superficial. Por lo tanto, tienen un efecto en el tamaño y el alcance de otras estructuras y las instalaciones de drenaje.

### 4.2 Investigaciones del suelo.

a. Distribución y Propiedades. Para proporcionar información esencial sobre los distintos tipos de suelos, se deben realizar investigaciones para determinar su distribución y propiedades físicas. Esta información, combinada con los datos de la topografía del sitio y los registros climáticos de la zona, ofrece material de planificación básica esencial para el desarrollo lógico y eficaz del aeropuerto.

En una investigación de las condiciones del suelo se deberá incluir:

El perfil del suelo subsuperficial. Una investigación de las propiedades del suelo subsuperficial para determinar la disposición de las diferentes capas del suelo con relación a la elevación propuesta de la sub-base.

Muestreo. Recogida de muestras representativas de las capas de tierra.

Prueba. El análisis de muestras para determinar las propiedades físicas de los diversos materiales del suelo con respecto a la densidad in situ y soporte de la subrasante.

Disponibilidad. Una revisión para determinar la disponibilidad de materiales para su uso en la construcción de la sub-base y el pavimento.

Procedimientos. Con respecto a la toma de muestras y procedimientos y técnicas de topografía, se utiliza con mayor frecuencia la norma ASTM D 420, guía estándar para la caracterización del sitio de diseño de ingeniería y la construcción.

### 4.3 Topografía y obtención de muestras.

#### Levantamiento Topográfico.

Para el levantamiento realizado en el anteproyecto se utilizaron receptores GPS TRIMBLE R6 (GNSS doble frecuencia) tanto para la base como para el móvil y vinculados por una controladora TRIMBLE TSC-3. Los cálculos fueron realizados con el software TRIMBLE BUSINESS CENTER y en ese cálculo se ajustaron a las coordenadas Gauss Kruger Faja 4 sistema POSGAR 07 (referencia WGS84). Para ello, se utilizaron los datos provistos por la estación permanente (RAMSAC) UCOR ubicada en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Ciudad Universitaria) de la Universidad Nacional de Córdoba. Con esa vinculación y utilizando en campaña el procedimiento "stop and go" con post procesamiento, todo el relevamiento se relacionó con precisión geodésica.

A continuación, puede verse en la figura N° 1 la base del GPS TRIMBLE R6.

Figura N°1. Base TRIMBLE TSC-3.



En la figura N° 2 puede observarse el móvil y controladora del GPS TRIMBLE R6.

Figura N°2. Móvil y controladora TRIMBLE TSC-3.



#### 4.3.1 Tareas realizadas en campo.

Los trabajos en campo se realizaron en 3 días de campaña y la metodología utilizada era llegar al lugar y estacionar la base del GPS en un punto fijo definido con anterioridad, el tiempo para llevar a cabo dicha tarea era de 15 minutos, una vez estacionada ésta se procedía a vincular el móvil con la base en otro punto fijo, el cual era utilizado como punto de control, cuyo tiempo para llevar a cabo dicha tarea era de 8 minutos.

Una vez estacionada la base y vinculada al móvil se procedía a relevar los puntos; en total se relevaron 1425 puntos de los cuales las mayores densidades de puntos se obtuvieron en la pista de aterrizaje donde se realizaban perfiles transversales cada 20 metros y con 5 puntos en cada uno de ellos, de los cuales se relevaba el eje de pista, los bordes de pista y los restantes dos puntos pertenecían a la distancia media entre eje y borde de pista.

Una vez terminada de relevar la pista se procedió a realizar el levantamiento topográfico del terreno circundante donde se realizaron perfiles transversales cada 100 metros.

En la zona Oeste se realizó el levantamiento del terreno natural que existe entre la pista de aterrizaje y la calle de rodaje, y además de las obras de arte existentes.

De dicha calle se realizó el levantamiento de su borde de pavimento, dichos puntos eran relevados cada 5 metros aproximadamente.

En la zona Este el levantamiento fue realizado hasta una distancia de 100 metros desde el borde de pista y se intensificó en los lugares donde había depresiones por donde escurre el agua actualmente. A su vez, se relevó algunos puntos de interés para conocer su cota y poder realizar las curvas de nivel en todo el terreno de la zona Este, ya que, en algunas zonas el ancho del terreno a relevar era más extenso.

A continuación, en las figuras 3 y 4 se puede observar las tareas desarrolladas en campo con el GPS TRIMBLE R6.

Figura N°3. Utilización de GPS.



Figura N°4. Utilización de GPS.



#### 4.3.2 Procesamiento de datos.

Con los datos relevados en campo se procedió a procesarlos con el software TRIMBLE BUSINESS CENTER y en ese cálculo se ajustaron a las coordenadas Gauss Kruguer Faja 4 sistema POSGAR 07 (referencia WGS84). Para ello, se utilizaron los datos provistos por la estación permanente (RAMSAC) UCOR ubicada en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Ciudad Universitaria) de la Universidad Nacional de Córdoba.

Con dichos datos se procedió a calcular las curvas de nivel y el perfil longitudinal de la pista con el programa AutoCAD Civil 3D.

Una vez realizadas las curvas de nivel y el perfil longitudinal se pudo observar las diferencias de cota de ambas cabeceras, 507.16 metros para la cabecera noroeste y 501.60 metros para la cabecera sureste, dando una pendiente promedio de 3.3 por mil. Sin embargo, la topografía real del eje de pista muestra una pendiente de 5.6 por mil para los primeros 1000 metros de pista desde la cabecera noroeste, y a partir de allí hasta la cabecera sureste la cota permanece casi invariable mostrando un tramo prácticamente horizontal en los últimos 700 metros de pista. Tomando como origen de las progresivas la cabecera noroeste, en la progresiva 1000 se observa la máxima diferencia de cota entre el eje de la pista y la línea de rasante media que resulta de unir ambas cabeceras con una recta, esta diferencia es de 2.30 metros y se corresponde con los hundimientos que se observan a simple vista.

Esta morfología se mantiene en el margen oeste de la pista confirmando los problemas de drenaje que se suelen observar en épocas de lluvias de relativa

intensidad. Entre las progresivas 1000 y 1500 se observan los mayores deterioros de la pista y la tendencia de cruce de aguas superficiales en dirección este.

Finalmente, como parte del relevamiento se fijaron las coordenadas de las calicatas abiertas y del lugar de extracción de cada uno de los testigos (ver más adelante). También se relevó la superficie bacheada, omitiendo sólo algunas reparaciones antiguas superficiales; esta superficie se concentra exclusivamente en la mitad sur de la pista a partir de la progresiva 1000.

A continuación, se muestra en la Tabla N°1 se puede observar una parte de los puntos relevados en campo.

Tabla 1. Planilla de puntos relevados

ID	Easting (Meter)	Northing (Meter)	Elevation (Meter)	Feature Code
26	4380013.055	6521689.297	505.905	B. Pav.
27	4380012.241	6521696.058	505.844	B. Pav.
28	4380011.925	6521701.109	505.904	B. Pav.
29	4380011.112	6521711.164	505.954	B. Pav.
30	4380010.426	6521717.858	506.004	B. Pav.
31	4380009.886	6521725.879	506.044	B. Pav.
32	4380009.170	6521732.779	506.058	B. Pav.
33	4380008.440	6521741.628	506.096	B. Pav.
34	4380007.604	6521749.601	506.105	B. Pav.
35	4380007.120	6521757.612	506.163	B. Pav.
36	4380005.792	6521767.427	506.156	B. Pav.
37	4380005.384	6521777.564	506.147	B. Pav.
38	4380004.581	6521785.409	506.119	B. Pav.
39	4380003.962	6521793.571	506.171	B. Pav.
40	4380003.255	6521801.265	506.206	B. Pav.
41	4380003.059	6521804.977	506.214	B. Pav.
42	4380002.246	6521812.500	506.262	B. Pav.
43	4380001.715	6521819.089	506.304	B. Pav.
44	4380001.396	6521823.718	506.323	B. Pav.
45	4380000.690	6521832.285	506.356	B. Pav.
46	4379999.956	6521841.280	506.394	B. Pav.
47	4379999.049	6521850.077	506.419	B. Pav.
48	4379998.479	6521858.062	506.487	B. Pav.
49	4379997.737	6521866.342	506.507	B. Pav.
50	4379996.836	6521876.506	506.565	B. Pav.





Una vez quitado el material granular de la calicata se realizaba nuevamente el ensayo de determinación de densidad in-situ para la subrasante, una vez terminado el mismo se procedía a extraer aproximadamente unos 40 kilogramos de suelo para ser ensayado luego en laboratorio.

La tarea anteriormente descrita fue desarrollada en cada una de las 4 calicatas que han sido realizadas en dicho anteproyecto y el tiempo empleado para llevar a cabo esta tarea fue de 3 días.

En las figuras N°7 y, N°8 se puede observar el proceso de apertura y corte de pavimento flexible como la realización del ensayo del cono de arena en subrasante.

Figura N° 6. Apertura de Calicata



Figura N° 7. Corte de Pavimento



En la figura N°9 se observa la realización del ensayo del cono de arena para determinar la densidad in-situ de la subrasante.

Figura N°8. Realización de Ensayo de Cono de Arena.



La Tabla 2 resume la ubicación de las calicatas y los espesores medidos en ellas. En promedio, se registraron valores de 6.68 cm para la capa asfáltica y de 27.5 cm para la base granular. En este último caso, los espesores mostraron cierta variabilidad siendo el coeficiente de variación (CV) del 21.5%.

Las Figuras 10 a 13 muestran las calicatas y los valores medidos.

Tabla 2. Ubicación de calicatas y espesores de capa asfáltica.

Calicata	Ubicación		Espesor CA (cm)	Espesor BG (cm)
	Prog. (m)	Dist. al eje (m)		
C1	962.10	6.8 (Oeste)	7.0	24
C2	1409.70	7.3 (Este)	6.3	21
C3	1574.40	4.0 (Oeste)	7.0	32
C4	420.10	3.5 (Este)	6.4	33

Figura N° 9 Calicata N°1.

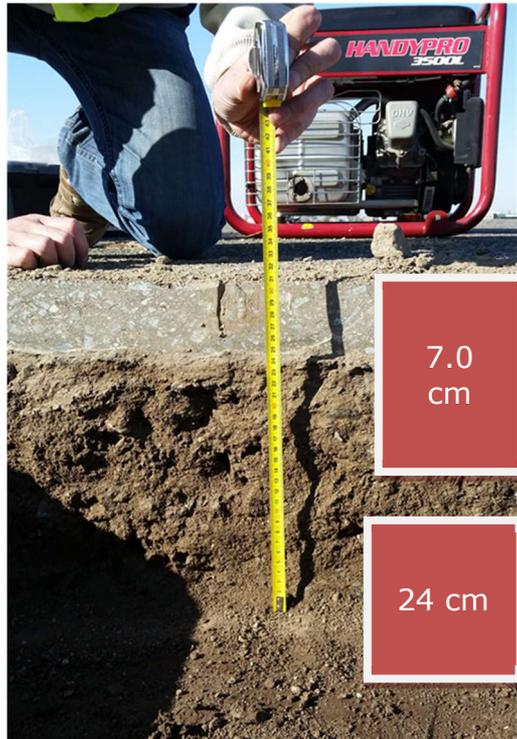


Figura N° 10. Calicata N°2.

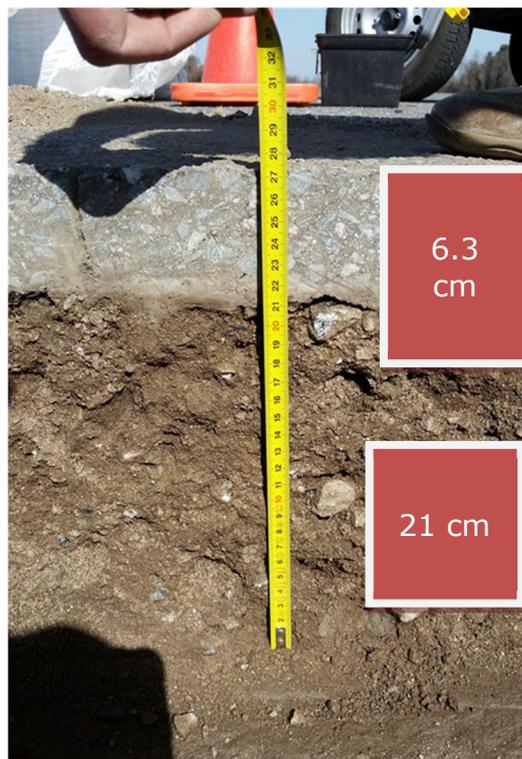


Figura N° 11. Calicata N°3.

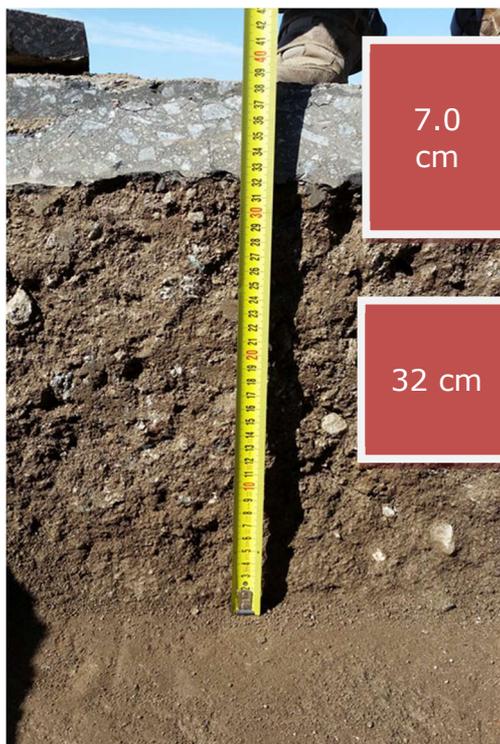
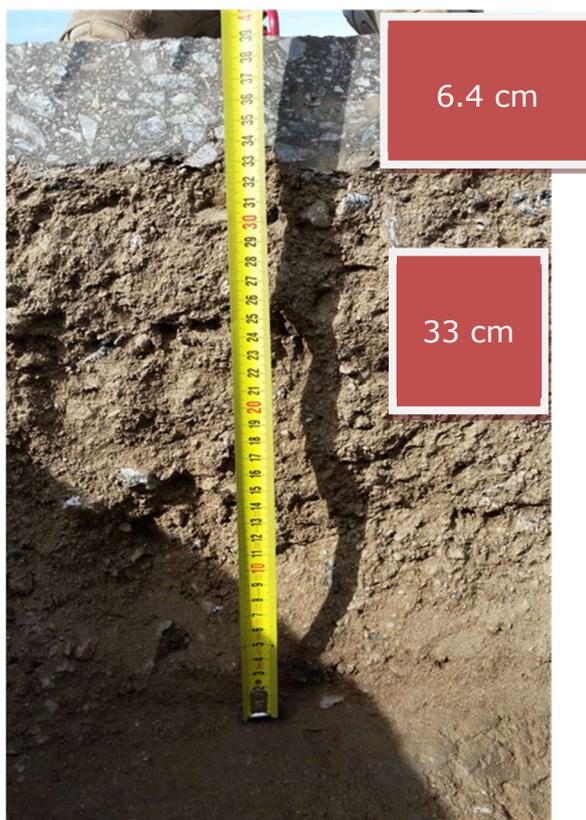


Figura N° 12. Calicata N°4.



## Resultados

En la Tabla 2 se resumen todos los resultados de los ensayos de densidad in situ de la Base.

Tabla 2. Resultados Ensayo Cono de Arena - Base.

Pozo Nº	Psh (gr)	Pss (gr)	Humedad in situ (%)	Arena inicial (gr)	Arena remanente (gr)	Constante cono (gr)	Arena pozo (gr)	Densidad arena (gr/cm <sup>3</sup> )	Volumen pozo (cm <sup>3</sup> )	Densidad in situ (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad máx. (gr/cm <sup>3</sup> )	Grado de comp. (%)
C1	4528	4290	5.5	7104	3188	1173	2743	1.350	2032	2.111	2.216	95.3
C2	2787	2646	5.3	4308	1385	1173	1750	1.350	1296	2.041	2.225	91.8
C3	3464	3268	6.0	4016	767	1173	2076	1.350	1538	2.125	2.225	95.5
C4	3860	3697	4.4	4383	848	1173	2362	1.350	1750	2.113	2.225	95.0

Los ensayos de densidad in-situ de la base arrojaron un valor in situ medio de 2.117 gr/cm<sup>3</sup> y un grado de compactación del 95.3%. Por considerárselo no representativo, dada la uniformidad de las densidades medidas en las calicatas C1, C3 y C4 y los resultados de los ensayos DCP en estos materiales, se descartó el valor determinado en C2 afectado posiblemente por alguna alteración durante el proceso de extracción de la capa asfáltica. Respecto a las humedades naturales, éstas estuvieron en promedio 1.5% por debajo de sus óptimas de compactación.

Tabla 3. Resultados Ensayo Cono de Arena - Subrasante.

Pozo Nº	Psh (gr)	Pss (gr)	Humedad in situ (%)	Arena inicial (gr)	Arena remanente (gr)	Constante cono (gr)	Arena pozo (gr)	Densidad arena (gr/cm <sup>3</sup> )	Volumen pozo (cm <sup>3</sup> )	Densidad in situ (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad máx. (gr/cm <sup>3</sup> )	Grado de comp. (%)
C1	2057	1695	21.4	3415	689	1173	1553	1.350	1150	1.473	1.758	83.8
C2	2237	1888	18.5	4147	1235	1173	1739	1.350	1288	1.466	1.782	82.3
C3	2497	2085	19.8	4005	1039	1173	1793	1.350	1328	1.570	1.782	88.1
C4	2356	1971	19.5	3486	600	1173	1713	1.350	1269	1.553	1.758	88.4

Los ensayos de densidad in situ realizados sobre la subrasante arrojaron un valor medio de 1.516 gr/cm<sup>3</sup> correspondiente a un grado de compactación (GC) del 85.6%. Las humedades naturales estuvieron en todos los casos por encima de sus humedades óptimas de compactación con diferencias que variaron entre un 1.9% y un 6.5%; la mayor diferencia se manifestó precisamente en la Calicata C1 ubicada en correspondencia con la zona más baja de la pista en donde se acumulan las aguas de lluvia, tampoco es que se encontró saturada la subrasante de dicha calicata ya que el ensayo fue realizado en el mes de agosto, antes del periodo de lluvia.

### 4.3.4 Extracción de testigos.

#### Introducción.

Para la verificación de espesores y la posterior realización de ensayos DCP se calaron en total quince testigos asfálticos. La ubicación de los testigos T1 a T11 se fijó aleatoriamente a lo largo de la pista distribuyéndose en forma de tresbolillo. Los restantes 4 testigos (T12 a T15) se extrajeron al costado de las calicatas C1 a C4 a fin de poder correlacionar los resultados de los ensayos DCP y los valores de CBR

obtenidos en laboratorio con la menor alteración posible de las capas. La Figura 14 muestra la extracción del testigo T14 sobre el costado “este” de la calicata C3.

Figura N°13. Extracción de Testigo 14



#### Tareas en campo.

Los testigos T1 a T11 fueron extraídos en un día de campaña mediante la utilización de la extractora perteneciente al Laboratorio Vial de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (U.N.C.); la tarea se realizó con rapidez y sencillez gracias a la facilidad de manejo de la extractora. Dicha extractora fue llevada a FAdeA en su correspondiente remolque en el cual también viajaba un tanque para almacenar agua con capacidad de 200 litros, dicho tanque fue llenado en el cuartel de Bomberos de FAdeA.

Ya listo el equipo para hacer la tarea se procedió a transportar el remolque con el equipamiento a la pista; una vez llegado al lugar, que los Ingenieros Tanco y Rico decidían que era el apropiado para realizar la extracción, se procedía a bajar la extractora del remolque y se colocaba en posición para comenzar con la extracción, antes de comenzar la extracción se procedía a abrir el paso de agua que salía del tanque de agua para permitir el lubricado y evitar el sobrecalentamiento de los dientes de la broca. La apertura del paso de agua no debía ser excesivo porque iba a alterar el grado de compactación de la base granular y el ensayo DCP no iba a brindar resultados verdaderos del estado actual de dicha capa.

Cuando se terminaba de cortar el pavimento flexible se procedía a la extracción manual de los testigos y posteriormente se cargaba la extractora al remolque y nos desplazábamos hacia el siguiente lugar para llevar a cabo las tareas descriptas anteriormente.

Una vez terminada la tarea la extractora era guardada en el cuartel de bomberos de FAdeA donde permaneció hasta la utilización para la extracción de los testigos T12 al T15.

En las figuras N°15 y N°16 se puede observar el proceso de extracción de testigos T1 y T10.

Figura N° 14. Extracción de testigo 1.



Figura N° 15. Extracción de testigo 10.



Resultados.

Los testigos fueron remitidos al laboratorio en donde se les determinó el espesor y la densidad (según VN-E-12-67). Omitiendo los valores correspondientes a T10 y T11, por ser extraídos en zonas de bacheo, el espesor promedio fue de 5.85 cm, con un CV de 15%, un mínimo de 4.24 cm y un máximo de 7.38 cm. Con la misma consideración, la densidad promedio fue de 2.26 gr/cm<sup>3</sup>, con un CV de 1.6%, un mínimo de 2.195 gr/cm<sup>3</sup> y un máximo de 2.326 gr/cm<sup>3</sup>.

Las progresivas de extracción se detallan en la Tabla 4 junto con los espesores y densidades medidas.

Tabla 4. Espesor de Testigos Asfálticos.

Probeta	Fecha	Peso de la probeta (gr)		Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso unitario máximo (gr/cm <sup>3</sup> )	Grado de compactación (%)	Espesor de la probeta (cm)			Espesor (cm)
		Seco	Saturado					Espesor 1	Espesor 2	Espesor 3	
1	20/08	1100		473	2.326			6.02	6.27	6.23	6.17
2	20/08	1061		471	2.253			6.06	6.24	6.11	6.14
3	20/08	1137		506	2.247			6.31	6.33	6.36	6.33
4	20/08	1163		506	2.298			6.29	6.39	6.31	6.33
5	20/08	796		349	2.281			4.51	4.56	4.53	4.53
6	20/08	801		365	2.195			4.39	4.22	4.12	4.24
7	20/08	1445		628	2.301			7.25	7.46	7.43	7.38
8	20/08	1112		493	2.256			5.87	5.93	6.00	5.93
9	20/08	1127		505	2.232			6.52	6.47	6.07	6.35
10	20/08	1919		803	2.390			9.95	10.00	10.04	10.00
11	20/08	1359		597	2.276			7.42	7.41	7.42	7.42
12	12/09	1024		451	2.271			5.40	5.55	5.68	5.54
13	12/09	903		399	2.263			5.05	4.84	4.82	4.90
14	12/09	1185		525	2.257			6.67	6.56	6.66	6.63
15	12/09	972		441	2.204			5.37	5.68	5.71	5.59

Tabla 5. Ubicación, Espesor y Densidad de Testigos Asfálticos.

Testigo	Ubicación		Espesor (cm)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Observaciones
	Prog. (m)	Dist. al eje (m)			
T1	42.4	1.6 (Oeste)	6.17	2.326	
T2	255.9	9.7 (Este)	6.14	2.253	
T3	501.8	9.6 (Oeste)	6.33	2.247	
T4	692.8	1.1 (Oeste)	6.33	2.298	
T5	905.2	9.5 (Este)	4.53	2.281	
T6	1112.0	4.3 (Este)	4.24	2.195	
T7	1287.1	10.4 (Oeste)	7.38	2.301	
T8	1469.2	10.5 (Este)	5.93	2.256	
T9	1623.7	3.7 (Oeste)	6.35	2.232	
T10	1504.6	0.8 (Oeste)	10.00	2.390	Extraído en zona de bacheo
T11	1235.5	2.8 (Este)	7.42	2.276	Extraído en zona de bacheo
T12	962.1	6.8 (Oeste)	5.54	2.271	Extraído al costado de calicata C1
T13	1409.7	7.3 (Este)	4.90	2.263	Extraído al costado de calicata C2
T14	1574.4	4.0 (Oeste)	6.63	2.257	Extraído al costado de calicata C3
T15	420.1	3.5 (Este)	5.59	2.204	Extraído al costado de calicata C4

En las figuras N°17, N°18 y N°19 se pueden observar los espesores de los testigos T1, T6 y T11.

Figura N° 16. Testigo T1.



Figura N° 17. Testigo T6.



Figura N° 18. Testigo T11.



#### **4.3.5 Ensayos DCP.**

##### Introducción.

En los orificios dejados por los testigos se realizaron ensayos DCP (Penetrómetro Dinámico de Cono) hasta una profundidad aproximada de 80 cm. Este ensayo permite, además de estimar los espesores de materiales con comportamiento similar, obtener una tasa de penetración (DN) que puede ser relacionada con el Valor Soporte Relativo de material como medida indirecta de su resistencia.

### Tareas en campo.

Los ensayos han sido desarrollados el día siguiente a la extracción del testigo respectivo. Dicho ensayo consiste en determinar la penetración lograda por un cono de 20 mm de diámetro con 60° de ángulo de ataque, que remata una barra de acero de 16 mm de diámetro, hincado mediante impactos de un martillo de 8 kg de peso que cae libremente desde una altura de 575 mm.

Para la realización del ensayo fue necesario la utilización de dos personas donde una realizaba los impactos de martillo para lograr la penetración del cono y la otra tomaba lectura de la tasa de penetración para una cantidad de golpes determinados, en nuestro caso se tomaba lectura cada 5 golpes y si la tasa de penetración era elevada, generalmente en la subrasante, se tomaba lectura en un intervalo de 3 golpes.

La tarea de campo se desarrolló en dos etapas, primeramente, se hicieron el ensayo en los testigos 1 al 11. El tiempo necesario para ello fue de un día de campo.

Posteriormente se realizaron los ensayos en los testigos 12 al 15 cuyo tiempo de realización fue de una mañana en campo.

### Resultados.

Los datos obtenidos en campo fueron procesados con el software UK DCP 3.1. Los resultados se resumen en la Tabla 4.

El espesor promedio de la base fue de 26.8 cm, con un coeficiente de variación de 19.9%. Ambos valores resultaron consistentes con los medidos en las calicatas (27.5 cm y 21.5% respectivamente).

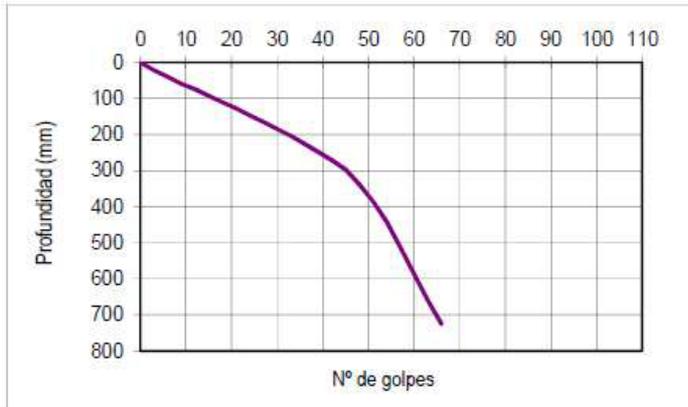
Por su parte, la tasa de penetración promedio fue de 6.1 mm/golpe para la base y de 21.5 mm/golpe para la subrasante. En este último caso, se descartó la tasa de penetración registrada en el testigo T13 por considerarse inconsistente debido a algún error de lectura.

Finalmente, si se consideran en forma separada los resultados obtenidos en los testigos T1 a T11 de aquellos obtenidos al costado de las calicatas (T12 a T15) la tasa de penetración media resulta 5.9 mm/golpe y 21.4 mm/golpe para la base y subrasante respectivamente para el primer caso y 6.9 mm/golpe y 21.4 mm/golpe respectivamente para el segundo.

A continuación, se muestra en la Figura N°19 los resultados obtenidos para el ensayo de DCP realizado en el lugar de extracción del testigo T1.

Figura N° 19. Resultados de DCP en Testigo T1.

Golpes	Prof. (mm)	DN (mm/g)
0	0	0
3	22	7.3
3	40	6.0
3	59	6.3
3	75	5.3
3	93	6.0
3	111	6.0
3	128	5.7
3	147	6.3
3	165	6.0
3	185	6.7
3	204	6.3
3	226	7.3
3	248	7.3
3	271	7.7
3	297	8.7
3	338	13.7
3	385	15.7
3	441	18.7
3	512	23.7
3	586	24.7
3	660	24.7
3	726	22.0



Resumen:

Capa	Espesor (mm)	DN (mm/g)
1	324	6.3
2	429	23.7
3		

En la tabla N°6 se observan los resultados obtenidos en el Ensayo DCP.

Tabla 6. Resultados de ensayos DCP.

Testigo	Ensayos in situ		
	Base		Subrasante
	Espesor (cm)	DCP (mm/g)	DCP (mm/g)
T1	32.4	6.3	23.7
T2	22.9	8.9	22.7
T3	25.9	5.0	24.4
T4	29.3	5.1	16.2
T5	23.9	5.9	18.4
T6	22.5	6.1	17.4
T7	21.4	4.9	15.7
T8	17.3	8.0	34.4
T9	34.9	5.6	20.7
T10	26.2	3.3	22.8
T11	33.4	5.7	19.9
T12	23.2	6.6	19.0
T13	23.7	7.5	13.4*
T14	33.7	7.9	22.7
T15	31.2	5.4	22.5

#### 4.4 Pruebas al Suelo.

##### 4.4.1 GRANULOMETRÍA:

En el caso del anteproyecto realizado se hicieron dos ensayos para determinar la Granulometría, ellos fueron:

- Para materiales de Subrasante: **Tamizado de suelos por vía húmeda (VN-E1-65).**

El objeto de la Norma citada anteriormente busca establecer la distribución porcentual de las partículas finas de un suelo, o fracción fina de un material granular, de tamaño inferior a los tamices IRAM 2,0 mm (Nº 10), IRAM 425 micrómetros (Nº 40) e IRAM 75 micrómetros (Nº 200).

- Para materiales de Base: **Análisis mecánico de materiales granulares (VN-E7-65).**

El objeto de la Norma citada anteriormente busca establecer la distribución porcentual de las partículas que componen un material granular, en función de su tamaño y dibujar la curva representativa del mismo.

Existen dos tipos de Granulometrías que son:

- Abierta: por lo general el material está compuesto por un solo tamaño.
- Cerrada: cuando el material tiene un tamaño máximo y mínimo.

Una vez obtenidos los resultados del análisis mecánico se los representa sobre una tabla semilogarítmica, por una curva llamada Granulométrica, en dicha curva se representan los valores de porcentajes pasantes en ordenadas con una escala aritmética y abertura de tamiz en abscisas con una escala logarítmica.

Según la forma de la curva granulométrica, se van a tener distintos comportamientos. La permeabilidad del suelo, su trabajabilidad y resistencia estarán en función de la forma de la curva.

Las curvas granulométricas pueden ser:

- a) Curva de Máxima Compacidad: Curva bien graduada, es decir existen todos los tamaños de partículas.
- b) Abierta: esta se da cuando no existen tamaños de agregado.
- c) Uniforme: ésta se da cuando existe un solo tamaño de partícula.

A continuación, se muestran y analizan los resultados obtenidos para cada material de las 4 calicatas realizadas in-situ.

- Material de Base:

- a) CALICATA N°1.

En la tabla 7 y en la figura N° 21 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°1.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Análisis Mecánico de Materiales Granulares (VN-E7-65)**”.

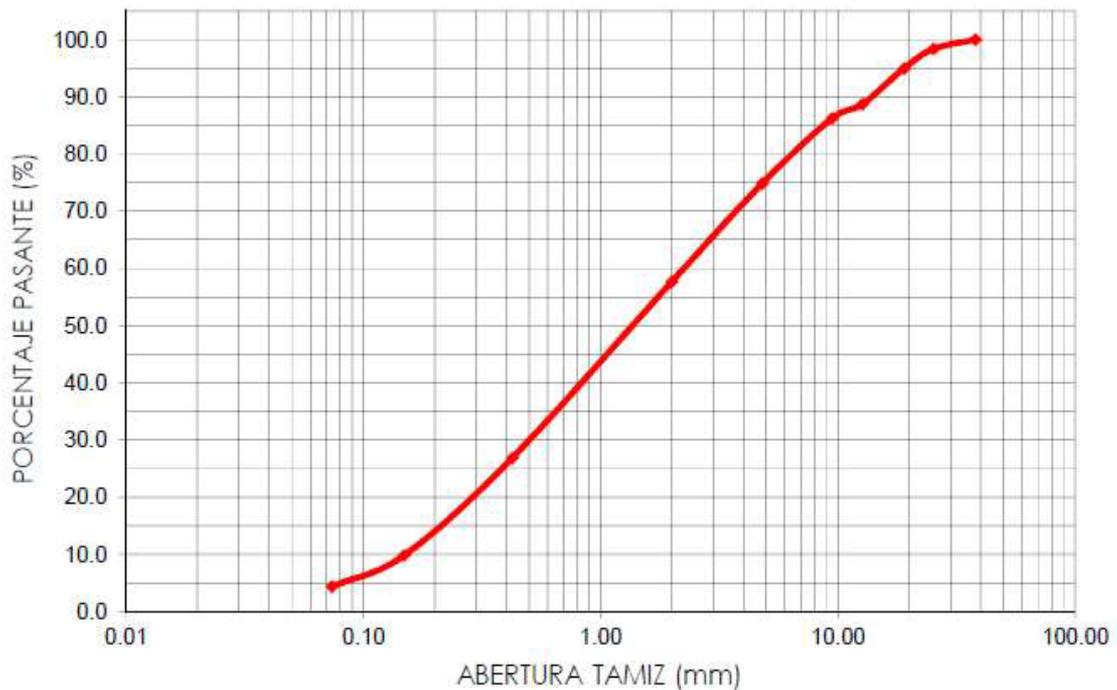
Tabla 7. Ensayo de Granulometría "B1"

Total material ensayado:	8829 gr.
Red. pasante tamiz N°4:	1633 gr.

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
1 1/2"	38.100	0	0	8829	0.0	100.0
1"	25.400	143	143	8686	1.6	98.4
3/4"	19.050	298	441	8388	5.0	95.0
1/2"	12.700	558	999	7830	11.3	88.7
3/8"	9.500	212	1211	7618	13.7	86.3
N°4	4.800	1012	2223	6606	25.2	74.8
N°10	2.000	374	3736	5093	42.3	57.7
N°40	0.425	673	6458	2371	73.2	26.8
N°100	0.149	371	7959	870	90.1	9.9
N°200	0.074	119	8441	388	95.6	4.4

Figura N° 20. Curva Granulométrica B1

CURVA ACUMULATIVA DE TAMAÑO DE PARTICULAS



b) CALICATA N°2

En la tabla 8 y en la figura N° 22 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°2.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Análisis Mecánico de Materiales Granulares (VN-E7-65)**”

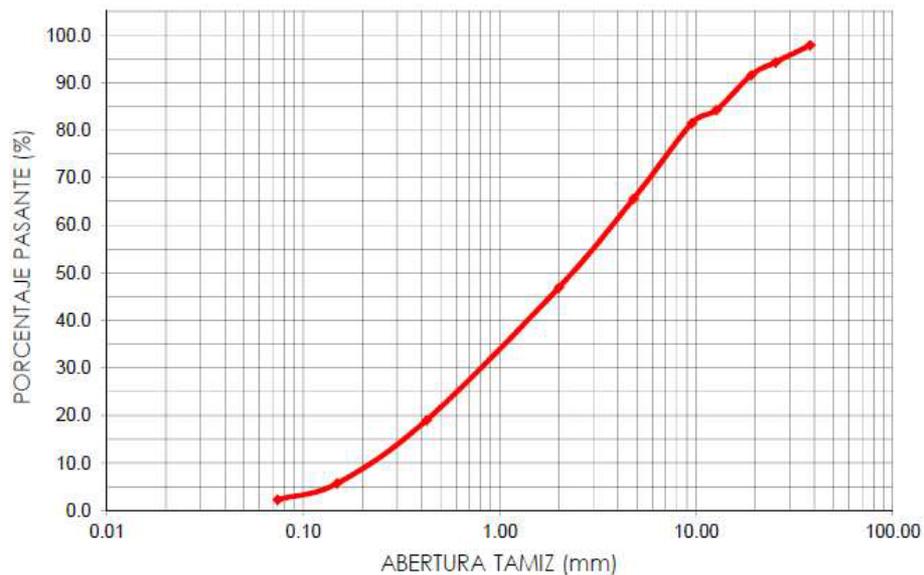
Tabla 8. Ensayo de Granulometría B2

Total material ensayado:	5920 gr
Red. pasante tamiz N°4:	1148 gr

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
1 1/2"	38.100	127	127	5793	2.1	97.9
1"	25.400	210	337	5583	5.7	94.3
3/4"	19.050	163	500	5420	8.4	91.6
1/2"	12.700	434	934	4986	15.8	84.2
3/8"	9.500	164	1098	4822	18.5	81.5
N°4	4.800	941	2039	3881	34.4	65.6
N°10	2.000	327	3144	2776	53.1	46.9
N°40	0.425	488	4794	1126	81.0	19.0
N°100	0.149	233	5582	338	94.3	5.7
N°200	0.074	60	5785	135	97.7	2.3

Figura N° 21. Curva Granulométrica B2

CURVA ACUMULATIVA DE TAMAÑO DE PARTICULAS



c) CALICATA N°3.

En la tabla 9 y en la figura N° 23 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°3.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Análisis Mecánico de Materiales Granulares (VN-E7-65)**”.

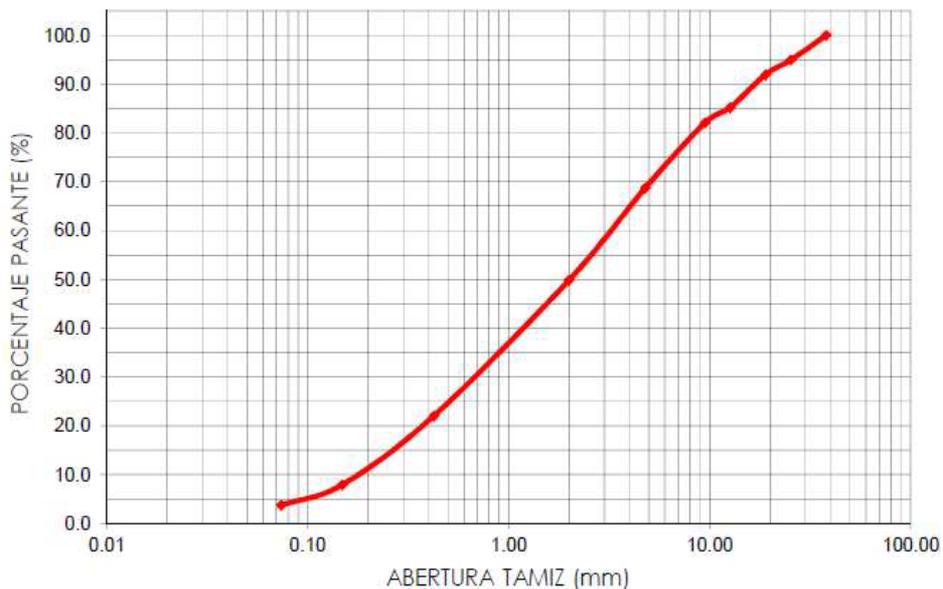
Tabla 9. Ensayo de Granulometría B3

Total material ensayado:	7490 gr
Red. pasante tamiz N°4:	1195 gr.

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
1 1/2"	38.100	0	0	7490	0.0	100.0
1"	25.400	377	377	7113	5.0	95.0
3/4"	19.050	223	600	6890	8.0	92.0
1/2"	12.700	505	1105	6385	14.8	85.2
3/8"	9.500	237	1342	6148	17.9	82.1
N°4	4.800	997	2339	5151	31.2	68.8
N°10	2.000	329	3757	3733	50.2	49.8
N°40	0.425	483	5839	1651	78.0	22.0
N°100	0.149	245	6895	595	92.1	7.9
N°200	0.074	73	7210	280	96.3	3.7

Figura N° 22. Curva Granulométrica B3

CURVA ACUMULATIVA DE TAMAÑO DE PARTICULAS



d) CALICATA N°4.

En la tabla 10 y en la figura N° 24 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°4.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Análisis Mecánico de Materiales Granulares (VN-E7-65)**”

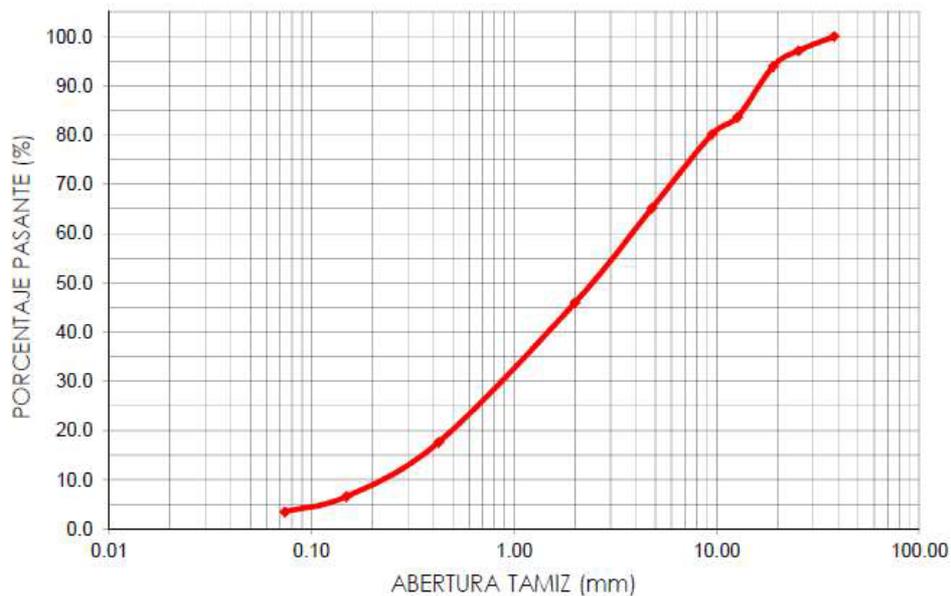
Tabla 10. Ensayo de Granulometría B4

Total material ensayado:	6239 gr
Red. pasante tamiz N°4:	2104 gr

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
1 1/2"	38.100	0	0	6239	0.0	100.0
1"	25.400	179	179	6060	2.9	97.1
3/4"	19.050	197	376	5863	6.0	94.0
1/2"	12.700	644	1020	5219	16.3	83.7
3/8"	9.500	218	1238	5001	19.8	80.2
N°4	4.800	935	2173	4066	34.8	65.2
N°10	2.000	621	3373	2866	54.1	45.9
N°40	0.425	914	5139	1100	82.4	17.6
N°100	0.149	356	5827	412	93.4	6.6
N°200	0.074	100	6021	218	96.5	3.5

Figura N° 23. Curva Granulométrica B4

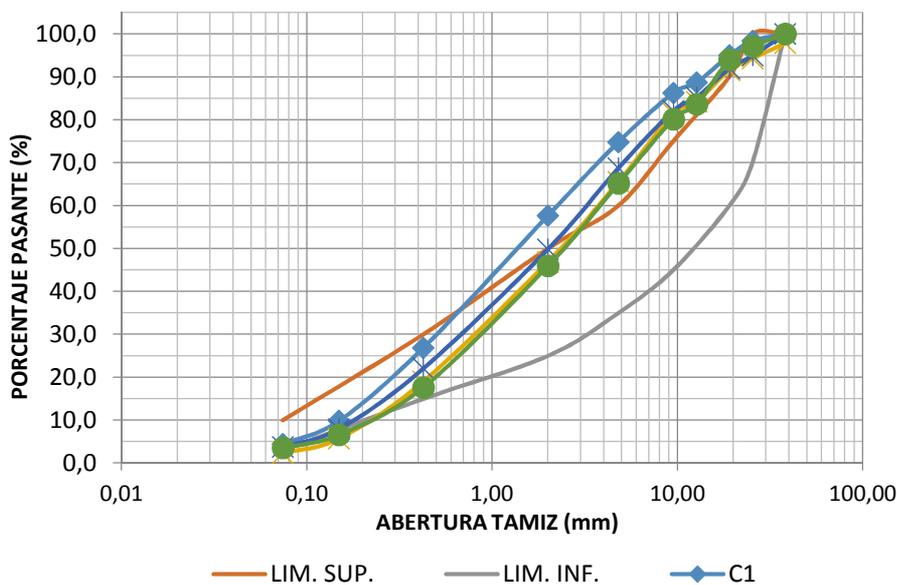
CURVA ACUMULATIVA DE TAMAÑO DE PARTICULAS



En función de los resultados expuestos anteriormente de los cuatro materiales ensayados se puede apreciar que la muestra de la Calicata N°1 presentó una granulometría ligeramente más fina que las restantes.

En la Figura 25 se grafican las curvas granulométricas de las muestras ensayadas junto con el entorno especificado por la DNV para bases granulares. Se manifiesta en general un faltante de tamaños intermedios, como 1/2" y 3/8", y bajo contenido de finos, en base a esto podemos clasificar a las cuatro curvas granulométricas de la base como **NO UNIFORME**.

Figura N° 24. Curva Granulométrica Resumen de Base



- Material de Subrasante:

- a) CALICATA N°1.

En la tabla 11 y en la figura N° 26 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°1.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “Análisis Mecánico de Materiales Granulares (VN-E7-65)” y “Tamizado de suelos por vía húmeda (VN-E1-65)”.

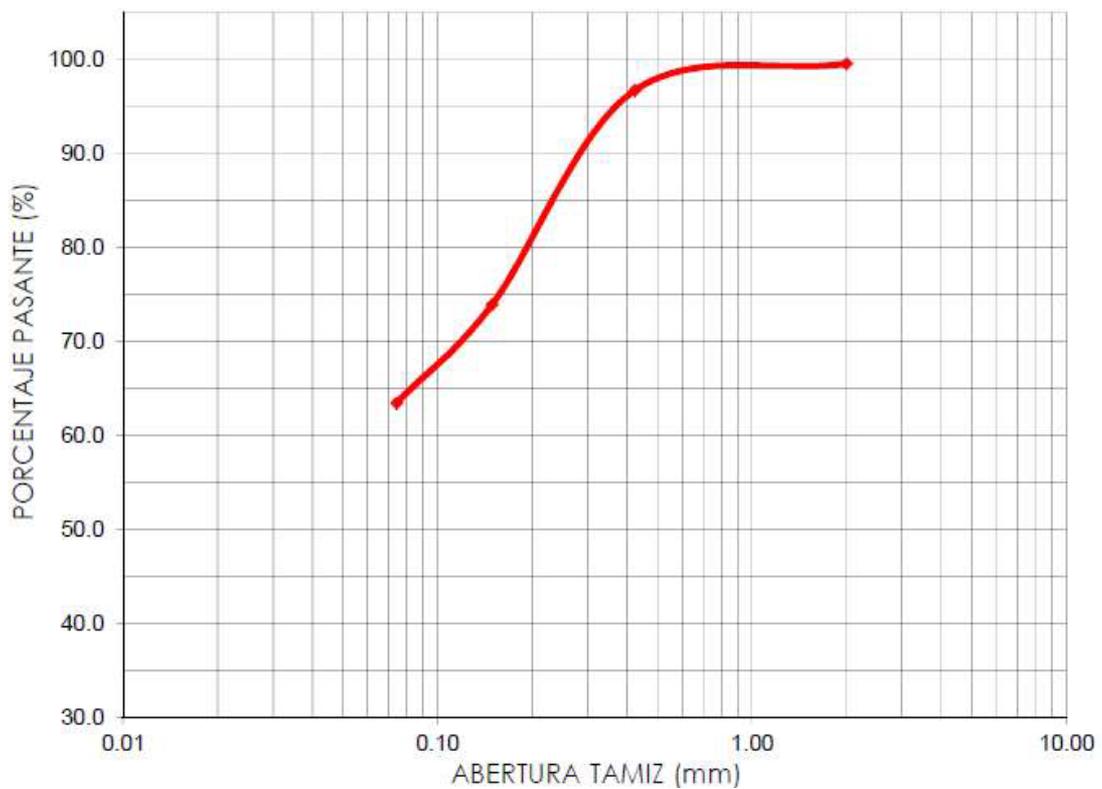
Tabla 11. Ensayo de Granulometría S1

Total material ensayado:	679 gr
--------------------------	--------

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
N°10	2.000	3	3	676	0.4	99.6
N°40	0.425	19	22	657	3.2	96.8
N°100	0.149	155	177	502	26.1	73.9
N°200	0.074	71	248	431	36.5	63.5

Figura N° 25. Curva Granulométrica S1

CURVA ACUMULATIVA DE TAMAÑO DE PARTICULAS



b) CALICATA N°2.

En la tabla 12 y en la figura N° 27 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°2.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “Análisis Mecánico de Materiales Granulares (VN-E7-65)” y “Tamizado de suelos por vía húmeda (VN-E1-65)”.

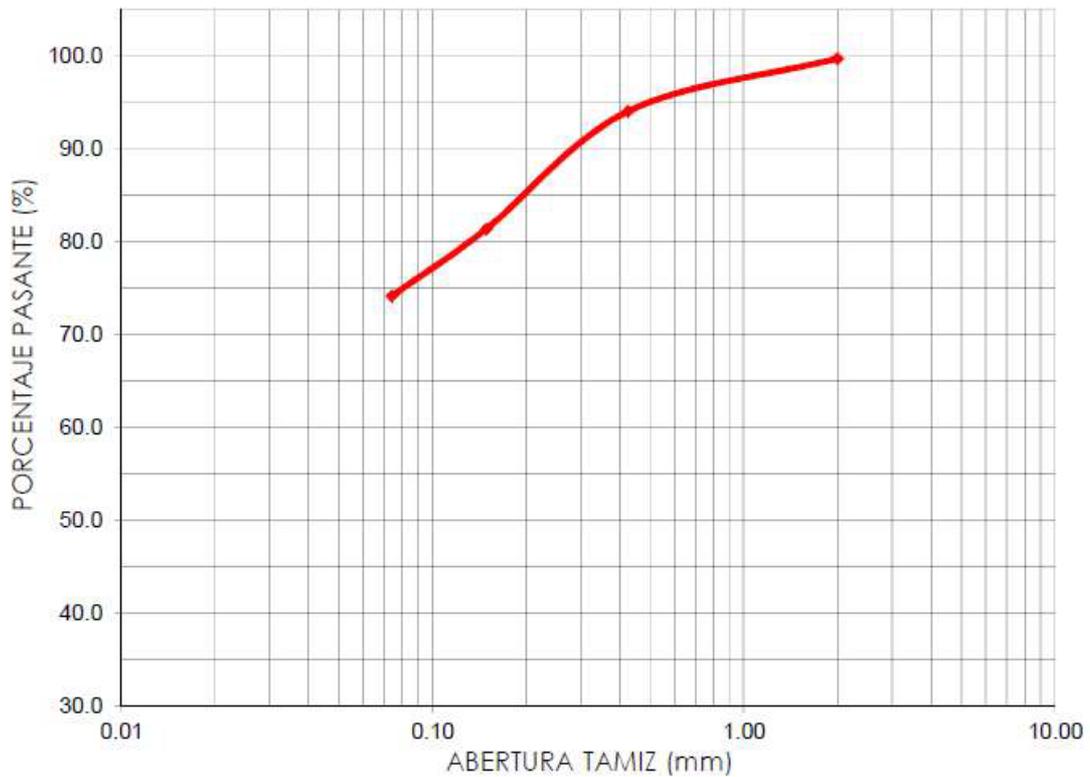
Tabla 12. Ensayo de Granulometría S2

Total material ensayado:	387 gr
--------------------------	--------

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
N°10	2.000	1	1	386	0.3	99.7
N°40	0.425	22	23	364	5.9	94.1
N°100	0.149	49	72	315	18.6	81.4
N°200	0.074	28	100	287	25.8	74.2

Figura N° 26. Curva Granulométrica S2

CURVA ACUMULATIVA DE TAMAÑO DE PARTICULAS



c) CALICATA N°3.

En la tabla 13 y en la figura N° 28 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°3.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “Análisis Mecánico de Materiales Granulares (VN-E7-65)” y “Tamizado de suelos por vía húmeda (VN-E1-65)”.

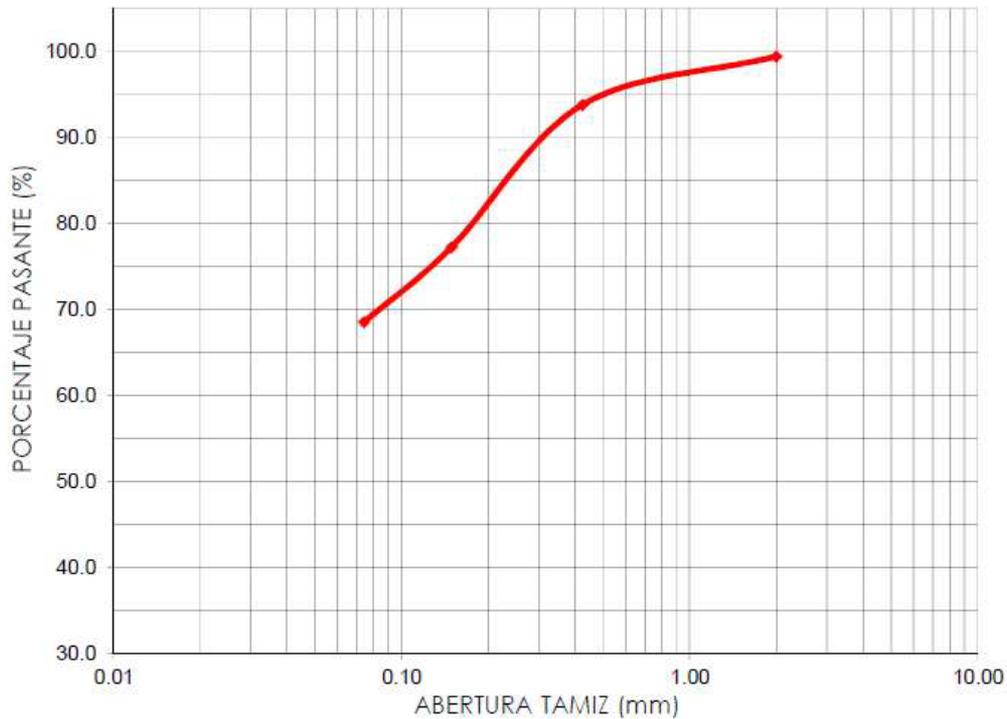
Tabla 13. Ensayo de Granulometría S3

Total material ensayado:	356 gr
--------------------------	--------

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
N°10	2.000	2	2	354	0.6	99.4
N°40	0.425	20	22	334	6.2	93.8
N°100	0.149	59	81	275	22.8	77.2
N°200	0.074	31	112	244	31.5	68.5

Figura N° 27. Curva Granulométrica S3

CURVA ACUMULATIVA DE TAMAÑO DE PARTICULAS



d) CALICATA N°4.

En la tabla 14 y en la figura N° 29 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°4.

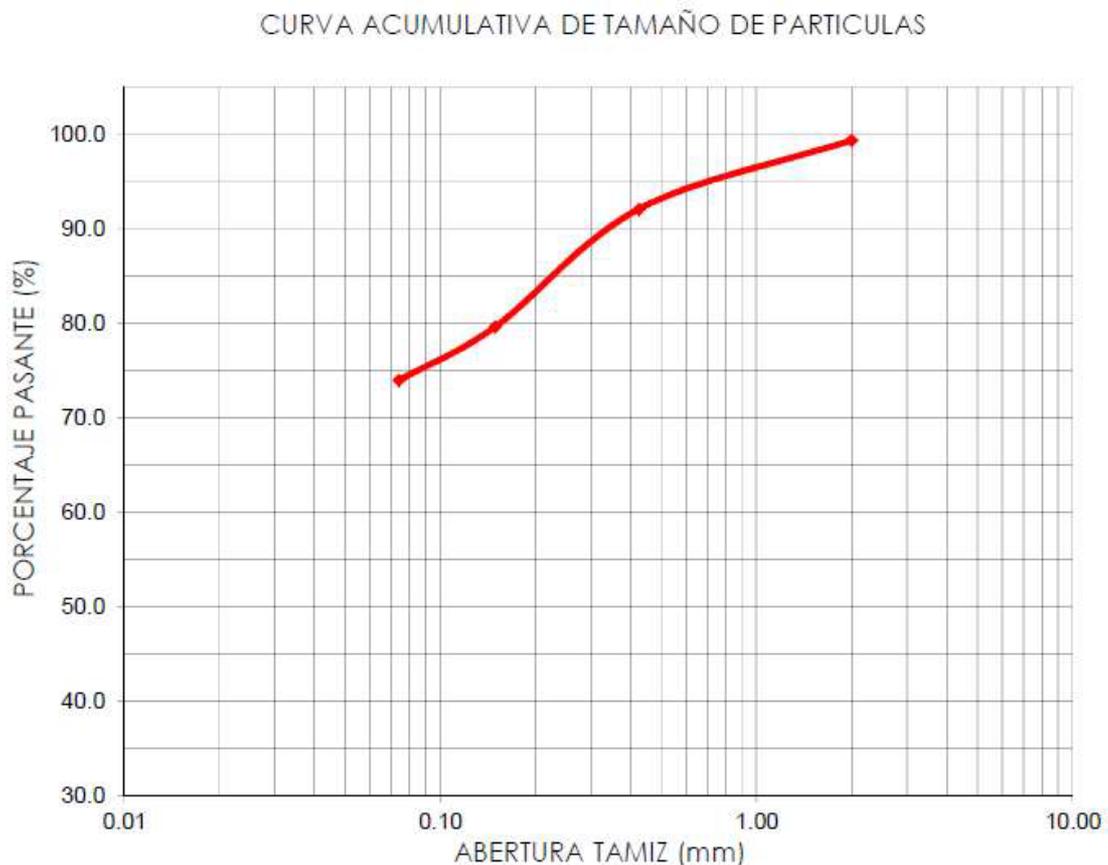
Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “Análisis Mecánico de Materiales Granulares (VN-E7-65)” y “Tamizado de suelos por vía húmeda (VN-E1-65)”.

Tabla 14. Ensayo de Granulometría S4

Total material ensayado:	673 gr
--------------------------	--------

Tamiz	Abertura tamiz (mm)	Peso retenido (gr.)	Peso retenido acumulado (gr.)	Peso pasante (gr.)	Retenido (%)	Pasante (%)
N°10	2.000	4	4	669	0.6	99.4
N°40	0.425	49	53	620	7.9	92.1
N°100	0.149	84	137	536	20.4	79.6
N°200	0.074	38	175	498	26.0	74.0

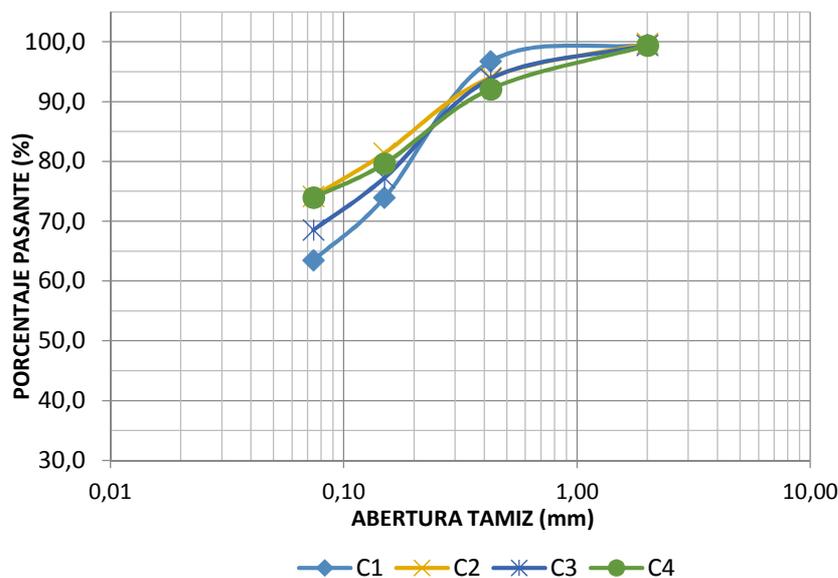
Figura N° 28. Curva Granulométrica S4



En función de los resultados expuestos anteriormente de los cuatro materiales ensayados se puede apreciar que el material de la Calicata N°1 y N°3 presentan un porcentaje menor de pasante por tamiz N° 200 y sus curvas pueden ser clasificadas como **UNIFORME**; a su vez el material de la Calicata N°2 y N°4 presentan un porcentaje mayor de pasante por tamiz N° 200 y sus curvas pueden ser clasificadas como **UNIFORME**.

En la Figura 30 se grafican las curvas granulométricas de las muestras ensayadas.

Figura N° 29. Curva Granulométrica Resumen Subrasante



#### 4.4.2 LÍMITE LÍQUIDO (VN - E2 - 65)

Podemos definir al Límite Líquido como el contenido de humedad, expresado en por ciento del peso del suelo seco, existente en un suelo en el límite entre el estado plástico y el estado líquido del mismo; o como el contenido de humedad necesario para que las dos mitades de una pasta de suelo de 1 cm. de espesor fluya y se unan en una longitud de 12 mm., aproximadamente, en el fondo de la muesca que separa las dos mitades, cuando la cápsula que la contiene golpea 25 veces desde una altura de 1 cm., a la velocidad de 2 golpes por segundo.

- Material de Base:

a) CALICATA N°1.

A continuación, en la tabla 15 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°1.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Líquido (VN-E2-65)**”.

Tabla 15. Determinación de Límite Líquido B1

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
N° de golpes	27		
Pf (gr):	17.90		
Pf + Psh (gr):	33.30		
Pf + Pss (gr):	30.30		
Pss (gr):	12.40		
Pa (gr):	3.00		
Humedad (%):	24.2		
Límite de consistencia:	24.4		
Límite de consistencia:		24.4	

b) CALICATA N°2.

A continuación, en la tabla 16 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°2.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Líquido (VN-E2-65)**”.

Tabla 16. Determinación de Límite Líquido B2

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
N° de golpes	23		
Pf (gr):	16.30		
Pf + Psh (gr):	37.40		
Pf + Pss (gr):	33.30		
Pss (gr):	17.00		
Pa (gr):	4.10		
Humedad (%):	24.1		
Límite de consistencia:	23.9		
Límite de consistencia:	23.9		

c) CALICATA N°3.

A continuación, en la tabla 17 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°3.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Líquido (VN-E2-65)**”.

Tabla 17. Determinación de Límite Líquido B3

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
N° de golpes	20		
Pf (gr):	15.60		
Pf + Psh (gr):	31.50		
Pf + Pss (gr):	28.20		
Pss (gr):	12.60		
Pa (gr):	3.30		
Humedad (%):	26.2		
Límite de consistencia:	25.5		
Límite de consistencia:	25.5		

d) CALICATA N°4.

A continuación, en la tabla 18 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°4.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Líquido (VN-E2-65)**”.

Tabla 18. Determinación de Límite Líquido B4

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
N° de golpes	22		
Pf (gr):	17.10		
Pf + Psh (gr):	38.60		
Pf + Pss (gr):	34.20		
Pss (gr):	17.10		
Pa (gr):	4.40		
Humedad (%):	25.7		
Límite de consistencia:	25,3		
Límite de consistencia:		25,3	

- Material de Subrasante:

a) CALICATA N°1.

A continuación, en la tabla 19 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°1.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Líquido (VN-E2-65)**”.

Tabla 19. Determinación de Límite Líquido S1

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
N° de golpes	23		
Pf (gr):	17.40		
Pf + Psh (gr):	31.60		
Pf + Pss (gr):	28.20		
Pss (gr):	10.80		
Pa (gr):	3.40		
Humedad (%):	31.5		
Límite de consistencia:	31.2		
Límite de consistencia:		31.2	

b) CALICATA N°2.

A continuación, en la tabla 20 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°2.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Líquido (VN-E2-65)**”.

Tabla 20. Determinación de Límite Líquido S2

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
N° de golpes	30		
Pf (gr):	16.60		
Pf + Psh (gr):	38.00		
Pf + Pss (gr):	32.70		
Pss (gr):	16.10		
Pa (gr):	5.30		
Humedad (%):	32.9		
Límite de consistencia:	33.7		
Límite de consistencia:		33.7	

c) CALICATA N°3.

A continuación, en la tabla 21 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°3.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Líquido (VN-E2-65)**”.

Tabla 21. Determinación de Límite Líquido S3

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
N° de golpes	25		
Pf (gr):	16.30		
Pf + Psh (gr):	34.60		
Pf + Pss (gr):	30.10		
Pss (gr):	13.80		
Pa (gr):	4.50		
Humedad (%):	32.6		
Límite de consistencia:	32.6		
Límite de consistencia:		32.6	

d) CALICATA N°4.

A continuación, en la tabla 22 se puede observar el resultado obtenido del trabajo realizado en laboratorio sobre el material extraído en la Calicata N°4.

Estos resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Líquido (VN-E2-65)**”.

Tabla 22. Determinación de Límite Líquido S4

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite líquido	Límite líquido	Límite líquido
N° de golpes	22		
Pf (gr):	16.70		
Pf + Psh (gr):	41.60		
Pf + Pss (gr):	35.80		
Pss (gr):	19.10		
Pa (gr):	5.80		
Humedad (%):	30.4		
Límite de consistencia:	29.9		
Límite de consistencia:		29.9	

#### 4.4.3 LÍMITE PLÁSTICO (VN - E3 – 65)

Podemos definir al Límite Plástico como el contenido de humedad existente en un suelo, expresado en por ciento del peso de suelo seco, en el límite entre el estado plástico y el estado sólido del mismo.

Este límite se define arbitrariamente como el más bajo contenido de humedad con el

cual el suelo comienza a agrietarse cuando las barritas alcanzan a tener 3 mm. de diámetro.

A continuación, se detallan los valores obtenidos en laboratorio.

Como el material de la Base es granular éste no posee plasticidad por lo tanto de la tabla 23 a 26 se observan los límites plásticos y el Índice de Plasticidad correspondiente a las cuatro muestras de suelo de la subrasante.

a) CALICATA N°1.

Los resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Plástico – Índice de Plasticidad (VN-E3-65)**”.

Tabla 23. Determinación de Límite Plástico - Índice de Plasticidad S1

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite plástico	Límite plástico	Límite plástico
Pf (gr):	16.70		
Pf + Psh (gr):	36.50		
Pf + Pss (gr):	33.00		
Pss (gr):	16.30		
Pa (gr):	3.50		
Humedad (%):	21.5		
Límite de consistencia:	21.5		
Límite de consistencia:		21.5	
Índice de Plasticidad:		9.7	

b) CALICATA N°2.

Los resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Plástico – Índice de Plasticidad (VN-E3-65)**”.

Tabla 24. Determinación de Límite Plástico - Índice de Plasticidad S2

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite plástico	Límite plástico	Límite plástico
Pf (gr):	16.70		
Pf + Psh (gr):	35.50		
Pf + Pss (gr):	32.30		
Pss (gr):	15.60		
Pa (gr):	3.20		
Humedad (%):	20.5		
Límite de consistencia:	20.5		
Límite de consistencia:		20.5	
Índice de Plasticidad:		13.2	

c) CALICATA N°3.

Los resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Plástico – Índice de Plasticidad (VN-E3-65)**”.

Tabla 25. Determinación de Límite Plástico- Índice de Plasticidad S3

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite plástico	Límite plástico	Límite plástico
Pf (gr):	18.00		
Pf + Psh (gr):	37.90		
Pf + Pss (gr):	34.40		
Pss (gr):	16.40		
Pa (gr):	3.50		
Humedad (%):	21.3		
Límite de consistencia:	21.3		
Límite de consistencia:		21.3	
Índice de Plasticidad:		11.3	

d) CALICATA N°4.

Los resultados fueron obtenidos siguiendo los lineamientos de la Norma de Vialidad Nacional “**Límite Plástico – Índice de Plasticidad (VN-E3-65)**”.

Tabla 26. Determinación de Límite Plástico - Índice de Plasticidad S4

MUESTRA: Pasante Tamiz N°40

Determinación	Límite plástico	Límite plástico	Límite plástico
Pf (gr):	16.50		
Pf + Psh (gr):	34.80		
Pf + Pss (gr):	31.40		
Pss (gr):	14.90		
Pa (gr):	3.40		
Humedad (%):	22.8		
Límite de consistencia:	22.8		
Límite de consistencia:		22.8	
Índice de Plasticidad:		7.1	

#### 4.4.4 CLASIFICACIÓN DE SUELOS HRB (VN - E4 – 84).

El sistema de clasificación de suelos del H.R.B\*, para obras de ingeniería, está basado en el comportamiento de los suelos utilizados en obras viales. Los suelos de similares capacidades portantes y condiciones de servicio, fueron agrupados en siete grupos básicos, desde el A-1 al A-7.

El procedimiento para llevar a cabo dicho ensayo está especificado en la norma de Vialidad Nacional **VN-E4-84**, a continuación, se detallan los resultados obtenidos en base al Límite Líquido, Índice de Plasticidad y el porcentaje del material que pasa por el tamiz N° 200.

- Material de Base:

Tabla 27. Clasificación de Base

Calicata	PT N°200 (%)	LL (%)	IP (%)	Clasif. HRB
C1	4.4	24.4	0	<b>A-1-b</b>
C2	2.3	23.9	0	<b>A-1-a</b>
C3	3.7	25.5	0	<b>A-1-a</b>
C4	3.5	25.3	0	<b>A-1-a</b>

Como se puede observar en la tabla 27 el material de la calicata N°1 fue clasificado como A-1-b, el cual consiste en material granular bien graduado con ligante no plástico en el que predominan la piedra o grava.

Mientras tanto el material de las calicatas 2, 3 y 4 ha sido clasificado como A-1-a, el cual consiste en material granular bien graduado con ligante no plástico en el que predominan las arenas gruesas.

Como conclusión de los resultados mencionados anteriormente se puede decir que el material utilizado en la Base de la Pista de Aterrizaje es muy estable bajo la acción de las cargas transmitidas por las ruedas, sin tener en cuenta su contenido de humedad. Según la Norma de Vialidad Nacional este tipo de material puede usarse satisfactoriamente como bases para delgadas carpetas bituminosas como es el caso de nuestro Anteproyecto.

- Material de Subrasante:

Tabla 28. Clasificación de material de Subrasante

Calicata	PT Nº200 (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Clasif. HRB
C1	63.5	31.2	21.5	9.7	<b>A-4 (4)</b>
C2	74.2	33.7	20.5	13.2	<b>A-6 (9)</b>
C3	68.5	32.6	21.3	11.3	<b>A-6 (6)</b>
C4	74.0	29.9	22.8	7.1	<b>A-4 (4)</b>

Como se puede observar en la tabla 28 el material de la calicata N°1 y N°4 fue clasificado como A-4, el cual consiste en suelos compuestos esencialmente de limo, con moderada o poca cantidad de material grueso y sólo pequeña cantidad de arcilla grasa coloidal. Secos proveen una superficie de rodamiento firme, con ligero rebote al desaparecer las cargas.

Son relativamente inestables con cualquier contenido de humedad, y cuando éste es grande, como en nuestro caso, tienen muy baja estabilidad y valor soporte; como resultado de esto se necesitan importantes bases para la carpeta de rodamiento.

Mientras tanto el material de la calicata N°2 y N°3 fue clasificado como A-6, dichos suelos están compuestos por arcillas con moderada o despreciable cantidad de material grueso. Estos suelos tienen buena capacidad portante si están bien compactados, pero la pierden al humedecerse.

#### **4.4.5 COMPACTACIÓN (VN – E5 – 93)**

El ensayo de compactación se utiliza para estudiar las variaciones del peso unitario de un suelo en función de los contenidos de humedad, cuando se lo somete a un determinado esfuerzo de compactación. Permite establecer la Humedad óptima con la que se obtiene el mayor valor del Peso unitario, llamado Densidad seca máxima.

Para llevar a cabo dicho ensayo se siguió la Norma de Vialidad VN - E5 – 93 y las distintas muestras fueron agrupadas en base a la clasificación obtenida anteriormente, por lo tanto, el ensayo se realizó sobre las siguientes muestras:

- Material de Base:

En este caso en ensayo realizado es el correspondiente a materiales granulares (V) que consiste en realizar cada punto con un número de 5 capas y un número de 56 golpes por capas, dicho ensayo es equivalente a AASHTO T180.

A continuación, en la tabla N°29 se observan los resultados obtenidos en laboratorio.

Tabla 29. Ensayo de Compactación de Base

Combinación de muestras	Denominación	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)
C1	M1B	2.216	7.3
C2-C3-C4	M2B	2.225	6.7

Podemos concluir que el material que compone la base existente es directamente un material 0-20 comprado en Cantera, es común que este tipo de material de estos valores de Densidad Máxima ya que poseen una Granulometría NO UNIFORME con faltantes de algunos tamaños de partícula.

Para obtener valores de Densidad Máxima entre 2.30 y 2.35  $\frac{gr}{cm^3}$ , que sería lo óptimo para este tipo de proyectos, se debería preparar una base con una distribución que contenga un adecuado porcentaje de cada tamaño de partícula y obviamente después se debe verificar esto con un valor de CBR mayor a 80%.

- Material de Subrasante:

En este caso en ensayo realizado es el mismo que el desarrollado para el material de la Base.

A continuación, en la tabla N°30 se observan los resultados obtenidos en laboratorio.

Tabla 30. Ensayo de Compactación de Subrasante

Combinación de muestras	Denominación	Densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad óptima (%)
C1-C4	M1S	1.758	14.9
C2-C3	M2S	1.782	16.6

Podemos concluir que los valores de Densidad Máxima que se obtuvieron para el material que compone la subrasante es típico de la zona donde está emplazada la Pista de Aterrizaje.

#### 4.4.6 DETERMINACIÓN DEL VALOR SOPORTE RELATIVO (VN – E6 – 84)

Se puede definir al Valor Soporte Relativo (V.S.R.) de un suelo como la resistencia que ofrece al punzado una probeta del mismo, moldeada bajo ciertas condiciones de

densificación y humedad, y ensayada bajo condiciones preestablecidas. Se la expresa como porcentaje respecto de la resistencia de un suelo tipo tomado como patrón.

Para llevar a cabo dicho ensayo se siguió la Norma de Vialidad VN – E6 – 84 y las distintas muestras fueron agrupadas en base a la clasificación obtenida anteriormente, por lo tanto, el ensayo se realizó sobre las siguientes muestras:

- Material de Base:
- a) B1.

Compactación de Probetas:

Tabla 31. Compactación de Probetas para CBR - B1

Molde	Nº de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm <sup>3</sup> )	Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Comp. relativa (%)
7	56	9129	4261	4868	2105	2,31	7,0	2,161	97,6
2	56	10222	5228	4994	2147	2,33	7,1	2,171	98,0
11	25	8829	4146	4683	2114	2,21	6,8	2,074	93,6
12	25	8781	4128	4653	2086	2,23	7,2	2,081	93,9
15	12	8821	4384	4437	2088	2,13	6,9	1,988	89,7
14	12	8720	4294	4426	2108	2,10	7,1	1,960	88,5

Resumen CBR vs Densidad:

Para obtener el valor de CBR se tomaron lecturas para penetraciones de 0.000, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.200, 0.300 y 0.400 pulgadas.

A continuación, en la tabla Nº 32 se observa la penetración y la lectura tomada en el dial para las 6 probetas ensayadas.

Tabla 32. Lecturas de Dial - B1

Molde	7	2	11	12	15	14
Penet.	56g	56g	25g	25g	12g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	35,3	0,0	25,4	0,0	28,2	0,0
0,050	100,3	0,0	73,4	0,0	53,7	0,0
0,075	180,8	0,0	135,6	0,0	73,4	0,0

0,100	283,9	0,0	185,0	0,0	86,2	0,0
0,200	731,6	0,0	353,1	0,0	138,4	0,0
0,300	1064,9	0,0	487,3	0,0	178,0	0,0
0,400	1344,5	0,0	604,5	0,0	226,0	0,0

En la tabla N°33 se puede observar los valores de CBR vs. Densidad.

Tabla 33. CBR vs. Densidad - B1

Molde	N° de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm³)	CBR (%)	Densidad (g/cm³)	% Densidad máxima (g/cm³)
7	56	40	2,161	41	2,166	98
2	56	42	2,171			
11	25	19	2,074	19	2,077	94
12	25	20	2,081			
15	12	8	1,988	7	1,974	89
14	12	6	1,960			

b) B2, 3 Y 4.

Compactación de Probetas:

Tabla 34. Compactación de Probetas para CBR - B2, 3 y 4

Molde	N° de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm³)	Densidad húmeda (g/cm³)	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm³)	Comp. relativa (%)
2	56	10218	5228	4990	2147	2,32	6,5	2,182	98,1
13	56	8981	4100	4881	2088	2,34	6,6	2,194	98,6
3	25	9838	5121	4717	2113	2,23	6,2	2,103	94,5
5	25	9900	5205	4695	2105	2,23	6,3	2,098	94,3
12	12	8699	4128	4571	2086	2,19	6,2	2,063	92,7
14	12	8833	4294	4539	2108	2,15	6,5	2,021	90,8

**Resumen CBR vs Densidad:**

Para obtener el valor de CBR se tomaron lecturas para penetraciones de 0.000, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.200, 0.300 y 0.400 pulgadas.

A continuación, en la tabla N° 35 se observa la penetración y la lectura tomada en el dial para las 6 probetas ensayadas.

Tabla 35. Lecturas de Dial - B2, 3 y 4

Molde	2	13	3	5	12	14
Penet.	56g	56g	25g	25g	12g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	113,0	98,8	43,8	53,7	28,2	35,3
0,050	285,2	255,6	98,8	124,3	57,9	66,4
0,075	427,8	395,4	138,4	177,9	79,1	90,4
0,100	536,6	501,3	177,9	225,9	98,8	110,1
0,200	875,4	852,8	307,8	382,7	166,6	183,6
0,300	1118,3	1128,2	440,5	522,4	231,6	251,3
0,400	1338,6	1355,5	577,5	670,7	295,1	296,5

En la tabla N°36 se puede observar los valores de CBR vs. Densidad.

Tabla 36. CBR vs. Densidad - B2, 3 y 4

Molde	N° de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm³)	CBR (%)	Densidad (g/cm³)	% Densidad máxima (g/cm³)
2	56	44,8	2,182	44	2,19	98,4
13	56	43,3	2,194			
3	25	15,6	2,103	17	2,10	94,4
5	25	19,3	2,098			
12	12	8,5	2,063	9	2,04	91,8
14	12	9,0	2,021			

Como conclusión en base a los resultados expuestos anteriormente se puede decir que el valor de CBR obtenido son muy bajos para ser utilizados como Base. Este valor de CBR suele ser utilizado generalmente en Subbases.

- **Material de Subrasante:**

a) S1 y S4

Compactación de Probetas:

Tabla 37. Compactación de Probetas para CBR - S1 y S4

Molde	Nº de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm <sup>3</sup> )	Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> )	Comp. relativa (%)
12	56	8405	4128	4277	2086	2,05	14,9	1,785	101,5
13	56	8403	4100	4303	2088	2,06	15,2	1,789	101,8
14	25	8275	4294	3981	2108	1,89	15,2	1,640	93,3
15	25	8298	4384	3914	2088	1,87	14,7	1,634	93,0
2	12	8977	5228	3749	2147	1,75	15,5	1,512	86,0
12	12	7809	4128	3681	2086	1,76	14,6	1,540	87,6

Resumen CBR vs Densidad:

Para obtener el valor de CBR se tomaron lecturas para penetraciones de 0.000, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.200, 0.300 y 0.400 pulgadas.

A continuación, en la tabla N° 38 se observa la penetración y la lectura tomada en el dial para las 6 probetas ensayadas.

Tabla 38. Lecturas de Dial - S1 y S4

Molde	12	13	14	15	2	12
Penet.	56g	56g	25g	25g	12g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	53,4	0,0	43,8	0,0	9,9	18,4
0,050	127,1	0,0	87,6	0,0	16,9	28,2
0,075	209,0	0,0	116,5	0,0	22,6	32,5
0,100	255,6	0,0	138,4	0,0	28,2	35,3
0,200	371,4	0,0	173,7	0,0	42,4	45,2
0,300	453,4	0,0	217,5	0,0	55,1	57,9
0,400	509,9	0,0	254,2	0,0	59,3	69,2

En la tabla N°39 se puede observar los valores de CBR vs. Densidad.

Tabla 39. CBR vs. Densidad - S1 y S4

Molde	Nº de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm³)	CBR (%)	Densidad (g/cm³)	% Densidad máxima (g/cm³)
12	56	20	1,785	20	1,787	102
13	56	21	1,789			
14	25	10	1,640	10	1,637	93
15	25	9	1,634			
2	12	2	1,512	2	1,526	87
12	12	3	1,540			

b) S2 y S3

Compactación de Probetas:

Tabla 40. Compactación de Probetas para CBR - S2 y S3

Molde	Nº de golpes	Peso M+S+A (gr)	Peso molde (gr)	Peso S+A (gr)	Volumen molde (cm³)	Densidad húmeda (g/cm³)	Humedad (%)	Densidad seca (g/cm³)	Comp. relativa (%)
3	56	9464	5121	4343	2113	2,05	16,4	1,765	99,1
2	56	9636	5228	4408	2147	2,05	16,6	1,760	98,8
5	25	9289	5205	4084	2105	1,94	16,7	1,664	93,4
7	25	8322	4261	4061	2105	1,93	16,4	1,656	93,0
13	12	8007	4100	3907	2088	1,87	16,6	1,605	90,1
15	12	8270	4384	3886	2088	1,86	16,9	1,593	89,4

Resumen CBR vs Densidad:

Para obtener el valor de CBR se tomaron lecturas para penetraciones de 0.000, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.200, 0.300 y 0.400 pulgadas.

A continuación, en la tabla N° 41 se observa la penetración y la lectura tomada en el dial para las 6 probetas ensayadas.

Tabla 41. Lecturas de Dial - S2 y S3

Molde	3	2	5	7	13	15
Penet.	56g	56g	25g	25g	12g	12g
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,025	53,7	0,0	36,7	0,0	26,8	0,0
0,050	137,0	0,0	73,4	0,0	45,2	0,0
0,075	203,4	0,0	100,3	0,0	57,9	0,0
0,100	255,6	0,0	115,8	0,0	69,2	0,0
0,200	394,0	0,0	155,4	0,0	91,8	0,0
0,300	485,8	0,0	180,8	0,0	111,6	0,0
0,400	563,5	0,0	209,0	0,0	128,5	0,0

En la tabla N°42 se puede observar los valores de CBR vs. Densidad.

Tabla 42.CBR vs. Densidad - S2 y S3

Molde	N° de golpes	CBR (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	% Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> )
3	56	21	1,765	20,0	1,763	99
2	56	19	1,760			
5	25	10	1,664	9	1,660	93
7	25	8	1,656			
13	12	5	1,605	5	1,599	90
15	12	4	1,593			

Como conclusión en base a los resultados expuestos anteriormente se puede decir que el valor de CBR obtenidos pertenecen a una Subrasante que puede ser clasificada en Buena o Regular.

#### 4.5 INSPECCION VISUAL.

A fin de caracterizar el estado superficial de la pista, se realizó una inspección visual expeditiva con identificación de fallas de acuerdo a la normativa ASTM D-5340 ("Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys").

Para ello, en función de la condición observada durante la primera visita a la pista y el relevamiento planialtimétrico, se identificaron 2 secciones: una entre progresivas 0 y 900 (mitad norte) y otra entre progresivas 900 y 1700 (mitad sur). En cada una de estas secciones se inspeccionaron 4 unidades de muestra de 750 m<sup>2</sup> (30 m de ancho por 25 m de largo) seleccionadas aleatoriamente.

Como resultado de la inspección realizada, el estado superficial de la pista pudo calificarse en forma general como "aceptable". La mitad sur de la pista, en peor estado, presentó algunas fisuraciones por asentamiento, fisuras longitudinales (en coincidencia con juntas constructivas) y peladuras; estas últimas dos fallas mostraron desprendimientos moderados de material lo que representa una situación peligrosa para las aeronaves por una potencial ingestión en las turbinas. Sobre la cabecera la pista presentó también ahuellamientos debido, seguramente, a la aplicación de cargas estáticas. Como ya se mencionó, los aproximadamente 5550 m<sup>2</sup> de bacheo relevados, en buen estado, se concentraron exclusivamente en esta mitad de la pista.

La mitad norte mostró un mejor estado general, con fisuras longitudinales, peladuras (con desprendimientos) y ahuellamientos sobre la cabecera, pero de menor intensidad. Indudablemente esta diferencia de condición entre ambas secciones de la pista está directamente relacionada con los problemas de drenaje.

## **5. SUPERFICIE HIDROLÓGICA.**

En el siguiente capítulo se darán algunos de los lineamientos dados por la FAA en la Circular 150/5320-5D.

### **5.1 CRITERIOS**

#### Hidrológico.

En el anteproyecto se utilizó el método racional, desarrollado hace más de 100 años, es ampliamente utilizado para la estimación de la escorrentía de diseño de las zonas urbanas. La fórmula racional, popular debido a su simplicidad en su aplicación, es adecuado principalmente a las alcantarillas de tamaño, alcantarillas o canales para acomodar el drenaje de áreas pequeñas, por lo general menos de 80 hectáreas. La selección de los valores adecuados de los coeficientes de escorrentía en la fórmula depende de la experiencia de los diseñadores y el conocimiento de las relaciones lluvia-escorrentía locales de los diseñadores.

#### **5.1.1 Objetivos de diseño.**

La capacidad del diseño de sistemas de drenajes superficiales debe drenar en forma debida cumpliendo con su misión y la importancia de la instalación particular y los impactos ambientales que ellas conllevan.

#### **5.1.2 Grado de drenaje requeridos.**

El grado de protección que proporciona el sistema de drenaje depende en gran medida de la importancia de la instalación según lo determinado por el tipo y volumen de tráfico a ser alojados, la necesidad de un servicio ininterrumpido, y factores similares. Aunque el grado de protección debe aumentar con la importancia de la instalación, los requisitos mínimos deben ser adecuadas para evitar los riesgos de la operación. Un grave accidente imputable a un drenaje inadecuado puede compensar cualquier diferencia entre el coste de las instalaciones de drenaje razonablemente adecuados e inadecuados. En algunos casos, se puede justificar el uso de las frecuencias de tormenta de diseño sensiblemente superior a los criterios mínimos para la protección de instalaciones importantes. Algunos diseños de drenajes se han basado en una frecuencia de diseño de 50 años para reducir la probabilidad de que se inunde y para evitar la pérdida de la vida.

#### **5.1.3 Tormenta de Diseño**

La escorrentía superficial de la tormenta de diseño seleccionada se eliminará sin daños a las instalaciones, saturación excesiva del subsuelo, o interrupción significativa del tráfico normal. Además, ciertas actividades o instalaciones pueden tener restricciones en el almacenamiento superficial del agua debido a la atracción potencial de las aves acuáticas.

### 5.1.4 Frecuencia.

Para los aeródromos y helipuertos, se requiere como mínimo de un evento de tormenta de 2 años. En este evento no se tendrá ninguna invasión de la escorrentía en la calle de rodaje y de pista.

Después de especificarse ésta frecuencia de la tormenta de diseño, deben realizarse cálculos para determinar la duración crítica de la precipitación necesaria para producir la máxima tasa de escorrentía para cada área. Esto dependerá principalmente de la pendiente y la longitud de flujo superficial.

Para los aeropuertos, se recomienda utilizar una tormenta de 5 años sin invasión en la calle de rodaje y de pista.

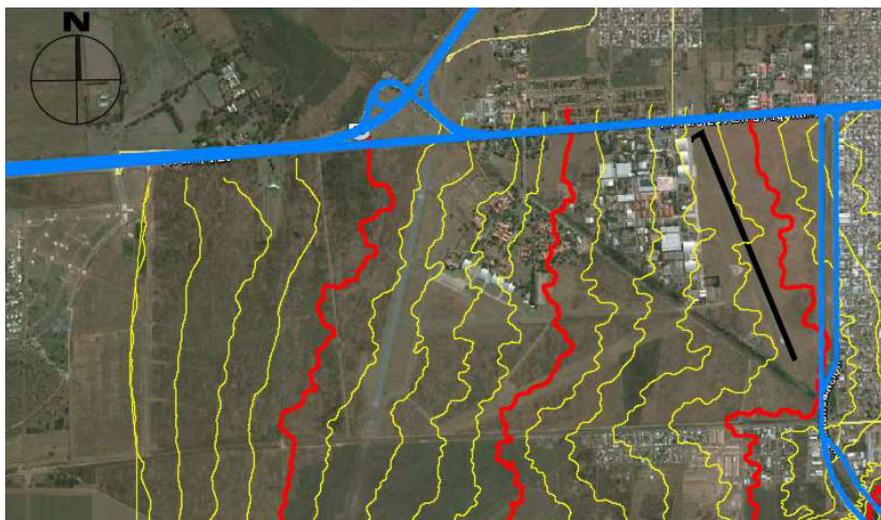
### 5.1.5 Áreas

Para porciones de áreas desarrolladas en instalaciones militares como carreteras, áreas de vivienda, y administrativos, industriales, la tormenta de diseño normalmente se basa en la precipitación con una frecuencia de 10 años.

La delimitación de la cuenca de aporte fue realizada en base a las cartas topográficas de la Dirección de Catastro de la Municipalidad de Córdoba (escala 1:5000, con curvas de nivel equidistantes 2.00 m), a las curvas de nivel obtenidas con el software Global Mapper 16 y a las imágenes satelitales de Google Earth.

En la figura N°31 se puede observar la ubicación de la pista y las correspondientes curvas de nivel del terreno natural.

Figura N° 30. Ubicación de la pista.





Los desagües serán construidos con un impacto mínimo sobre el medio ambiente.  
Mantenimiento.

El sistema de drenaje requerirá un mantenimiento mínimo, y que el mantenimiento será realizado de forma rápida y económico.

## **5.2 Método Racional.**

En esta sección se proporciona una visión general de los métodos y procedimientos hidrológicos de uso común en el diseño de drenaje. En nuestro caso utilizamos el Método Racional.

### Lluvia (precipitación).

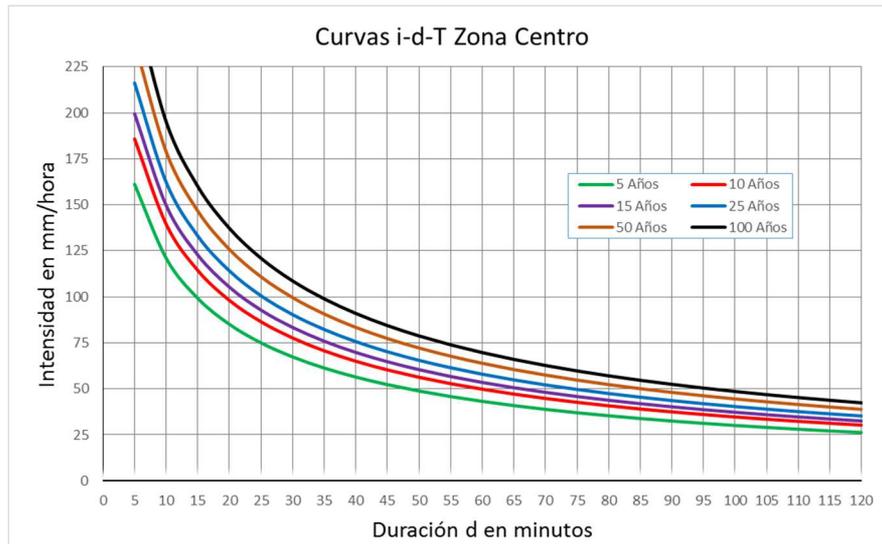
Las precipitaciones, junto con las características de las cuencas hidrográficas, determina los caudales de inundación en que se basa el diseño de drenaje.

### Intensidad.

A pesar de que la intensidad de las precipitaciones varía durante eventos, muchos de los procedimientos utilizados para derivar el flujo máximo se basan en asumir una intensidad de lluvia constante. La intensidad se define como la velocidad de la precipitación y normalmente se da en unidades de milímetros / hora. La curva IDF ofrece un resumen de las características de la precipitación de un sitio relacionando duración de la tormenta y la probabilidad de excedencia (frecuencia) a las precipitaciones de intensidad (que se supone constante durante la duración).

A continuación, en la figura N° 33 se puede observar la IDF perteneciente a la región centro utilizada en el anteproyecto.

Figura N° 32 IDF



### Determinación de caudal máximo.

Los caudales máximos son generalmente adecuados para el diseño y análisis de sistemas de transporte tales como desagües pluviales o canales abiertos.

Una de las ecuaciones más utilizadas para el cálculo del flujo máximo de áreas pequeñas es la fórmula racional:

$$Q = CIA$$

donde:

Q=caudal

C = coeficiente de escurrimiento

I=intensidad de la lluvia, en mm/ hr

A = área de drenaje, hectáreas.

### Supuestos.

Las suposiciones inherentes a la Fórmula Racional son las siguientes:

- El flujo máximo se produce cuando toda la cuenca está contribuyendo al flujo.
- La Intensidad de la lluvia es la misma en toda la zona de descarga.
- La Intensidad de la lluvia es uniforme sobre una duración de tiempo igual al tiempo de concentración (trcr). El tiempo de concentración es el tiempo requerido para el agua pueda viajar desde el punto hidráulicamente más remoto de la cuenca hasta el punto de interés.
- La frecuencia del flujo máximo calculado es el mismo que el de la intensidad de la lluvia, es decir, la intensidad de lluvia 10 años se asume para producir el flujo máximo

de 10 años.

- El coeficiente de escorrentía es el mismo para todas las tormentas de todas las probabilidades de recurrencia.

Limitaciones.

Debido a las suposiciones inherentes, la Fórmula Racional se debe aplicar sólo a las áreas de drenaje más pequeñas de 200 acres, aproximadamente 80 Hectáreas.

Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía, C, en la ecuación es una función de la cobertura del suelo y una serie de otras abstracciones. Se relaciona el caudal máximo estimado en un máximo teórico de 100 por ciento de la escorrentía. Los valores típicos de C se dan en la Tabla 43.

Tabla 43 Coeficiente de Escorrentía.

Type of Drainage Area	Runoff Coefficient, C*
Business:	
Downtown areas	0.70 - 0.95
Neighborhood areas	0.50 - 0.70
Residential:	
Single-family areas	0.30 - 0.50
Multi-units, detached	0.40 - 0.60
Multi-units, attached	0.60 - 0.75
Suburban	0.25 - 0.40
Apartment dwelling areas	0.50 - 0.70
Industrial:	
Light areas	0.50 - 0.80
Heavy areas	0.60 - 0.90
Parks, cemeteries	0.10 - 0.25
Playgrounds	0.20 - 0.40
Railroad yard areas	0.20 - 0.40
Unimproved areas	0.10 - 0.30
Lawns:	
Sandy soil, flat, 2 percent	0.05 - 0.10
Sandy soil, average, 2 to 7 percent	0.10 - 0.15
Sandy soil, steep, 7 percent	0.15 - 0.20
Heavy soil, flat, 2 percent	0.13 - 0.17
Heavy soil, average, 2 to 7 percent	0.18 - 0.22
Heavy soil, steep, 7 percent	0.25 - 0.35
Streets:	
Asphaltic	0.70 - 0.95
Concrete	0.80 - 0.95
Brick	0.70 - 0.85
Drives and walks	0.75 - 0.85
Roofs	0.75 - 0.95
*Higher values are usually appropriate for steeply sloped areas and longer return periods because infiltration and other losses have a proportionally smaller effect on runoff in these cases.	

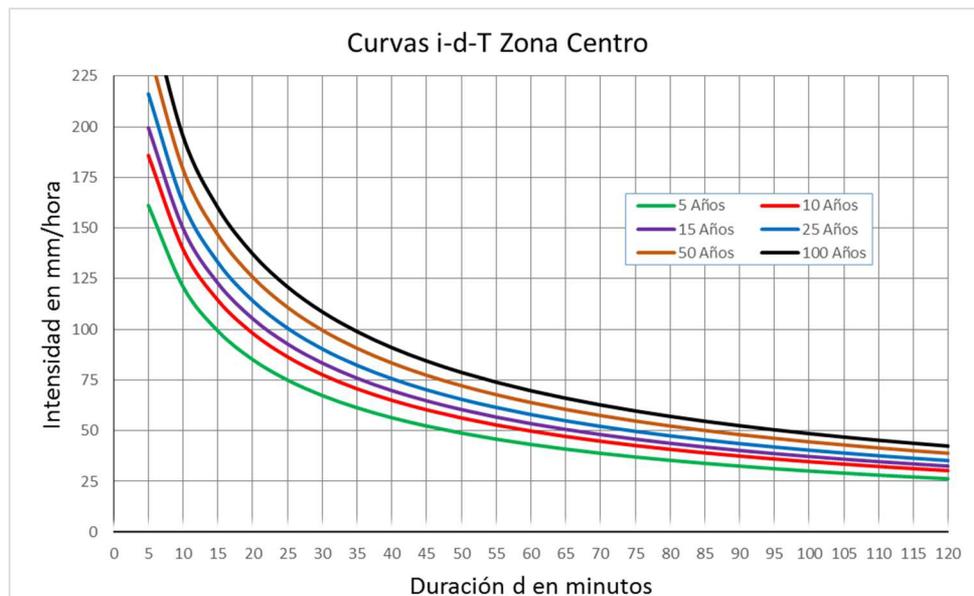
En nuestro caso el área en estudio es heterogénea ya que cuenta con una zona en donde la lluvia caída escurre en casi su totalidad, esto es en la Escuela de Aviación Militar y en la Fábrica de Aviones (FAdeA S.A.) y una parte de vegetación con pasto en condiciones medias en donde una parte escurre y otra parte es retenida por dicha vegetación e infiltrada por el suelo. Además, puede suponerse mediante el análisis de imágenes satelitales y de las curvas de nivel que la zona sufre encharcamientos. Por todas estas consideraciones, se utilizó un coeficiente de escorrentía ponderado e igual a **0.54**.

### 5.2.1 Intensidad de la lluvia.

Las curvas de intensidad, duración y frecuencia de las precipitaciones son necesarias para utilizar el Método Racional.

La intensidad de la lluvia se obtuvo a partir de las curvas i-d-F (FIGURA N°34) desarrolladas por el CIRSA (Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua) para la Zona Centro de la Provincia de Córdoba; esta zona tiene como pluviógrafo base el instalado en el Observatorio Córdoba. Así, para periodos de recurrencia de 5, 10, 15 y 25 años y una duración de tormenta (d) de 80 minutos, se obtuvieron las intensidades de lluvia necesarias.

Figura N° 33. Curvas i-d-F (Zona Centro)



Una serie de métodos se puede utilizar para estimar el tiempo de la concentración,  $t_{cr}$ , algunos de los cuales están destinados a calcular la velocidad de flujo dentro de los caminos que recorre. El tiempo de concentración se puede calcular como la suma de los tiempos de viaje del flujo dentro de los diversos segmentos consecutivos.

En el caso del anteproyecto se obtuvo la duración de una tormenta de diseño igual o levemente superior al tiempo de concentración ( $T_c$ ) de la cuenca. Este criterio permite que el caudal máximo se origine por la contribución de toda el área de aporte. El tiempo

de concentración, por su parte, se define como el máximo tiempo de traslado que una gota de lluvia efectiva necesita para poder alcanzar la sección de salida de la cuenca. Para el cálculo del tiempo de concentración se consideraron dos métodos: el Método Racional Generalizado (MRG) y el método de Kirpich. Aplicando estas metodologías se obtuvo por el MRG un tiempo de concentración de 82 minutos, mientras que por el método de Kirpich un tiempo de concentración de 73 minutos. Para el sistema estudiado se adoptó, de esta manera, una duración de lluvia de **80 minutos**.

### 5.2.2 Longitud del Cauce.

Se consideró la máxima longitud que recorre el agua desde el punto más alto hasta la salida de la cuenca. La longitud resultante fue de 3.1 Km.

Figura N° 34. Esguerrimiento natural en el área de estudio.



### 5.2.3 Pendiente del Cauce Principal.

Se adoptó una pendiente media del 5% obtenida a partir del desnivel existente entre los extremos de la corriente y su longitud medida en planta.

### 5.2.4 Caudales

Con los datos obtenidos recién resumidos se calcularon los caudales para distintas tormentas o periodos de recurrencia. Los datos se muestran en la Tabla 44.

Tabla 44. Caudales de Diseño

T (años)	Área cuenca efectiva (Ha)			Coeficiente de escorrentía			Intensidad mm/hr	Caudal m <sup>3</sup> /seg
	Total	Cubierta vegetal	Fábrica	Cubierta vegetal	Fábrica	Ponderado		
5	137.0	53%	47%	0.30	0.80	0.54	35.4	<b>7.2</b>
10	137.0	53%	47%	0.30	0.80	0.54	40.8	<b>8.3</b>
15	137.0	53%	47%	0.30	0.80	0.54	43.8	<b>8.9</b>
20	137.0	53%	47%	0.30	0.80	0.54	45.9	<b>9.4</b>
25	137.0	53%	47%	0.30	0.80	0.54	47.5	<b>9.7</b>

## **6. DRENAJE DE LA SUPERFICIE DE PAVIMENTO.**

En el siguiente capítulo se darán algunos de los lineamientos dados por la FAA en la Circular 150/5320-5D.

### **6.1 Introducción.**

Un drenaje efectivo del pavimento es esencial para el mantenimiento del nivel de servicio y la seguridad del tráfico. El agua en el pavimento puede interrumpir el tráfico, reducir la resistencia al deslizamiento, aumentar la posibilidad de hidroplaneo, disminuir la visibilidad límite debido a las salpicaduras y spray, y causar dificultad en la conducción de un vehículo cuando las ruedas se encuentran con charcos. El drenaje del pavimento requiere la consideración de drenaje superficial, el flujo del canal, y la capacidad de entrada. El diseño de estos elementos depende de la frecuencia de las tormentas y la extensión permitida de agua de lluvia sobre la superficie del pavimento.

### **6.2 Frecuencia de diseño y propagación.**

Dos de las variables más importantes considerados en el diseño del drenaje del pavimento son la frecuencia de la escorrentía y la propagación permitida de agua en el pavimento.

Las participaciones de la utilización de un criterio para la propagación de la mitad de un carril de tráfico son considerablemente diferentes para una frecuencia de diseño que para una frecuencia menor. También tiene diferentes implicaciones para una carretera de baja velocidad que para una pista de aeropuerto.

#### **6.2.1 Selección de la Frecuencia de Diseño**

El objetivo del diseño del drenaje es proporcionar un paso seguro de los vehículos durante una tormenta de diseño. El diseño de un sistema de drenaje para una sección de pavimento consta en recoger la escorrentía en la cuneta y del pavimento y transportarlo a las entradas de una manera que proporciona una seguridad razonable para el tráfico y a un costo razonable.

La frecuencia de diseño recomendado para secciones deprimidas y pasos inferiores, donde el agua estancada sólo pueden ser retirados a través del sistema de drenaje es un evento de frecuencia de 50 años.

#### **6.2.2 Selección de Tormenta y Propagación.**

Una tormenta de verificación debe en cualquier momento usarse para verificar si podría causar inundaciones inaceptables durante los eventos menos frecuentes. Además, las entradas siempre deben ser evaluados para una tormenta de verificación cuando una serie de entradas termina en una curva vertical, donde podría producirse encharcamiento a profundidades peligrosas.

La frecuencia seleccionada para la tormenta de verificación debe basarse en las

mismas consideraciones que se utilizan para seleccionar la tormenta de diseño, es decir, las consecuencias de la propagación que superen ese límite elegido para el diseño y la posibilidad de encharcamiento.

### Crterios

De propagación durante el evento de verificación son: (1) un carril abierto al tráfico durante el evento de la tormenta de verificación, y (2) un carril libre de agua durante el evento de la tormenta de verificación. Estos criterios difieren sustancialmente, pero cada uno establece un estándar por el cual el diseño puede ser evaluada.

Drenaje superficial. Cuando la lluvia cae sobre una superficie de pavimento en pendiente, se forma una fina película de agua que aumenta en espesor a medida que fluye hacia el borde de la acera. Los factores que influyen en la profundidad del agua en el pavimento incluyen la longitud de trayectoria de flujo, textura de la superficie, pendiente de la superficie, y la intensidad de lluvia. A los efectos del drenaje de la carretera, esta sección proporciona información sobre el hidroneo y la guía de diseño de estos elementos de drenaje:

- Pendiente longitudinal del pavimento.
- Pendiente transversal del pavimento.
- Bordillos y cunetas de diseño.
- Borde de la carretera y la mediana de zanjas.

### **Pendiente Longitudinal.**

La experiencia ha demostrado que los valores mínimos recomendados de pendiente longitudinal calzada dadas por AASHTO, Diseño Geométrico de Carreteras y Calles, proporcionará una pendiente del pavimento aceptable para la seguridad. Además, deben tenerse en cuenta la siguiente precaución:

- Un gradiente longitudinal mínimo es más importante para un pavimento con bordillo que para un pavimento sin bordillo ya que el agua está limitada por la acera. Sin embargo, los gradientes planos en pavimentos sin bordillos pueden dar lugar a un problema de difusión si se permite que la vegetación pueda acumularse a lo largo del borde del pavimento.

### **Pendiente Transversal.**

Estas pendientes transversales son un compromiso entre la necesidad de pendientes transversales bastante empinadas para el drenaje y las pendientes transversales relativamente planas para mayor comodidad y seguridad del conductor.

Pistas de fondo de un 2 por ciento tienen poco efecto sobre el esfuerzo del conductor en la dirección o en la demanda de fricción para la estabilidad del vehículo. El uso de

una pendiente transversal más pronunciada que 2 por ciento en los pavimentos con una línea de corona central no es deseable. En las zonas de lluvias intensas, una pendiente transversal algo más pronunciada (2,5 por ciento) se puede utilizar para facilitar el drenaje.

Algunas directrices adicionales relacionadas con pendiente transversal son:

- Aunque no es alentado ampliamente, carriles interiores pueden estar inclinadas hacia la mediana si las condiciones lo justifican.
- La mediana no debe ser drenada a través de los carriles de circulación.
- El número y longitud de las secciones de pavimento planas en las zonas de transición de pendiente transversal deben reducirse al mínimo.
- Los hombros deben estar en pendiente para drenar lejos de la acera, excepto con planteadas, medianas estrechas y peraltes.

### **Bordillos y Cunetas.**

Bordillos se utilizan normalmente en el borde exterior de los pavimentos de baja velocidad, las instalaciones de la carretera, y en algunos casos adyacentes a los hombros de instalaciones de alta velocidad. Ellos sirven para varios propósitos:

- Contienen la escorrentía superficial dentro de la carretera y lejos de las propiedades adyacentes.
- La prevenir la erosión en los taludes de relleno.
- Proporcionan delimitación pavimento.

### **Canales**

Una combinación bordillos y cunetas forma un canal triangular que puede transmitir la escorrentía igual o menor que el caudal de diseño sin interrupción del tráfico. Cuando se produce un flujo de diseño, hay una propagación o ensanchamiento de la superficie del agua transportada. El agua se extiende para incluir no sólo la anchura del canal, sino también los carriles de estacionamiento o los hombros y las partes de la superficie recorrida.

En general, bordillos y cunetas no están autorizados a interrumpir la escorrentía superficial a lo largo de una calle de rodaje o pista.

Cuando sea práctico, la escorrentía de los taludes de corte y otras áreas que drenan hacia la calzada debe ser interceptado antes de llegar a la carretera. Al hacerlo, se reducirán al mínimo la deposición de sedimentos y otros desechos en la carretera, así como la cantidad de agua que debe llevarse en el canal. Estas secciones de zanjas son particularmente apropiadas cuando bordillos históricamente se han utilizado para evitar que el agua erosione los taludes de relleno.

**Borde de la carretera y zanjas**

Los canales de borde de la carretera son de uso general con bordes de trayecto sin bordillos para transmitir el escurrimiento del pavimento de carreteras y de las áreas que drenan hacia la carretera.

**6.3 Flujo en Cunetas.**

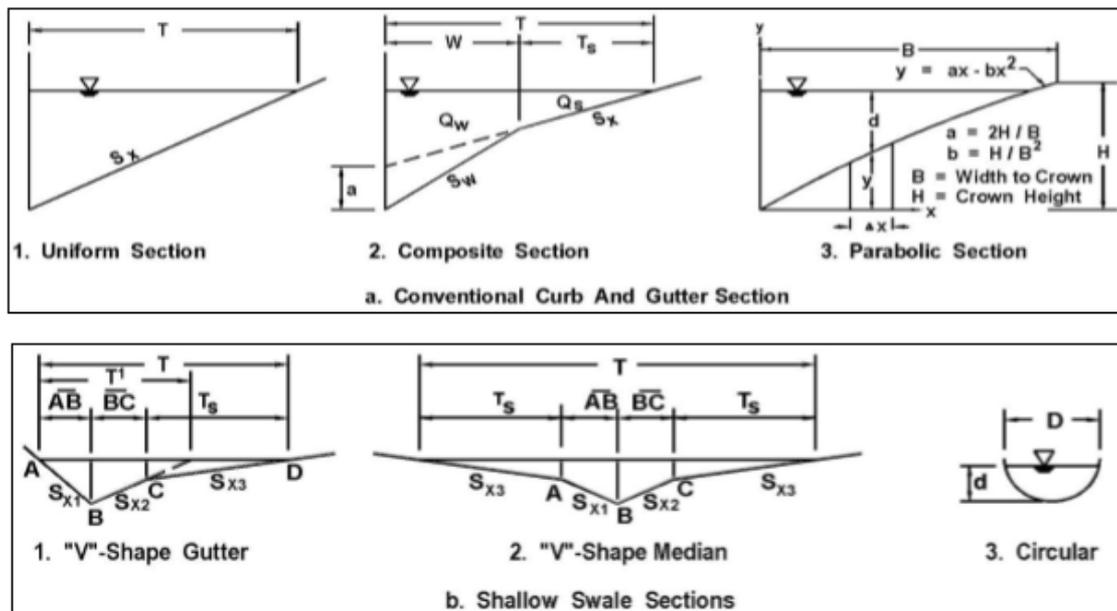
Un canal de pavimento se define como una sección de pavimento adyacente a la carretera que conduce agua de lluvia durante un evento. Se puede incluir una parte o la totalidad de un carril de circulación.

Como se ilustra en la Figura 35, las cunetas se pueden clasificar como un canal de drenaje convencional de poco profunda. Las secciones de bordillos y cunetas convencionales generalmente tienen una forma triangular.

Las cunetas convencionales pueden tener una pendiente recta transversal (Figura 36, a.1), una pendiente transversal de material compuesto donde la pendiente del canal varía de la pendiente transversal del pavimento (figura 36, a.2), o una sección parabólica (Figura 36, a.3).

Las cunetas poco profundas suelen tener forma de V o de secciones circulares, como se ilustra en la Figura 36, b.1, b.2 y b.3, respectivamente, y se utilizan a menudo en áreas pavimentadas en las carreteras de la mediana con coronas invertidas.

Figura N° 35. Formas de cunetas.



### **6.3.1 Capacidad**

Los cálculos de flujo de la cuneta son necesarios para establecer la extensión de agua en el hombro o sección de pavimento. Una modificación de la ecuación de Manning se puede utilizar para el cálculo de flujo en canales triangulares. La modificación es necesaria porque el radio hidráulico en la ecuación no describe adecuadamente la sección transversal del canal, particularmente cuando la anchura de la parte superior de la superficie del agua puede ser más de 40 veces la profundidad a la acera.

### **6.3.2 Secciones.**

Las cunetas convencionales comienzan en la base interior de la acera y por lo general se extienden una distancia de 1,0 a 3,0 ft. Como se ilustra en la figura 36, las cunetas pueden tener secciones uniformes, compuestas, o secciones curvas. Las cunetas uniformes tienen una pendiente transversal que es igual a la pendiente transversal del carril adyacente a la cuneta.

Las cunetas que tienen secciones compuestas están deprimidas en relación a la pendiente de pavimento adyacente. Es decir, la cuneta pavimentada tiene una pendiente transversal que está más inclinada que la de la acera adyacente.

En el anteproyecto se analizó el sistema de drenaje de la cuneta oeste de la pista, que fue modelada en el software HEC-RAS 4.1.0, el que permite simular el escurrimiento en canales naturales y artificiales analizando, entre otras cosas, su erosión.

### **6.3.3 Datos Geométricos.**

Los datos geométricos de la cuneta (alineamiento, perfil longitudinal, perfil transversal y pendientes) fueron obtenidos como parte del relevamiento planialtimétrico realizado con GPS. Se modelaron además las alcantarillas con las que cuenta el sistema de drenaje actual compuesto por dos alcantarillas de 80 cm de diámetro y una de 40 cm de diámetro, todas de hormigón. Para la rugosidad de la cuneta, definida mediante el coeficiente de rugosidad de Manning "n", se adoptó un valor de 0.035 dado que la cuneta es de cubierta vegetal periódicamente mantenida.

### **6.3.4 Datos del Flujo.**

Como primera aproximación el modelo se corrió para cinco valores de caudales (0.25, 0.50, 0.75, 1.00 y 1.25 m<sup>3</sup>/seg), dándole las condiciones de contorno correspondientes a un análisis a régimen permanente, esto es, el nivel de agua o tirante aguas abajo.

Los resultados obtenidos muestran que para un caudal de 1.25 m<sup>3</sup>/seg, el agua escurre sobre el pavimento de la pista en las secciones ubicadas entre las progresivas 894,86 y 1050.00, cercanas a la cabecera sur. Las Figuras 37 a 39 muestran algunas de las salidas del software. En estas Figuras, la escala vertical es mayor a la horizontal a fin de apreciar mejor las secciones transversales. El extremo derecho corresponde el

borde de la pista, el que como puede verse cual en la progresiva 976.72 es desbordado.

Figura N° 36. Modelación Progresiva 894.86

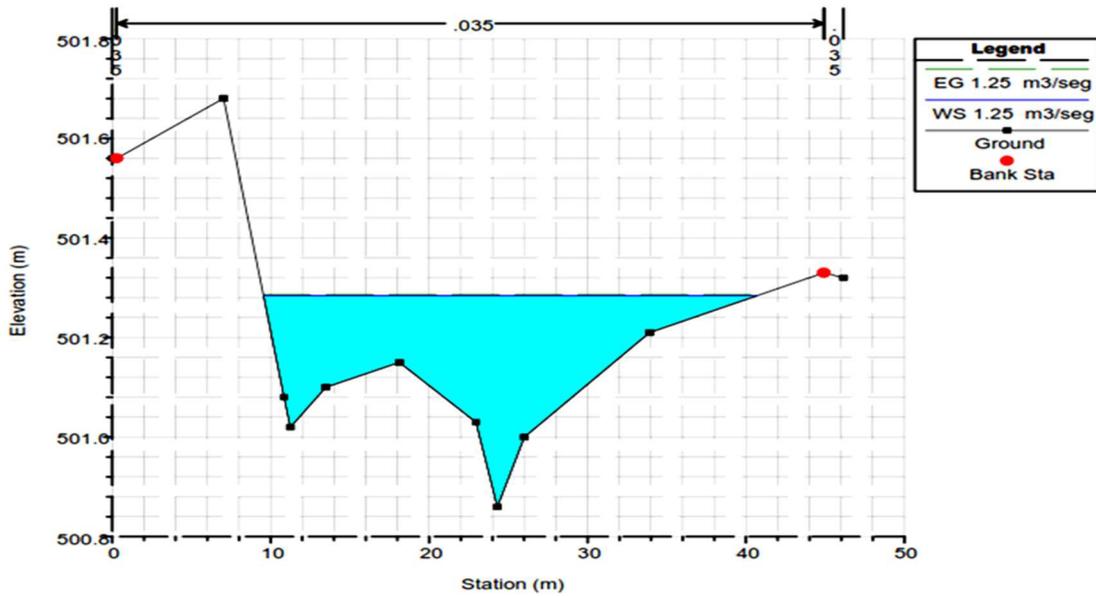


Figura N° 37. Modelación Progresiva 976.72

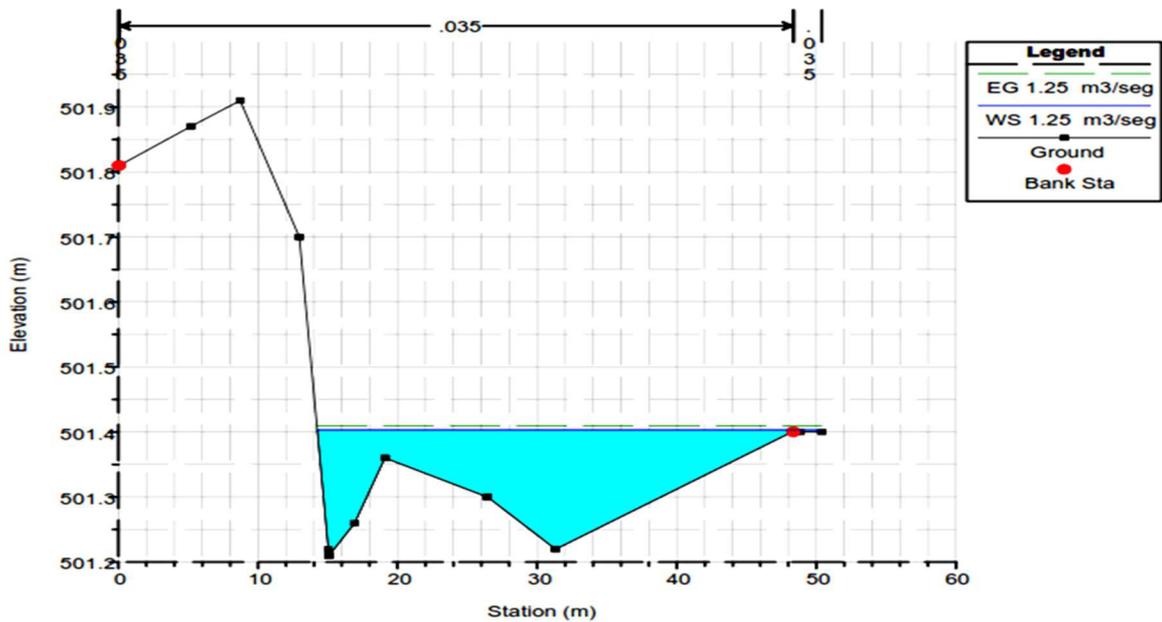
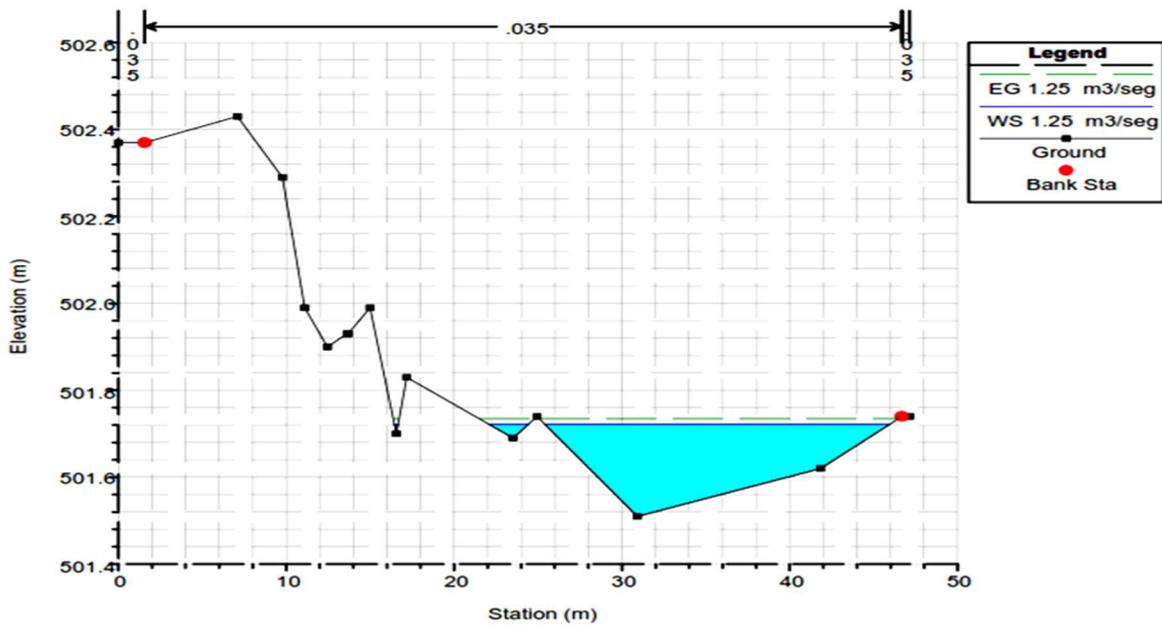


Figura N° 38. Modelación Progresiva 1050



### 6.3.5 Conclusiones.

Dado que para un periodo de recurrencia de 5 años el caudal de diseño es de 6,9 m<sup>3</sup>/seg se verifica, luego de las modelaciones realizadas, la insuficiencia y/o inadecuación del sistema actual de drenaje no verifica debiendo mejorárselo.

## **7. ESTRUCTURAS DE DRENAJE.**

### **7.1 Introducción.**

Un colector de aguas pluviales es la parte del sistema de drenaje que recibe las aguas superficiales a través de entradas y transporta el agua a través de conductos a un emisario. Se compone de diferentes longitudes y tamaños de tubería o conducto conectados por estructuras anexas. El conducto de desagüe es más a menudo un tubo circular, pero también puede ser una caja u otra forma de conducto cerrado. Las estructuras accesorias incluyen estructuras de orificios de acceso, cámaras de empalme, y otras estructuras diversas.

### **7.2 Procedimientos de diseño.**

En el diseño el agua de lluvia se debe retirar de manera eficiente para evitar la interrupción de las operaciones durante o después de las tormentas y para prevenir el daño temporal o permanente de las sub-bases de pavimentos. La eliminación se lleva a cabo por un sistema de drenaje única para cada sitio. Los sistemas de drenaje varían en diseño y medida dependiendo de las condiciones locales del suelo y la topografía; tamaño de la instalación física; la cubierta vegetal o su ausencia; la presencia o ausencia anticipada de encharcamiento; y lo más importante, de los patrones de intensidad y frecuencia de tormentas locales.

El sistema de drenaje debe funcionar con un mínimo de dificultades de mantenimiento y debe ser adaptable a una futura expansión. Se permiten los canales abiertos o cursos de agua naturales solamente en la periferia de una instalación de aeródromo o helipuerto y deben estar bien retirados de las pistas de aterrizaje y áreas de tráfico. Subdrenes se utilizan para drenar el material de base, bajar el nivel freático, o el desagüe de las capas freáticas posados. Las fluctuaciones del nivel freático se deben considerar en el diseño inicial de la instalación.

#### **7.2.1 Clasificación de los drenajes.**

Los desagües pluviales se pueden clasificar en dos grupos, primarios y auxiliares. Los drenajes primarios consisten en colectores principales y laterales que tienen la capacidad suficiente para dar cabida a la tormenta de diseño del proyecto, ya sea con o sin almacenamiento adicional en las cuencas de encharcamiento por encima de las tomas de drenaje.

Los drenajes auxiliares normalmente consisten en cualquier tipo o tamaño desagües proporcionadas para facilitar la eliminación de derrames pero que carece de la capacidad suficiente para eliminar la tormenta de diseño sin inundación o desbordamiento excesivo. Durante las tormentas de menos frecuentes, de intensidad alta, el exceso de escorrentía debe fluir por tierra hacia el sistema de drenaje primario con un mínimo de erosión. Un drenaje auxiliar también puede ser instalado para transmitir la escorrentía de las canaletas de pavimento donde se proporciona una capacidad menor de canaleta de descarga.

### **7.2.3 Hidráulica de Tormenta.**

El diseño hidráulico de los sistemas de drenaje de aguas pluviales requiere una comprensión de la hidrológica básica y los conceptos y principios de la hidráulica. Los conceptos hidrológicos se discutieron anteriormente. Los principios hidráulicos importantes incluyen la clasificación de flujo, conservación de la masa, conservación del momento, y la conservación de la energía.

### **7.2.4 Diseño de Flujo a Presión.**

Se requiere que el flujo en el conducto sea a una presión mayor que la atmosférica. Bajo esta condición, no hay ninguna superficie de flujo expuesto dentro del conducto. En el flujo de presión, el flujo de energía se deriva de nuevo a partir de la velocidad de flujo, la profundidad, y la elevación. La diferencia significativa es que la carga de presión estará por encima de la parte superior del conducto, y no será igual a la profundidad del flujo en el conducto.

## **7.3 Estructura de drenaje.**

### **7.3.1 Introducción**

Ciertas estructuras accesorias son esenciales para el correcto funcionamiento de todos los sistemas de drenaje. Estas estructuras incluyen estructuras de entrada, bocas de acceso y cámaras de empalme. Otros accesorios diversos incluyen transiciones, divisores de flujo, sifones, y las puertas de la aleta.

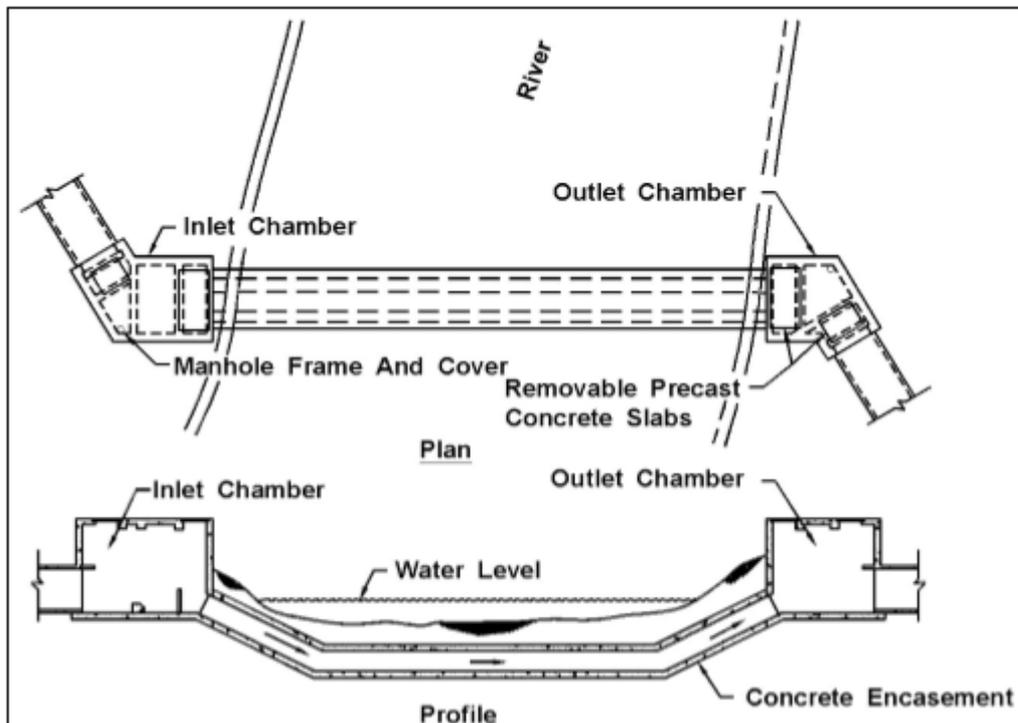
### **7.3.2 Estructura de Entrada.**

La función principal de una estructura de entrada es para permitir que el agua de la superficie pueda entrar en el sistema de drenaje. Como una función secundaria, las estructuras de entrada también sirven como puntos de acceso para la limpieza y la inspección. Los materiales más comúnmente utilizados para la construcción de entrada son hormigón y hormigón prefabricado. Las estructuras deben asegurar un drenaje eficiente de la escorrentía de la tormenta de diseño para evitar la interrupción de las operaciones durante o después de las tormentas y para prevenir el daño temporal o permanente de las sub-bases de pavimentos. El material, incluyendo el tubo de metal corrugado, debe ser lo suficientemente fuerte como para soportar las cargas a las que será sometido.

### 7.3 Sifones.

En el caso del anteproyecto se decidió como alternativa para mejorar el drenaje la utilización de un sifón invertido. En la práctica, el término "sifón" se refiere a un tubo de sifón invertido. Su objetivo es llevar el flujo bajo la carretera. Los sifones pueden consistir en barriles simples o múltiples; sin embargo, AASHTO recomienda un mínimo de dos barriles. La figura 39 ilustra un sifón de doble barril.

Figura N° 39. Sifón.



Ciertas consideraciones son importantes para el diseño eficiente de los sifones:

- velocidades de auto-limpieza debe estar siempre bajo una amplia gama de caudales.
- las pérdidas hidráulicas deben reducirse al mínimo.
- deben tomar las medidas necesarias para la limpieza.
- La porción ascendente del sifón no debe ser lo suficientemente fuerte para que sea difícil eliminar los depósitos. (Algunas agencias limitan la pendiente ascendente a 15 por ciento).
- No debe haber ningún cambio en el diámetro del tubo a lo largo de la longitud del sifón.
- Las disposiciones para el drenaje deben ser considerados.

## **8. METODO ESTANDARIZADO ACN-PCN.**

En 1977 la OACI (Organización Internacional de Aviación Civil) creó un grupo de estudio para desarrollar un método internacional único para reportar la capacidad soportante de los pavimentos. Dicho método fue llamado Aircraft Classification Number – Pavement Classification Number (ACN-PCN).

Mediante este método es posible expresar el efecto de una aeronave individual en los diferentes pavimentos mediante un único número que varía de acuerdo con el peso del aeroplano y su configuración (sea presión de llantas, geometría del tren de aterrizaje, tipos de pavimentos y capacidad de la subrasante). Este número se denomina Aircraft Classification Number (ACN) (Número de Clasificación de Aeronave). Por otra parte, la capacidad del pavimento para soportar carga puede ser expresada como un único número, sin necesidad de indicar una aeronave particular o información detallada de la estructura del pavimento. Este número es el Pavement Classification Number (PCN) [Número de Clasificación del Pavimento].

### Definición de ACN.

El ACN se define como un número que expresa el efecto relativo de una aeronave de un peso dado, sobre una estructura de pavimento para una resistencia de subrasante específica.

### Definición de PCN.

El PCN es un número que expresa la capacidad de soportar carga de un pavimento para operaciones sin restricciones.

### Metodología del Sistema.

El método ACN-PCN está concebido de manera tal que un pavimento con un valor de PCN particular pueda soportar sin restricciones de peso, una aeronave que posea un valor de ACN igual o menor que el valor PCN del pavimento. Esto es posible hacerlo debido a que tanto el ACN como el PCN se calculan con base en los mismos fundamentos técnicos.

### Aplicación.

La utilización del método estandarizado de reporte de resistencia de pavimentos aplica solamente cuando estos poseen resistencias mayores a 12,500 lbs (5,700 kg). La metodología para reportar capacidades de pavimentos menores a 12,500 lbs (5,700 kg) permanece invariable.

### Limitaciones del sistema ACN-PCN.

El sistema ACN-PCN solo se concibe como un método para reportar la resistencia relativa de los pavimentos de manera que los operadores de aeropuertos puedan

evaluar la operación aceptable de los aeropuertos. No debe entenderse como un procedimiento de diseño o evaluación de pavimentos. Tampoco restringe la metodología utilizada para diseñar o evaluar una estructura de pavimento.

### 8.1 DETERMINACION DEL ACN.

Los fabricantes de aeronaves proveen el valor oficial del ACN para cada modelo de aeroplano. El cálculo del valor ACN requiere de información detallada de las características operacionales de la aeronave tales como el centro de gravedad máximo, el peso máximo en rampa, distancia entre ruedas, presión de llantas y otros factores.

#### Categoría de Subrasante.

El método utiliza cuatro niveles estándar de resistencia de la subrasante para pavimentos rígidos y cuatro niveles de resistencia de subrasante para pavimentos flexibles. Estas condiciones de resistencia estándar se utilizan para representar un rango de condiciones de la subrasante como se muestra en las Tablas 45.

Tabla 45. Condiciones estándar de soporte de la subrasante para el cálculo de ACN

Categoría resistencia de la subrasante	Soporte de la subrasante CBR-Valor	Representa	Código Designación
Alto	15	$CBR \geq 13$	A
Medio	10	$8 < CBR < 13$	B
Bajo	6	$4 < CBR \leq 8$	C
Muy Bajo	3	$CBR \leq 4$	D

A continuación, en la tabla 46 se pueden observar los valores obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio de las muestras extraídas.

Tabla 46. Resultado del ensayo de VSR (subrasante).

N° golpes	Muestra M1S		Muestra M2S	
	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR (%)
12	1.526	2	1.599	5
25	1.637	10	1.660	9
56	1.787	20	1.763	20

En función de los resultados mostrados en la tabla anterior podemos clasificar la subrasante con un código de designación C que representa una categoría de resistencia de la subrasante Bajo.

#### Frecuencia operacional.

La frecuencia operacional se define en términos de la interacción, la cual representa la aplicación de la carga máxima sobre un punto del pavimento.

Cuando un avión se mueve a lo largo de una sección del pavimento, a menudo lo hace con un patrón perfectamente recto al largo de la misma ruta que lo hizo anteriormente. Este rodaje se asume que puede ser modelado como una distribución normal estadística. Cuando una aeronave se mueve por una calle de rodaje o pista, puede pasar repetidamente por un punto específico que recibe la aplicación de la carga máxima.

El Anteproyecto de rehabilitación de la pista se realizó verificando la posibilidad de operación de dos tipos de aeronaves militares: el Hércules C-130 y el Orion P-3; el primero de la Fuerza Aérea y Ejército Argentino y el segundo de la Armada Argentina.

Como estas aeronaves deben aterrizar en la Fábrica Argentina de Aviones (FAdeA) para realizar trabajos de mantenimiento y actualizaciones electromecánicas, ellos no operarán con carga completa; por este motivo, se les asignó una carga equivalente al 80% del peso máximo de despegue. Tanto para el Hércules C-130 como para el Orion P-3 se asumió un número de 15 operaciones anuales, valor consistente con la cantidad de aeronaves disponibles y vuelos de prueba adicionales.

Finalmente, la estructura de la pista también se verificó para la operación del Fokker F-28, para las mismas condiciones de carga (80% de la carga máxima) y asumiendo 60 operaciones anuales. Todas las consideraciones se resumen en la Tabla 47.

La vida del pavimento se fijó en 20 años de acuerdo con los horizontes de tiempo de las políticas de producción de la Fábrica. Se destaca que aviones de menor porte como el Pampa, Pucará y otros pueden operar ilimitadamente en las propuestas de rehabilitación del pavimento de la pista.

Tabla 47. Consideraciones del tráfico aéreo.

Aeronave	Peso máximo de despegue (lb)	Peso considerado (lb)	N° operaciones anuales
Hércules C-130	155000	124000	15
Orion P-3	142000	113600	15
Fokker F-28	65000	52000	60

### 8.1.1 ACN para pavimentos flexibles.

Los requerimientos de flotación del tren de aterrizaje para pavimentos flexibles se determinan por el método del California Bearing Ratio (CBR) para cada categoría de resistencia de subrasante. El CBR utiliza la solución de Boussinesq para esfuerzos y desplazamientos en un medio homogéneo e isotrópico. Para estandarizar el cálculo del ACN y eliminar la frecuencia operacional de la escala de calificación relativa, el método ACN-PCN especifica que los valores ACN se determinan a una frecuencia de 10,000 interacciones.

### **8.1.2 Cálculo de ACN.**

Se calcula la carga para una rueda única basada en una derivación matemática que define la interacción en aterrizaje de tren/pavimento, utilizando los parámetros definidos para cada sección del mismo. La carga para rueda única implica esfuerzos iguales en la estructura de pavimento y elimina la necesidad de especificar un espesor de pavimento para efectos comparativos. Esto se logra igualando el espesor derivado para un tren de aterrizaje dado con el espesor derivado de la carga de rueda única a una presión de inflado estándar de 181 psi (1,25 Mpa) (12,74 Kg/cm<sup>2</sup>).

Se define el valor ACN como el doble de la carga para rueda única derivada (expresado en toneladas métricas).

### **8.2 OBTENCION DE LOS VALORES DEL ACN UTILIZANDO LA APLICACION COMFAA.**

La FAA (Federal Aviation Administration) desarrolló una aplicación que calcula los valores de ACN utilizando los procedimientos y condiciones especificados por la Organización Internacional de Aviación Civil con la finalidad de facilitar el uso del sistema ACN-PCN.

Este es una aplicación útil para determinar un valor de ACN bajo distintas condiciones, no obstante, el usuario debe recordar que los valores oficiales de ACN los provee el fabricante de las aeronaves.

La aplicación COMFAA es un programa de uso general que opera en dos modos computacionales: Modo de Cómputo de ACN y Modo de Espesor de Pavimento.

#### Modo de Cómputo de ACN:

Calcula el valor ACN para aeronaves sobre pavimentos flexibles

Calcula el valor ACN para aeronaves sobre pavimentos rígidos.

Calcula el espesor de pavimentos flexibles basado en el procedimiento de OACI (método CBR) para valores de CBR por defecto (15,10,6 y 3).

Calcula el espesor de la losa de pavimento rígido basado en los procedimientos de OACI (método de la Portland Cement Association, caso de carga interna) para valores por defecto de k (522.6, 294.7, 147.4, y 73.7 lb/in<sup>3</sup>) [150, 80, 40 y 20 MN/m<sup>3</sup>].

#### Modo de Espesor de Pavimento:

Calcula el espesor total del pavimento flexible basado en el método FAA CBR especificado en la AC 150/5320-6D, Airport Pavement Design and Evaluation, para valores de CBR y niveles de operaciones anuales especificados por el usuario.

### 8.2.1 Utilización de la aplicación.

La utilización de la aplicación para el cálculo de valores ACN es visualmente interactiva e intuitiva. El usuario selecciona la aeronave, configura las propiedades físicas de la misma y hace click en el botón de ACN flexible o ACN rígido para determinar el ACN para las cuatro condiciones estándar de la subrasante. La aplicación incluye un sistema de ayuda que colabora con el usuario. Las figuras 41 y 42 detallan la operación de la aplicación COMFAA.

Figura N° 40. Operación de COMFAA

1. Selección del grupo de Aeronaves

2. Selección de aeronave

3. Confirmación de parámetros de Aeronaves

4. Click para calcular valores del ACN

Calcular valores ACN

**COMFAA (Not a Sanctioned Standard)**

X = -33.4 in Y = -20.2 in

**Aircraft Group**

- Generic
- Airbus
- Boeing
- McDonnell Douglas
- Other Commercial
- Military
- External Library

**Library Aircraft**

- SWL-50
- Sngl Whl-30
- Sngl Whl-45
- Sngl Whl-60
- Sngl Whl-75
- Dual Whl-50
- Dual Whl-75
- Dual Whl-100
- Dual Whl-150
- Dual Whl-200
- Dual Tan-100
- Dual Tan-150
- Dual Tan-200
- Dual Tan-300
- Dual Tan-400

**Graph:** ACN vs Subgrade Category (D, C, B, A). Curves for Rigid (blue) and Flexible (red) are shown.

**Parameters:**

Gross Weight (lbs)	200,000	Flexible P/C = 3.26	Rigid P/C = 3.26
% GW on Main Gears	95.00	<input checked="" type="radio"/> ACN Flexible	<input type="radio"/> ACN Rigid
No. Main Gears	2	<input type="radio"/> AC Thickness	<input type="radio"/> PCC Thickness
Wheels on Main Gear	2	Computational Mode	
Tire Pressure (psi)	200.0	<input checked="" type="radio"/> ACN Computation	<input type="radio"/> Pavement Thickness
Input Alpha	0.000		
Alpha Used	0.900		
Coverages	10,000		
Rigid Cutoff (times rrs)	3.00		

Flexible Computation Finished

**Results Table:**

SG	CBR	CBR t, in ACN Flex	k, lbs/in <sup>3</sup>	Rig t, in ACN Rig
D	3.0	53.20	65.2	73.7
C	6.0	35.39	60.4	147.4
B	10.0	25.26	54.7	294.7
A	15.0	19.09	51.1	552.6

Figura N° 41. Operación de COMFAA.

The screenshot shows the COMFAA software interface. On the left, there are three callout boxes: '1. Selección del grupo de Aeronaves' pointing to the 'Aircraft Group' list; '2. Selección de aeronave' pointing to the 'Library Aircraft' list; and '3. Confirmación de parámetros de Aeronaves' pointing to the aircraft parameters table. At the bottom, two more callout boxes: '4. Click para entrar a los valores de CBR' pointing to the 'ACN Flexible' button, and '5. Click para calcular espesor de pavimento' pointing to the 'PCC Thickness' button. On the right, a callout box '6. Calculo de espesor de pavimento' points to the 'ACN Rig' column in the subgrade table.

SG	CBR	CBR t, in	ACN Flex	k, lbs/in <sup>3</sup>	Rig t, in	ACN Rig
D						
C						
B						
A	9.00	27.16		200.0	15.27	

### 8.2.2 Variables que intervienen en la determinación de los valores ACN.

La OACI (Organización Internacional de Aviación Civil) ha adoptado condiciones de operación estándar para determinar los valores ACN debido a que las aeronaves pueden operarse con varios pesos y centros de gravedad. Se debe determinar el ACN a distintos pesos y ubicación de centros de gravedad hasta producir el máximo valor de ACN. Se asumen las presiones de llanta recomendadas por los fabricantes para las condiciones establecidas.

### **8.3 Número de Clasificación del Pavimento PCN.**

En términos fundamentales, la determinación de una clasificación de pavimento en términos de PCN es un proceso en el que se determina el ACN para la aeronave crítica y se reporta el valor ACN como el PCN para la estructura de pavimento. Bajo estas condiciones, cualquier aeronave con un valor ACN igual o menor al valor PCN podrá operar con seguridad sin ninguna limitación en la presión de las llantas.

#### **8.3.1 Determinación del valor numérico del PCN.**

La obtención del valor numérico del PCN para un pavimento puede basarse en dos procedimientos. Estos son conocidos como la utilización del “método de la aeronave” y el “método de evaluación técnica”. La OACI da la libertad para determinar cómo será determinado el valor del PCN de acuerdo con las prácticas internas particulares de evaluación de pavimentos. Puede utilizarse cualquier procedimiento para obtener el valor PCN, pero el método que se utilice deberá ser reportado como parte integral de su informe de clasificación.

#### **8.3.2 Método de evaluación técnica para determinar el valor PCN.**

Es difícil obtener en forma exacta la resistencia de un pavimento ya que esta varía según la escogencia de una única combinación de parámetros como: las condiciones de carga de la aeronave, la frecuencia de operaciones y las condiciones de soporte de la estructura del mismo.

El Método de Evaluación Técnica pretende direccionar estas u otras variables específicas del sitio para determinar razonablemente la resistencia del pavimento. En términos generales, para una estructura de pavimento y una aeronave dadas, el número de operaciones permisibles (tráfico) decrecerá conforme la intensidad de carga sobre el mismo aumente (mayor peso de aeronave). Es completamente posible que dos estructuras de pavimento con diferentes secciones transversales reporten resistencias similares pero el número de operaciones permisibles de una aeronave sean considerablemente diferentes.

La evaluación de un pavimento requerirá de una combinación de inspecciones en sitio, pruebas de carga, laboratorio y criterio ingenieril. Es común pensar una clasificación de la resistencia de un pavimento en términos de resistencia última o de falla instantánea, no obstante, raramente un pavimento se saca de servicio debido a fallas estructurales instantáneas. Una disminución en el nivel de servicio de un pavimento normalmente se le atribuye a un incremento en la rugosidad de la superficie o a defectos localizados tales como ahuellamientos o fisuras. En la determinación de la adecuación de una estructura de pavimento no solo debe considerar la magnitud de las cargas sino también el impacto del efecto acumulado del volumen de tráfico sobre su vida útil.

#### **8.3.3 Determinación del valor PCN.**

El valor PCN se determina a partir de la capacidad de carga permisible. Aunque es importante tener claro que el PCN no es un parámetro de diseño de pavimentos. Se

determinará una capacidad de carga permisible mediante los mismos principios utilizados en el diseño de pavimentos tomando en cuenta parámetros como la frecuencia de las operaciones y los niveles de esfuerzo permisibles. Al determinar el PCN la capacidad de carga permisible a menudo se establece en términos del tipo de tren de aterrizaje de la aeronave y su peso bruto, de la misma forma que estos mismos parámetros son utilizados en el diseño de estructuras de pavimento. Aparte de la capacidad de carga, pero igual de importante, tenemos la frecuencia de operaciones. En la determinación de una capacidad de carga permisible, la evaluación debe direccionar el análisis de manera tal que esta se dé bajo una frecuencia de operaciones razonable. Una vez que hemos establecido la capacidad de carga permisible la obtención del valor PCN es un proceso sencillo que consiste en determinar el valor ACN de la aeronave que representa la carga máxima permisible y reportar ese valor como el PCN.

#### **8.3.4 Limitaciones del PCN.**

El valor de PCN es un dato que se utiliza solamente para reportar la resistencia relativa del pavimento y no debería ser utilizado como parámetro de diseño de pavimentos o bien como sustituto de una evaluación.

La clasificación PCN es una escala continua para comparar la resistencia de los pavimentos donde valores más altos representan capacidades de carga mayores.

#### **8.3.5 Reporte del PCN.**

El sistema PCN utiliza un formato codificado para maximizar la cantidad de información contenida en un número mínimo de caracteres y facilitar su informatización. El PCN de un pavimento se reporta como un número de cinco partes donde los siguientes códigos son ordenados y separados por barras inclinadas.

- Valor numérico del PCN
- Tipo de Pavimento
- Categoría de la subrasante
- Presión de llantas permisible
- Método utilizado para obtener el PCN.

#### **8.3.6 Resultados obtenidos.**

En función de esta evaluación, que incluyó los trabajos de campo y laboratorio presentados, se adoptó para la pista actual el paquete estructural de la Figura 43.

Figura N° 42. Paquete estructural adoptado para la pista actual.

Espesor (cm)	Capa
6.05	Capa asfáltica
27.5	Subbase granular
Subrasante (CBR 4%)	

A partir de una planilla de Excel propuesta por la FAA para tal fin, el paquete actual de la pista fue convertido en la estructura estándar equivalente mostrada en las Figuras N°44 a N°46. Entre paréntesis se indica la denominación FAA de las capas consideradas.

Figura N°43. Cálculo de Espesor Equivalente

Reference Guidance AC 150/5335-5C App B			Existing Flexible Pavement Layers	ENTER Existing Layer Thickness	
Flexible Pavement Structure Items	Fig. A2-2 Convert to	Figs.A2-1&2 Convert to			
	P-209	P-154			
P-401/3 P 403	1,6	<input checked="" type="checkbox"/> Use FAA	P-401/3	2,4	in.
P-306 ECONOCRTE	1,2	n/a	P-306	0,0	in.
P-304 CEM. TRTD	1,2	n/a	P-304	0,0	in.
P-209 Cr AGG	1,0	1,4	P-209	0,0	in.
P-208 Agg, P-211	1,0	1,2	P-208	0,0	in.
P-301 SOIL-CEM.	n/a	1,2	P-301	0,0	in.
P-154 Subbase	n/a	1,0	P-154	10,8	in.
Equivalent Thickness, mm			Subgrade CBR...	4,0	1
P-401/3	3,0		<input type="radio"/> Metric <input checked="" type="radio"/> English		
P-209	6,0				
P-154	1,0				
Total	10,0		Airport Loc_ID	Pavement ID	
ENTER Ref.Section Requirements			LOC ID	Enter RW ID	
P-401 reference t	3,00	in.	Project Details		
P-209 reference t	6,00	in.	Examples		

En la figura anterior se ingresan los valores de los espesores actuales de la pista, el CBR de la subrasante y los requerimientos de la sección que son especificados por FAA.

Figura N° 44. Transformación en estructura equivalente.

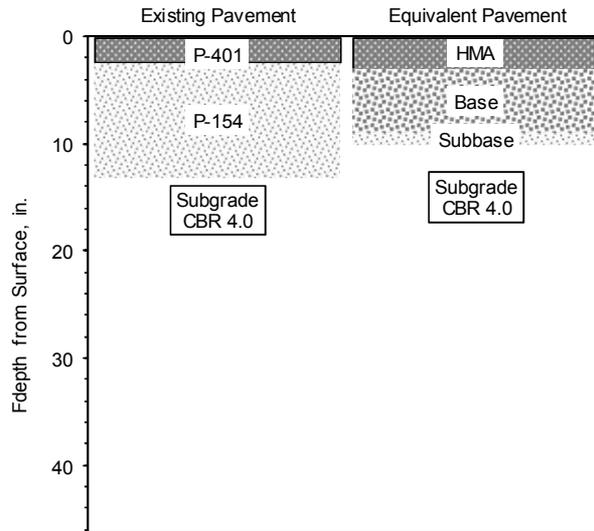


Figura N° 45. Espesores de la estructura estándar equivalente

Espesor (in)	Capa
3.0	Capa asfáltica (P-401)
6.0	Base granular (P-209)
1.0	Subbase granular (P-154)
Subrasante (CBR 4%)	

Con esta estructura equivalente y las condiciones y frecuencias de operación indicadas se obtuvo un PCN 6/F/D/X/T con ACN de 15, 37 y 29 para el Fokker, el Orion y el Hércules respectivamente; si bien los cálculos consideran un período de 20 años, estos valores ponen de manifiesto la insuficiencia estructural de la pista para las condiciones de operación planteadas por FAdE S.A y la necesidad de rehabilitación. El reporte de salida del COMFAA 3.1 se presenta en la Figura N°47.

Figura N°46. Reporte de salida de COMFAA 3.1.

Evaluation pavement type is flexible and design procedure is CBR.  
Alpha Values are those approved by the ICAO in 2007.

CBR = 4,00 (Subgrade category is D(3))  
Evaluation pavement thickness = 10,00 in  
Pass to Traffic Cycle (PtoTC) Ratio = 1,00  
Maximum number of wheels per gear = 2  
Maximum number of gears per aircraft = 2

No aircraft have 4 or more wheels per gear. The FAA recommends a reference section assuming 3 inches of HMA and 6 inches of crushed aggregate for equivalent thickness calculations.

Results Table 1. Input Traffic Data

No.	Aircraft Name	Gross Weight	Percent Gross Wt	Tire Press	Annual Deps	20-yr Coverages	6D Thick
1	Fokker-F-28-2000	52.000	95,00	97,0	60	294	15,37
2	P-3	113.600	95,00	190,0	15	76	19,87
3	C-130	124.000	95,00	105,0	15	116	19,21

Results Table 2. PCN Values

No.	Aircraft Name	Critical Aircraft Total Equiv. Covs.	Thickness for Total Equiv. Covs.	Maximum Allowable Gross Weight	ACN Thick at Max. Allowable Gross weight	CDF	PCN on D(3)
1	Fokker-F-28-2000	1.117	17,94	19.759	14,20	12,0909	4,6
2	P-3	243	23,97	26.274	16,65	14,3437	6,4
3	C-130	274	21,52	29.859	15,89	19,4966	5,8
						Total CDF =	45,9313

Results Table 3. Flexible ACN at Indicated Gross weight and Strength

No.	Aircraft Name	Gross Weight	% GW on Main Gear	Tire Pressure	ACN Thick	ACN on D(3)
1	Fokker-F-28-2000	52.000	95,00	97,0	25,87	15,4
2	P-3	113.600	95,00	190,0	40,01	36,9
3	C-130	124.000	95,00	105,0	35,30	28,7

En base a los resultados obtenidos en la salida del programa COMFAA se puede observar que la estructura actual esta muy lejos de poder soportar los aterrizajes o despegues de los tres aviones analizados, esto se puede observar facilmente en la salida mostrada anteriormente ya que el valor de ACN es mayor a PCN. A su vez, las siglas CDF (Factor de Contribución de Daño) indican el daño acumulado en la pista debido al numero de operaciones anuales para una vida util de 20 años, podemos ver que el total de CDF es de 45.9313 algo inadmisibile ya que su valor debe ser menor o igual a 1.

## **9. PROPUESTAS DE REHABILITACIÓN.**

### **9.1 Determinación de espesores.**

#### **9.1.1 Utilización de FAIRFIELD.**

Este programa implementa procedimientos de diseño en capas elásticas y tridimensionales basadas en elementos finitos. Debido a las variaciones de espesor, la evaluación de pavimentos existentes se debe realizar usando el mismo método empleado para el diseño.

Los detalles sobre el desarrollo del método de FAA para el diseño de pavimento flexible, FAARFIELD utiliza la tensión vertical máxima en la parte superior de la sub-base y la tensión máxima horizontal en la parte inferior de la capa de superficie de asfalto como los predictores de la vida estructural pavimento. FAARFIELD proporciona el espesor requerido para todas las capas individuales de pavimento flexible (superficie, base y sub-base) necesarios para soportar el tráfico de un determinado avión sobre un terreno de fundación particular.

#### Variables.

La determinación de los requisitos de espesor del pavimento es un problema de ingeniería complejo. Los pavimentos están sujetos a una amplia variedad de carga y los efectos climáticos. El proceso de diseño implica un gran número de variables que interactúan, que son a menudo difíciles de cuantificar. A pesar de una considerable investigación sobre este tema, no se ha podido llegar a una solución directa para los requisitos de espesor.

La FAA ha desarrollado el programa FAARFIELD utilizando modelos de fallos basada en pruebas a escala real realizadas desde la década de 1940 hasta la actualidad. Los pavimentos diseñados y construidos de acuerdo con las normas de la FAA están destinadas a proporcionar una vida estructural mínimo de 20 años que está libre de mantenimiento mayor si no se han encontrado grandes cambios en el tráfico de previsión. segundo.

#### Diseño estructural.

El diseño estructural de pavimentos de aeropuertos consiste en determinar tanto el espesor del pavimento en general y el grosor de las partes componentes del pavimento. Hay una serie de factores que influyen en el espesor del pavimento requerido para proporcionar un servicio satisfactorio. Estos incluyen la magnitud y el carácter de las cargas de avión a soportar, el volumen de tráfico, la concentración de tráfico en determinadas zonas, y la resistencia del suelo sub-base y la calidad de los materiales que conforman la estructura de pavimento.

FAARFIELD se basa en el concepto de factor de daño acumulativa (CDF), en la que se analiza por separado la contribución de cada avión en una mezcla de tráfico dada al daño total.

Los cálculos estructurales se realizan por dos subprogramas dentro FAARFIELD. Estos subprogramas se llaman LEAF y NIKE3D\_FAA.

LEAF es un programa computacional elástica en capas implementado como una librería de enlace dinámico Microsoft Windows™ escrito en Visual Basic™ 2005.

NIKE3D\_FAA es un programa de cálculo de elementos finitos tridimensional implementado como una librería de enlace dinámico escrito en FORTRAN.

### Consideraciones:

#### Tipo de avión.

Una amplia variedad de aviones con distintas características se almacena en la biblioteca de programas. La biblioteca FAARFIELD interna se divide en seis grupos de aviones: genéricos, Airbus, Boeing, Otros comercial, la aviación general y militar. El método de diseño del pavimento se basa en el peso bruto del avión. El pavimento debe estar diseñado para el máximo peso previsto de despegue del avión en la instalación prevista. El procedimiento de diseño asume 95 por ciento del peso bruto es llevado por los trenes de aterrizaje principales y 5 por ciento se realiza por el engranaje de nariz. FAARFIELD proporciona pesos brutos de explotación recomendadas por el fabricante para muchos aviones civiles y militares. La FAA recomienda el uso de la máxima prevista peso de despegue, que proporciona un cierto grado de conservadurismo en el diseño. El conservadurismo se compensa en parte por ignorar el tráfico que llega.

#### Tipo de tren de aterrizaje y la geometría.

Tipo de configuración establece cómo el peso del avión se distribuye a una pista y el pavimento cómo responderá a las cargas de los aviones.

#### Presión de los neumáticos.

La presión de los neumáticos varía dependiendo de la configuración, peso bruto, y el tamaño de los neumáticos, dicha presión de los neumáticos tiene mucha más influencia sobre las tensiones en la capa superficial de asfalto que en la sub-base.

La presión de los neumáticos de más de 221 psi (1,5 MPa) pueden superarse con seguridad si la superficie del pavimento y la capa de base cumplen los requisitos mínimos de diseño para la carga del pavimento a lo largo de una superficie de asfalto de alta estabilidad.

#### Volumen de tráfico.

Las predicciones se deben a salidas anuales por tipo de avión para el diseño de pavimentos. La información sobre las operaciones de aviones está disponible de Planes Maestro del Aeropuerto, los pronósticos de área terminal, el Plan Nacional

Integrado de Sistemas de Aeropuerto, Aeropuerto Estadística de la Actividad, e informes de actividad de la FAA de Tráfico Aéreo.

FAARFIELD fue desarrollado y calibrado específicamente para producir el diseño del espesor de pavimentos consistentes con los métodos previos basados en una mezcla de diferentes aviones en lugar de un avión individual. Casi cualquier combinación de tráfico puede ser desarrollado a partir de los aviones en la biblioteca de programas.

El procedimiento de diseño FAARFIELD se ocupa de tráfico mixto de manera diferente que hizo métodos de diseño anteriores. La determinación de una aeronave de diseño no se requiere para operar FAARFIELD. En su lugar, el programa calcula los efectos dañinos de cada avión en la mezcla de tráfico. Los efectos perjudiciales de todos los aviones se suman de acuerdo con la ley de Miner. Cuando el factor de daño acumulativa (CDF) resume a un valor de 1,0, las condiciones de diseño han sido satisfechas.

El programa de diseño FAARFIELD no convierte la mezcla de tráfico a salidas equivalentes de una aeronave de diseño. En su lugar, se analizan los daños en el pavimento, para cada avión y determina un espesor final por el daño acumulado total. FAARFIELD considera la colocación de tren de aterrizaje principal de cada avión en relación a la línea central del pavimento. También permite que el daño en el pavimento asociado con un avión particular pueda ser completamente aislado de uno o más de los otros aviones en la mezcla de tráfico.

### Materiales.

En el procedimiento de diseño FAARFIELD, a las capas de pavimento se les asigna un grosor, módulo elástico, y la relación de Poisson. Las mismas propiedades de las capas se utilizan en el modo de análisis de elementos finitos y elástica en capas. Los espesores de capa se pueden variar, sin perjuicio de los requisitos relativos al espesor mínimo. Los módulos elásticos son fijos o variables, en función del material. El rango permisible de la variabilidad de los módulos elásticos se fija para asegurar los valores razonables. El coeficiente de Poisson para todos los materiales es fijo. Los materiales se identifican por sus correspondientes denominaciones de especificación de la FAA; por ejemplo, la capa de base de piedra triturada se identifica como artículo P-209. La lista de materiales contiene una capa indefinida con propiedades variables. Si se utiliza una capa definida, aparecerá un aviso en la ventana de estructura que indica que un material no estándar ha sido seleccionado y su uso en la estructura requerirá aprobación de la FAA.

### Espesor mínimo.

FAARFIELD establecerá automáticamente el espesor de capa mínimo para cada capa, según se requiera. Sin embargo, se recomienda que el usuario consulte los apartados aplicables para el diseño de nuevo pavimento flexible y rígido para asegurar que se obtienen los requisitos mínimos de espesor.

### Distribución del tráfico.

Los estudios de investigación han demostrado que el tráfico aéreo se distribuye lateralmente en las pistas y calles de rodaje de acuerdo con la distribución estadística normal (forma de campana).

### Secciones típicas.

Los pavimentos de aeropuertos se construyen generalmente en secciones uniforme, de ancho completo. Las pistas pueden ser construidos con una sección variable transversalmente. Una sección variable permite una reducción en la cantidad de materiales necesarios para las capas de pavimentación superiores de la pista de aterrizaje. Sin embargo, las operaciones de construcción más complejas se asocian con secciones variables y suelen ser más costosos. Los costos de construcción adicionales pueden anular cualquier ahorro realizado a partir de cantidades reducidas de material. Como regla empírica general, el diseñador debe especificar el espesor del pavimento completo en el que el tránsito de salida hará uso de la pista; el espesor del pavimento debe ser diseñado utilizando el peso y la frecuencia de llegadas donde el tráfico llegadas como la alta velocidad.

A continuación, se indican los espesores mínimos necesarios para cada una de las alternativas planteadas que se realizaron con el software FAARFIELD (versión 1.305) de la FAA.

Para un período de diseño de 20 años, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

#### ***Alternativa 1: Refuerzo de Concreto Asfáltico***

- Base de CA para restitución de gálibo: 4 cm.
- Base de CA: 10 cm.
- Carpeta de rodamiento de CA: 5 cm.

#### ***Alternativa 2: Reconstrucción parcial #1***

- Subbase granular para restitución de base: 10 cm.
- Base estabilizada con cemento: 15 cm.
- Base de CA: 5 cm.
- Carpeta de rodamiento de CA: 5 cm.

### ***Alternativa 3: Reconstrucción parcial #2***

- Base de CA para restitución de gálibo: 6 cm.
- Base permeable de piedra partida con drenes longitudinales a ambos lados: 20 cm.
- Carpeta de rodamiento de CA: 5 cm.

### ***Alternativa 4: Refuerzo de Hormigón***

- Base de CA para restitución de gálibo: 4 cm.
- Losa de hormigón: 27 cm.

## **6.2 Alternativas.**

En el Anteproyecto de rehabilitación se propusieron tres áreas de intervención para la readecuación estructural de la pista de aterrizaje de FAdeA S.A.:

- a. Adecuación de los drenajes superficiales de la pista y sus laterales
- b. Mejora de la geometría transversal y longitudinal de la pista, y
- c. Aumento de la capacidad estructural del pavimento para soportar en forma limitada la operación de aeronaves militares de carga.

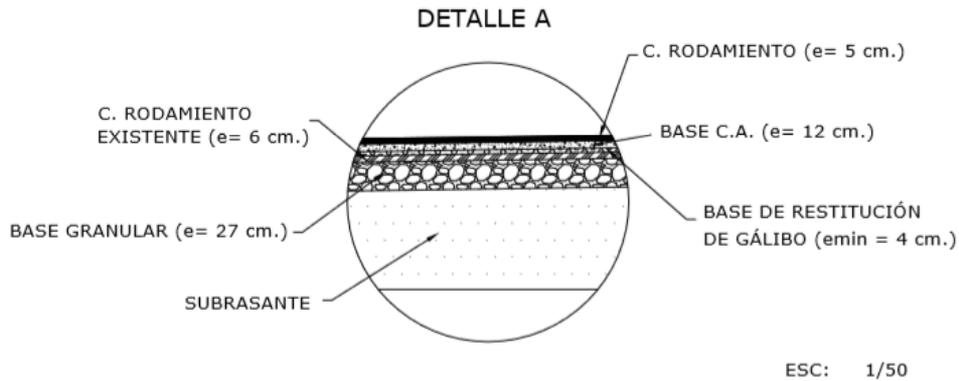
Todas las soluciones incluyen la ejecución de drenajes superficiales en el lado Oeste de la pista con la ejecución de dos sumideros conectados por caños de hormigón que cruzarán por debajo de la pista en la zona más baja para desembocar en dirección Este (del otro lado del pavimento).

### **9.2.1 Alternativa 1**

Consiste en reforzar la estructura con mezcla asfáltica (MA) en caliente (base + carpeta de rodamiento) previo una restitución de gálibo de MA en caliente. Esta alternativa corrige el perfil longitudinal con la reconstrucción de 500 m de pista aproximadamente.

En la figura N°48 se puede observar el detalle de dicha alternativa.

Figura N° 47. Detalle Alternativa 1.

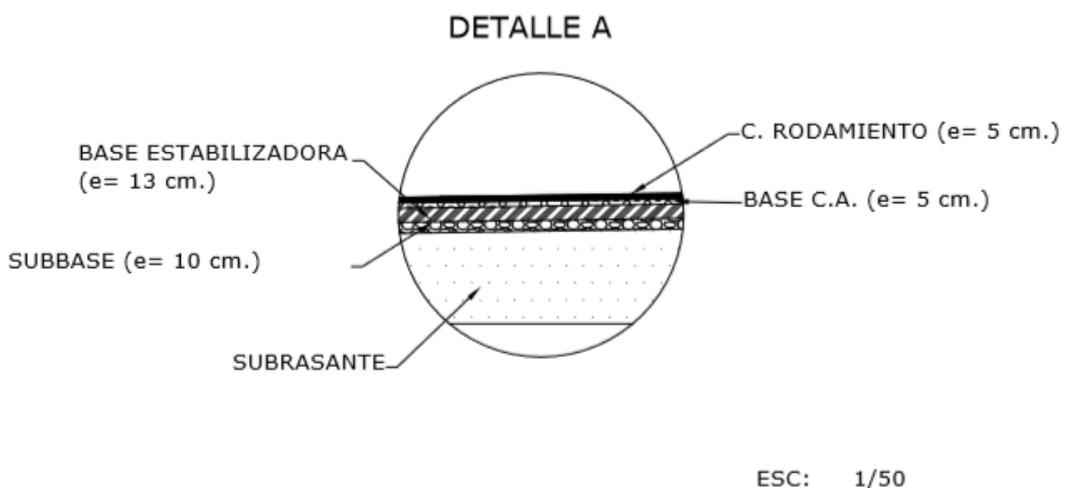


### 9.2.2 Alternativa 2

En esta alternativa se remueve la carpeta asfáltica actual del pavimento, se ejecuta una capa de subbase adicional para restitución de gálibo transversal y mejora geométrica longitudinal de la pista y una base estabilizada con cemento cubierta por MA en caliente.

En la figura N°49 se puede observar el detalle de dicha alternativa.

Figura N° 48. Detalle Alternativa 2.

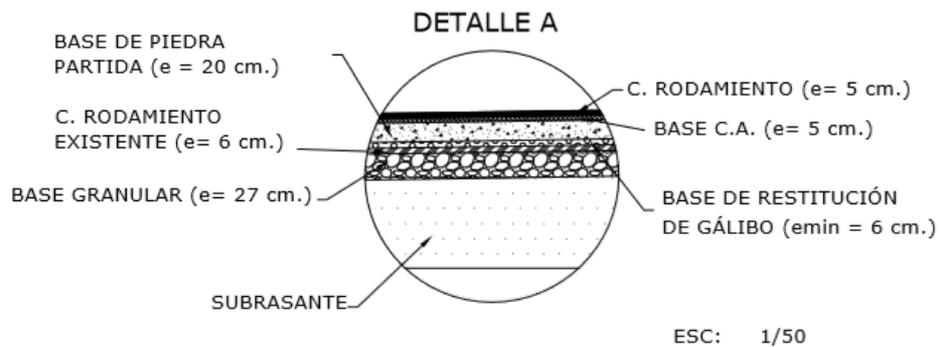


### 9.2.3 Alternativa 3

Consiste en construir otro pavimento sobre el existente cuidando aspectos del subdrenaje. En esta alternativa se ejecuta una carpeta de MA sobre el pavimento existente para restitución de gálibo transversal y mejora de la resistencia a tracción del pavimento, sobre ésta una base permeable de piedra partida (de muy buena calidad) que se conecta a drenes de subdrenaje lateral; la base se cubre con MA en caliente.

En la figura N°50 se puede observar el detalle de dicha alternativa.

Figura N° 49. Detalle Alternativa 3.

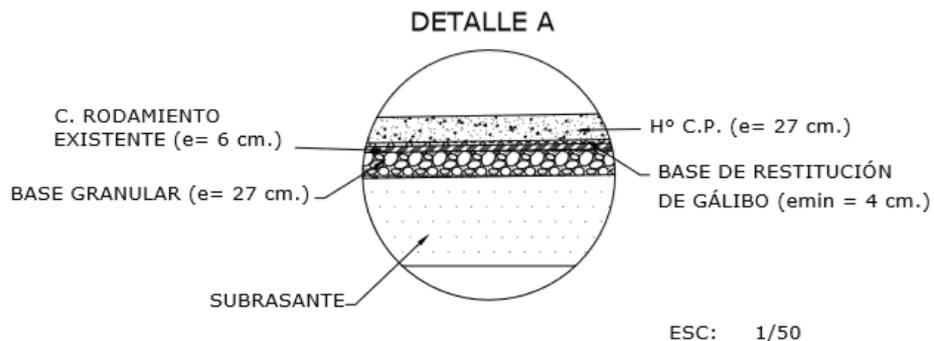


### 9.2.4 Alternativa 4

Esta alternativa consiste en un refuerzo con pavimento rígido previa restitución de gálibo con MA en caliente.

En la figura N°51 se puede observar el detalle de dicha alternativa.

Figura N° 50. Detalle Alternativa 4.



### **9.3 Resumen.**

A continuación, se procede a describir sintéticamente los trabajos a realizar en cada una de las alternativas propuestas anteriormente para la rehabilitación de la pista de FAdeA.

#### ***Alternativa 1: Refuerzo de Mezcla Asfáltica (MA)***

- Saneamiento de zona baja próxima a la cabecera sur.
- Instalación de conducto para drenaje escurrimiento superficial.
- Ejecución de base MA para restitución de gálibo.
- Ejecución de base MA.
- Ejecución de carpeta de rodamiento de MA

#### ***Alternativa 2: Reconstrucción parcial #1***

- Remoción o fresado completo de la capa asfáltica existente.
- Instalación de conducto para drenaje escurrimiento superficial.
- Ejecución de subbase granular para restitución de base.
- Ejecución de base estabilizada con cemento.
- Ejecución de carpeta de rodamiento de MA.

#### ***Alternativa 3: Reconstrucción parcial #2***

- Instalación de conducto para drenaje escurrimiento superficial.
- Ejecución de base de MA para restitución de gálibo.
- Ejecución de base permeable de piedra partida con drenes longitudinales a ambos lados (subdrenaje).
- Ejecución de carpeta de rodamiento de MA.

***Alternativa 4: Refuerzo de Hormigón***

- Instalación de conducto para drenaje escurrimiento superficial.
- Ejecución de base de MA para restitución de gálibo.
- Ejecución de losa de hormigón.

## 10. ESTIMACIÓN DE CÓMPUTOS Y PRESUPUESTOS

Los cómputos y presupuestos presentados a continuación (Tablas 48 a 51) contemplan los trabajos que deberían realizarse a fin de materializar las distintas alternativas planteadas en el Anteproyecto. Cabe aclarar que estos cómputos consideran espesores medios para la/s capa/s utilizadas en cada alternativa para restituir el gálibo transversal y mejorar la geometría longitudinal.

- **Alternativa 1: Refuerzo de Concreto Asfáltico**

Tabla 48. Cómputo y presupuesto estimativo Alternativa 1.

Ítem	Designación	Computo	Unidad	Precio	Importe
1	Limpieza terreno	18	Ha	22285.0	401.130
2	Movimiento de suelos	10000	m <sup>3</sup>	87.5	875.000
3	Estabilización de suelos	150	m <sup>3</sup>	975.0	146.250
4	Ejecución de desagües	200	ml	3547.7	709.549
5	Fresado carpeta asfáltica	15000	m <sup>2</sup>	432.5	6.487.500
6	Escarificación de subbase	15500	m <sup>2</sup>	230.0	3.565.000
7	Ejecución de subrasante estabilizada	15500	m <sup>2</sup>	315.0	4.882.500
8	Ejecución de subbase	15500	m <sup>2</sup>	210.0	3.255.000
9	Provisión y ejecución base granular	15500	m <sup>2</sup>	251.0	3.890.500
10	Base restitución de galibo	5031,3	Tn	1300.0	6.540.716
11	Riego de liga	205360	m <sup>2</sup>	11.8	2.418.927
12	Base asfáltica	12578,3	Tn	1251.0	15.735.441
13	Carpeta rodamiento	6247,5	Tn	1330.5	8.312.299
	Total				57.219.811

▪ **Alternativa 2: Reconstrucción parcial #1**

Tabla 49. Cómputo y presupuesto estimativo Alternativa 2.

Ítem	Designación	Computo	Unidad	Precio	Importe
1	Limpieza terreno	18	Ha	22285.0	401.130
2	Movimiento de suelos	10000	m <sup>3</sup>	87.5	875.000
3	Estabilización de suelos	150	m <sup>3</sup>	975.0	146.250
4	Ejecución de desagües	200	ml	3547.7	709.549
5	Fresado carpeta asfáltica	51000	m <sup>2</sup>	432.5	22.057.500
6	Ejecución de subbase	52700	m <sup>2</sup>	84.0	4.426.800
7	Ejecución de base estabilizada con cemento	52700	m <sup>2</sup>	291.0	15.335.700
8	Riego de curado	51340	m <sup>2</sup>	23.6	1.209.463
9	Riego de liga	102680	m <sup>2</sup>	11.8	1.209.463
10	Base asfáltica	6289,2	Tn	1251.0	7.867.720
11	Carpeta rodamiento	6247,5	Tn	1330.5	8.312.299
	Total				62.550.875

▪ **Alternativa 3: Reconstrucción parcial #2**

Tabla 50. Cómputo y presupuesto estimativo Alternativa 3.

Ítem	Designación	Computo	Unidad	Precio	Importe
1	Limpieza terreno	18	Ha	22285.0	401.130
2	Movimiento de suelos	10000	m <sup>3</sup>	87.5	875.000
3	Estabilización de suelos	150	m <sup>3</sup>	975.0	146.250
4	Ejecución de desagües	200	ml	3547.7	709.549
5	Base restitución de galibo	7546,98	Tn	1300.0	9.811.074
6	Base de piedra partida permeable	51340	m <sup>2</sup>	602.4	30.927.216
7	Ejecución de subdrenaje	3400	ml	2430.0	8.262.000
8	Riego de imprimación	51340	m <sup>2</sup>	23.6	1.209.463
9	Riego de liga	51340	m <sup>2</sup>	11.8	604.732
10	Carpeta rodamiento	6247,5	Tn	1330.5	8.312.299
	Total				61.258.712

▪ **Alternativa 4: Refuerzo de Hormigón**

Tabla 51. Cómputo y presupuesto estimativo Alternativa 4.

Ítem	Designación	Computo	Unidad	Precio	Importe
1	Limpieza terreno	18	Ha	22285.0	401.130
2	Movimiento de suelos	10000	m3	87.5	875.000
3	Estabilización de suelos	150	m3	975.0	146.250
4	Ejecución de desagües	200	ml	3547.7	709.549
5	Base restitución de galibo	12578,3	Tn	1300.0	16.351.790
6	Losa de H° C.P.	51000	m2	910.0	46.410.000
	Total				64.893.719

## **11. CONCLUSIONES**

A lo largo de este informe se resumieron los conocimientos técnicos básicos necesarios para poder llevar a cabo un anteproyecto de Rehabilitación: conocer cómo se ejecutan los trabajos, con que instrumental, equipamiento y además cuales son las tareas a desarrollar.

Sin embargo, para poder realizar lo antes dicho, no es suficiente con tener los conocimientos técnicos apropiados. Hay una cuestión con una gran influencia que es la experiencia. Esto juega un papel fundamental a la hora de decidir qué recursos utilizar y cómo hacerlo.

Otro aspecto importante a destacar, es la gran amplitud de temas y disciplinas en los que se tuvo una participación activa.

En cuanto a lo académico, se puede decir que el desarrollo de esta práctica cumplió con su principal objetivo, que es la inserción del alumno en el ámbito laboral, desempeñando tareas directamente relacionadas con la profesión.

Finalmente, a título personal, me gustaría concluir que la magnitud de lo aprendido en esta experiencia laboral es inconmensurable. Desde cuestiones puramente técnicas y relacionadas directamente a la ingeniería. Para mi resultó ser un antes y un después, y creo que un gran crecimiento tanto en lo profesional como en lo personal.

## **12. BIBLIOGRAFÍA.**

- Normas de ensayo. Granulometría VN-E7-65.
- Normas de ensayo. Límites de Consistencia VN-E2-65 y VN-E3-67.
- Normas de ensayo. Clasificación HRB VN-E4-84.
- Normas de ensayo. Compactación VN-E5-93.
- Normas de ensayo. Determinación del Valor Soporte VN-E6-84.
- Norma ASTM D5340 para realización de inspección visual.
- Circular 150-5320-6D. FAA (Federal Aviation Administration).
- Circular 150-5320-6D. FAA (Federal Aviation Administration).