

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presentan los bachilleres:

Fabiola Abigail Delgado Egoávil

Candy Quispe Villaverde

ASESOR: Ing. Manuel A. Olcese Franzero

Lima, noviembre de 2012

ÍNDICE:

1. GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. ANTECEDENTES	4
1.3. OBJETIVOS	4
1.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.....	6
2.1.1. PAVIMENTO RÍGIDO	6
2.1.2. PAVIMENTO FLEXIBLE.....	16
2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS.....	19
2.2.1. PISTA DE ATERRIZAJE	21
2.2.2. CALLE DE RODAJE	26
2.2.3. PLATAFORMAS	28
2.3. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA AERONAVE DE DISEÑO.....	29
2.4. METODOLOGÍAS DE DISEÑO PARA PAVIMENTO DE AEROPUERTOS... 31	
2.4.1. METODOLOGÍA DE LA FAA.....	32
2.5. DATOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE UN AEROPUERTO	36
2.5.1. ESTUDIO DE SUELOS	36
2.5.2. ESTUDIO DE TRAFICO.....	38
2.5.3. ESTUDIO PLUVIOMETRICO.....	39
2.5.4. ESTUDIO DE CANTERAS Y FUENTES DE AGUA	39
3. ESTUDIO DE TRÁFICO	41
3.1. SELECCIÓN DE LA AERONAVE MÁS PESADA POR COMPAÑÍA.....	53
3.2. NÚMERO DE SALIDAS DURANTE EL AÑO 2010	55
3.3. NÚMERO DE SALIDAS ANUALES PROMEDIO (2010 – 2030).....	57
4. ESTUDIO DE SUELOS	60
4.1. RESUMEN DE LOS DATOS RECOLECTADOS	60
4.2. CLASIFICACIÓN DEL SUELO.....	64
4.3. ENSAYO DE COMPACTACIÓN.....	64
4.4. ENSAYO DE CBR.....	66

5. ESTUDIO PLUVIOMETRICO	68
5.1. ESTACIÓN “LA CAPILLA”	69
5.1.1. PROMEDIO MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS. 69	
5.2. CLIMA DE LA ZONA.....	70
6. ESTUDIO DE CANTERAS Y FUENTES DE AGUA	71
6.1. CANTERAS.....	71
6.1.1. CANTERA LOMA VERDE	72
6.1.2. CANTERA LIMATAMBO	76
6.2. FUENTES DE AGUA	80
7. GEOMETRÍA DEL AREA DE MOVIMIENTO	81
8. DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE SEGÚN EL METODO DE LA FAA	82
8.1. RESUMENES DE LOS DATOS RECOLECTADOS.....	82
8.2. DETERMINACION DE LA AERONAVE DE CALCULO.....	83
8.3. DETERMINACION DE LAS SALIDAS ANUALES EQUIVALENTES EN FUNCION A LA AERONAVE DE CALCULO	85
8.4. CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA UNA ZONA CRITICA	89
8.4.1. CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO ESTRUCTURAL CRITICO.....	89
8.4.2. CALCULO DEL ESPESOR DEL MARGEN CRITICO.....	97
8.4.3. CALCULO DEL ESPESOR DE LA FRANJA NIVELADA CRITICA.....	98
8.5. CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLENO CRITICO	98
8.5.1. CALCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO ESTRUCTURAL NO CRITICO	99
8.5.2. CALCULO DEL ESPESOR DEL MARGEN NO CRITICO.....	101
8.5.3. CALCULO DEL ESPESOR DE LA FRANJA NIVELADA NO CRITICA. 101	
9. DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO SEGÚN EL MÉTODO DE LA FAA	103
9.1. RESUMENES DE LOS DATOS RECOLECTADOS.....	103
9.2. DETERMINACION DE LA AERONAVE DE CALCULO PARA DISTINTOS ESPESORES DE CAPA SUBBASE.....	104
9.2.1. ESPESOR DE LA SUBBASE ES IGUAL A 10”.....	105
9.2.2. EL ESPESOR DE LA SUBBASE ES IGUAL A 12”.....	109
9.2.3. EL ESPESOR DE LA SUBBASE ES IGUAL A 14”.....	112

9.3.	COMPARACION ECONOMICA DE LOS TRES DISEÑOS	114
9.4.	CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO RIGIDO PARA UNA ZONA CRITICA	114
9.4.1.	CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO ESTRUCTURAL CRITICO.....	115
9.4.2.	CALCULO DEL ESPESOR DEL MARGEN CRITICO.....	118
9.4.3.	CALCULO DEL ESPESOR DE LA FRANJA NIVELADA CRITICA.....	119
9.5.	CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO RIGIDO NO CRITICO	120
9.5.1.	CALCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO ESTRUCTURAL NO CRITICO	121
9.5.2.	CALCULO DEL ESPESOR DEL MARGEN NO CRITICO.....	121
9.5.3.	CALCULO DEL ESPESOR DE LA FRANJA NIVELADA NO CRITICA.	122
9.6.	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE JUNTAS.....	124
9.6.1.	TIPOS DE JUNTAS A EMPLEAR.....	124
9.6.2.	ESPACIADO DE JUNTAS	125
9.6.3.	ACERO EN LAS JUNTAS (BARRAS Y DOWELS)	125
9.6.4.	RELLENOS Y SELLADORES DE JUNTAS.....	125
9.6.5.	DISTRIBUCION DE JUNTAS.....	126
10.	ANÁLISIS ECONÓMICO	131
10.1.	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	132
10.2.	PRESUPUESTO DE CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO	139
11.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	142
12.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	145

LISTA DE TABLAS:

<i>Tabla 1.1: Movimientos en el Aeropuerto Jorge Chávez 2001-2009.....</i>	<i>1</i>
<i>Tabla 1.2: Crecimiento Infraestructural – Aeropuerto Jorge Chávez.....</i>	<i>2</i>
<i>Tabla 2.1: Condiciones donde no se requiere subbase según la clasificación del suelo de la subrasante.....</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 2.2: Espaciamiento máximo de juntas de pavimento rígido sobre base sin estabilizar.....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 2.3: Descripción y uso de las juntas de pavimentos rígidos de aeropuertos.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 2.4: Dimensiones y espaciamiento de los dowels.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2.5: Clave de referencia.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 2.6: Ensayos mínimos para estudio de suelos.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 2.7: Ensayos complementarios para estudio de suelos.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 2.8: Tolerancias del agua según norma MTCE-716.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 3.1: Tipo y peso de aeronave por compañía.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3.2: Total de vuelos nacionales por compañía – 2010.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 3.3: Total de vuelos internacionales por compañía – 2010.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 3.4: Avión más pesado por compañía – Nacionales.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 3.5: Avión más pesado por compañía – Internacionales.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 3.6: Salidas en el año 2010 por tipo de aeronave.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 3.7: Salidas anuales promedio en el periodo de diseño.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 4.1: Requerimiento de compactación de la subrasante para pavimentos flexibles.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 4.2: Valor de la densidad a ciertas profundidades.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 4.3: Valor de la densidad del suelo en estudio.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 5.1: Precipitación máxima en 24 horas.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 6.1: Resultado de los análisis de agua según norma MTC E 716.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 8.1: Salidas anuales promedio en el periodo de diseño (2010 – 2030).....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 8.2: Factor de corrección para un volumen mayor a 25 000 salidas.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 8.3: Determinación de la aeronave de cálculo.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 8.4: Factores de conversión.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 8.5: Salidas anuales promedio afectadas por el factor de conversión.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 8.6: Determinación de las salidas anuales equivalentes del avión de diseño.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 8.7: Espesor mínimo de la capa base.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 8.8: Espesor total del pavimento estructural crítico.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 8.9: Espesor total del margen crítico.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 8.10: Espesor total de la franja nivelada crítica.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 8.11: Espesor total del pavimento estructural no crítico.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 8.12: Espesor total del margen.....</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 8.13: Espesor total de la franja nivelada no crítica.....</i>	<i>101</i>

<i>Tabla 9.1: Determinación de la aeronave de cálculo.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 9.2: Espesor del pavimento rígido estructural, considerando subbase de 10”.....</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 9.3: Determinación de la aeronave de cálculo.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 9.4: Espesores totales del pavimento rígido estructural, considerando subbase de 12”.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 9.5: Espesor total de pavimento estructural rígido, considerando subbase de 14”.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 9.6: Comparación económica entre los espesores de subbase (10”, 12” y 14”).....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 9.7: Espesor total del pavimento rígido, Tren de aterrizaje interseca a la junta formando un ángulo.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 9.8: Espesor total del pavimento rígido, tren de aterrizaje cruza la junta perpendicular o paralelamente.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 9.9: Espesor total del pavimento rígido.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 9.10: Calculo del espesor del margen crítico, considerando.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 9.11: Calculo del espesor del pavimento.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 9.12: Espesor de la franja nivelada crítica.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 9.13: Espesor de la franja nivelada crítica.....</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 9.14: Espesor del pavimento estructural no crítico.....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 9.15: Espesor del margen no crítico.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 9.16: Espesor de la franja nivelada no crítica.....</i>	<i>122</i>
<i>Tabla 10.1: Subpartida 1.01.....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 10.2: Subpartida 1.02.....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 10.3: Subpartida 1.03.....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 10.4: Subpartida 2.01.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 10.5: Subpartida 2.02.....</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 10.6: Subpartida 2.03.....</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 10.7: Subpartida 2.04.....</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 10.8: Subpartida 2.05.....</i>	<i>136</i>
<i>Tabla 10.9: Subpartida 2.06.....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 10.10: Subpartida 2.07.....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 10.11: Subpartida 2.08.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 10.12: Espesor de la pista de aterrizaje (Pav. Estructural).....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 10.13: Dimensiones de la pista de aterrizaje (Pav. Estructural).....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 10.14: Metrado de corte, sello y acero en juntas de la pista de aterrizaje.....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 10.15: Presupuesto de construcción de la pista de aterrizaje.....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 10.16: Comparación de cada partida respecto al total.....</i>	<i>141</i>

LISTA DE FIGURAS:

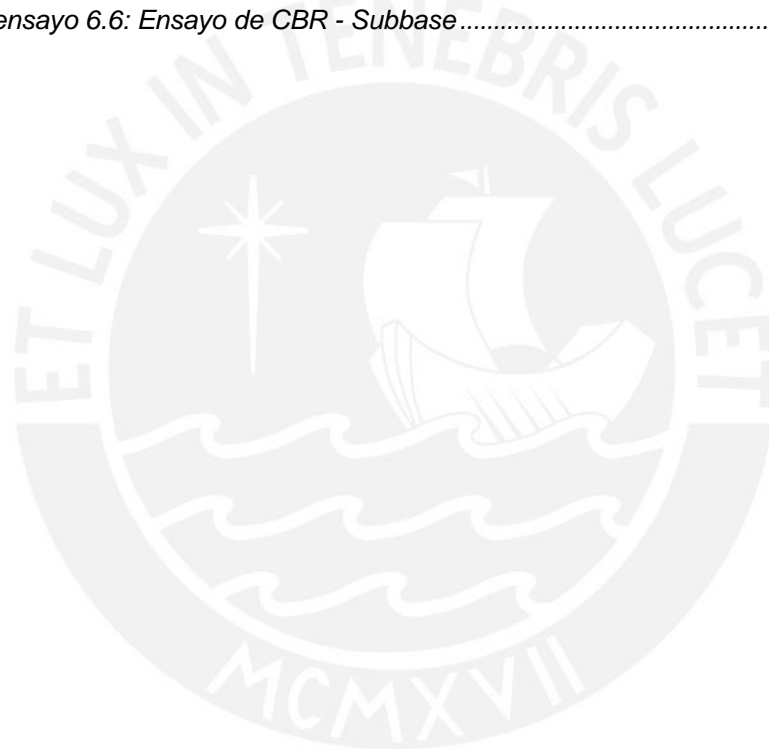
<i>Figura 1.1: Movimientos en el Aeropuerto Jorge Chávez 2001-2009</i>	2
<i>Figura 1.2: Ubicación del Aeropuerto</i>	5
<i>Figura 2.1: Distribución de cargas en un pavimento rígido</i>	8
<i>Figura 2.2: Sección típica de un pavimento rígido</i>	9
<i>Figura 2.3: Tipos de juntas</i>	11
<i>Figura 2.4: Detalles de juntas</i>	12
<i>Figura 2.5: Distribución de juntas</i>	16
<i>Figura 2.6: Distribución de cargas en un pavimento flexible</i>	17
<i>Figura 2.7: Sección típica de un pavimento flexible</i>	19
<i>Figura 2.8: Área de movimiento de un aeropuerto</i>	20
<i>Figura 2.9: Pista de un aeropuerto</i>	22
<i>Figura 2.10: Margen de una pista de aeropuerto</i>	23
<i>Figura 2.11: Franja de pista</i>	23
<i>Figura 2.12: Área de seguridad de extremo de pista</i>	24
<i>Figura 2.13: Zona libre de obstáculos</i>	24
<i>Figura 2.14: Zona de parada</i>	25
<i>Figura 2.15: Partes físicas completas de la pista de aterrizaje</i>	25
<i>Figura 2.16: Calle de rodaje de salida rápida</i>	27
<i>Figura 2.17: Calle de rodaje en la plataforma y de acceso al puesto de estacionamiento</i>	27
<i>Figura 2.18: Tipos de configuración del tren de aterrizaje principal</i>	31
<i>Figura 2.19: Dimensionamiento propuesto por la FAA para pav. flexible en zonas críticas</i>	34
<i>Figura 2.20: Dimensionamiento propuesto por la FAA para pav. flexible en zonas no críticas</i> ..	34
<i>Figura 2.21: Efecto de la capa subbase sobre el modulo del terreno de fundación</i>	36
<i>Figura 3.1: Porcentaje de salidas anuales promedio por aeronave en el periodo de diseño</i>	59
<i>Figura 5. 1: Mapa de ubicación de la estación “La Capilla”</i>	68
<i>Figura 5.2: Precipitación promedio mensual</i>	70
<i>Figura 6.1: Ubicación de canteras</i>	71
<i>Figura 6.2: Cruce del Río Lurín – Panamericana Sur (Km 30)</i>	80
<i>Figura 8.1: Curvas de diseño de un pavimento flexible con tren dual tandem</i>	91
<i>Figura 8.2: Curvas de diseño de un pavimento flexible para B747-100, SR, 200B, C, F (Áreas críticas)</i>	93
<i>Figura 8.3: Curvas de diseño de un pavimento flexible para tren dual tandem</i>	95
<i>Figura 8.4: Curvas de diseño de un pavimento flexible para B747-100, SR, 200B, C, F (áreas no críticas)</i>	100
<i>Figura 8.5: Secciones transversales del pavimento flexible crítico</i>	102
<i>Figura 8.6: Secciones transversales del pavimento flexible no crítico</i>	102

<i>Figura 9.1: Relación entre CBR – K (módulo de reacción de la subrasante).....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 9.2: Efecto de la capa de cimentación sobre el módulo de reacción del terreno de fundación.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 9.3: Curvas opcionales para el diseño de pavimento rígido, tren dual tandem.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 9.4: Efecto de la capa de cimentación sobre el módulo de reacción del terreno de fundación.</i>	<i>109</i>
<i>Figura 9.5: Curva opcional para diseño de pavimento rígido, tren dual tandem</i>	<i>111</i>
<i>Figura 9.6: Efecto de la capa de cimentación sobre el módulo de reacción del terreno de fundación.</i>	<i>113</i>
<i>Figura 9.7: Curva para diseño de pavimento rígido, tren dual tandem</i>	<i>117</i>
<i>Figura 9.8: Secciones transversales del pavimento rígido crítico.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 9.9: Secciones transversales del pavimento rígido no crítico.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 9.10: Detalle de juntas-Zona “A”</i>	<i>127</i>
<i>Figura 9.11: Detalle de juntas-Zona “B”</i>	<i>128</i>
<i>Figura 9.12: Detalle de juntas-Zona “C”</i>	<i>129</i>
<i>Figura 9.13: Detalle de juntas-Zona “D”</i>	<i>130</i>



LISTA DE RESULTADOS DE ENSAYOS:

<i>Resultado de ensayo 4.1: Análisis granulométrico - Subrasante.....</i>	<i>61</i>
<i>Resultado de ensayo 4.2: Ensayo de Proctor Modificado - Subrasante.....</i>	<i>62</i>
<i>Resultado de ensayo 4.3: Ensayo de CBR - Subrasante.....</i>	<i>63</i>
<i>Resultado de ensayo 6.1: Análisis granulométrico -Base.....</i>	<i>73</i>
<i>Resultado de ensayo 6.2: Ensayo de Proctor modificado - Base.....</i>	<i>74</i>
<i>Resultado de ensayo 6.3: Ensayo de CBR - Base.....</i>	<i>75</i>
<i>Resultado de ensayo 6.4: Análisis granulométrico - Subbase.....</i>	<i>77</i>
<i>Resultado de ensayo 6.5: Ensayo de Proctor modificado - Subbase.....</i>	<i>78</i>
<i>Resultado de ensayo 6.6: Ensayo de CBR - Subbase.....</i>	<i>79</i>



1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

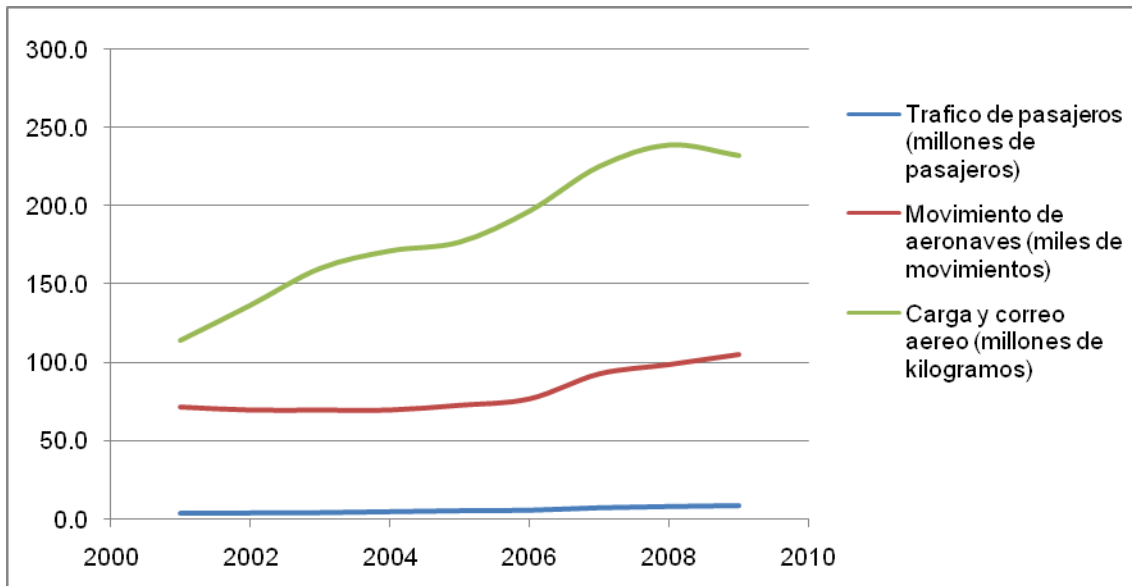
En el contexto globalizado actual, los aeropuertos serán las infraestructuras claves del siglo XXI, ya que viajar en avión trae muchas ventajas en comparación a viajar empleando otro medio de transporte; por ejemplo, una de las principales ventajas es que permite recorrer grandes distancias en un periodo de tiempo mucho menor al que se haría empleando otro medio. Estas ventajas han hecho que el número de usuarios se incremente rápidamente en los últimos años. Según las estadísticas del tráfico aéreo del Aeropuerto Jorge Chávez, que se muestra en la Tabla 1.1, se puede reconocer que el Perú no es ajeno a este crecimiento aéreo.

Tabla 1.1: Movimientos en el Aeropuerto Jorge Chávez 2001-2009

Año	Tráfico de pasajeros (millones de pasajeros)	Movimiento de aeronaves (miles de movimientos)	Carga y correo aéreo (millones de kilogramos)
2001	4.1	72.2	114.3
2002	4.3	70.3	136.7
2003	4.5	70.3	160.3
2004	5.1	70.3	171.5
2005	5.7	73.3	177.1
2006	6	77.3	196.9
2007	7.5	92.9	225.4
2008	8.3	98.7	239.1
2009	8.8	105	232.4

Fuente: Lima Airport Partners. *Memoria Annual*. (En línea). Lima: 2009. Consulta: 01 de Febrero de 2011.
(http://www.lap.com.pe/lap_portal/pdf/memoriaanual2009.pdf)

Figura 1.1: Movimientos en el Aeropuerto Jorge Chávez 2001-2009



Fuente: Propia.

Es así, que para poder mantener un servicio ordenado y eficiente es necesario continuar la ampliación de la infraestructura del aeropuerto Jorge Chávez.

Como se muestra en la tabla 1.2, LAP (Lima Airport Partners: consorcio encargado de administrar el aeropuerto) ya ha venido realizando dichos trabajos; sin embargo, dada la ubicación del aeropuerto en una zona urbana de la provincia del Callao, *“una de la dificultades que viene afrontando el aeropuerto es la falta de espacio para seguir creciendo”*.

Tabla 1.2: Crecimiento Infraestructural – Aeropuerto Jorge Chávez

Área del terminal (m ²)	Área de plataforma (m ²)	N° de posiciones de estacionamiento de aeronaves	Longitud de pista de aterrizaje (m)
39467	165000	18	3507
65528	292792	39	3507
84570	304881	39	3507
85531	304881	39	3507

Fuente: Lima Airport Partners. Memoria Anual. (En línea). Lima: 2009. Consulta: 01 de Febrero de 2011. (http://www.lap.com.pe/lap_portal/pdf/memoriaanual2009.pdf)

Como una posible solución, se puede plantear la construcción de un nuevo aeropuerto ubicado al sur de Lima en el distrito de Punta Hermosa, siendo el diseño del área de movimiento, el tema que abarca la presente tesis.

Dicho aeropuerto, de acuerdo a la ubicación planteada, sería una alternativa factible ya que Punta Hermosa cumple adecuadamente las siguientes consideraciones que cita el autor López Pedraza (1970) para el emplazamiento de un aeropuerto:

- Espacio aéreo necesario.
- Situación respecto al centro urbano.
- Economía de construcción.
- Condiciones meteorológicas.

Para el diseño del pavimento propuesto, se empleará la configuración geométrica y el registro del tráfico del año 2010 del Aeropuerto Jorge Chávez. Por otro lado, para los cálculos de los espesores de las capas de los pavimentos se seguirá la metodología empleada por la *Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos* (FAA), ya que la mayor parte de los aviones internacionales que aterrizan en nuestro país son de procedencia americana y además el Perú no cuenta con un manual propio de diseño de pavimentos de aeropuertos.

A lo largo de la presente tesis plantearemos dos diseños; el primero consiste íntegramente en un pavimento rígido y el segundo íntegramente en un pavimento flexible. Para estos tipos de pavimentos, la entidad mencionada líneas arriba (FAA) emplea el método del índice de resistencia de California (CBR) para el cálculo de pavimentos flexibles, y para el caso de pavimentos rígidos sigue la hipótesis de carga sobre los bordes.

Finalmente se evaluará las ventajas y desventajas de un pavimento respecto al otro y se determinará el costo de construcción de la alternativa más conveniente.

1.2. ANTECEDENTES

El área planteada como emplazamiento del aeropuerto posee un relieve llano y continuo, libre de accidentes topográficos tales como: ríos, barrancos, linderos, etc., por cual la construcción de una pista de aterrizaje es factible.

Por otro lado, se encontrará ubicado a una distancia aproximada de 2km de una zona urbana (esto representa una ventaja ya que a esta distancia los ruidos que se generan con la puesta en marcha de las turbinas son menos intensos).

En cuanto al tipo de suelo encontrado en la zona, este contiene materiales finos tales como arcillas y limos, los cuales serán empleados en la subrasante de la estructura del pavimento evaluando si es necesario estabilizarlo con algún otro material. Por otro lado, el nivel freático de la zona está ubicado a 15m de la superficie.

Otra ventaja que posee la ubicación elegida es la cercanía a las canteras Loma Verde y Limatambo. El material de estas canteras debe ser evaluado para verificar si las características que posee son las adecuadas para la base y subbase del proyecto, asimismo, se debe verificar que el volumen del material que poseen sea suficiente para abastecer al proyecto.

1.3. OBJETIVOS

Los objetivos principales se detallan a continuación:

- Diseñar el pavimento del área de movimiento de un aeropuerto, ubicado en Punta Hermosa, utilizando el método de la FAA.
- Determinar la mejor alternativa entre el pavimento rígido y pavimento flexible.
- Realizar un estudio de costo y presupuesto para la alternativa más conveniente.

1.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El pavimento del aeropuerto propuesto en la presente tesis estará ubicado en el distrito de Punta Hermosa, departamento de Lima, situado al sur de la provincia de Lima entre el Km. 42 y 46 de la carretera Panamericana Sur, ver figura 1.2.

Punta Hermosa limita al norte con el distrito de Lurín, al este con el Distrito de Santo Domingo de Olleros de la Provincia de Huarochirí, al sur con el Distrito de Punta Negra y al oeste con el Océano Pacífico.

Este distrito es uno de los 43 que conforman la provincia de Lima; tiene una superficie total de 119 Km², una población de 4,676 habitantes que el INEI registro en el año 2005, y una densidad poblacional de 39,1 hab/km² la cual va creciendo cada año ya que Punta Hermosa se está volviendo la cuna del deporte del surf.

Figura 1.2: Ubicación del Aeropuerto



Fuente: Google earth

2. MARCO TEÓRICO

2.1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

El autor LOPEZ PEDRAZA (1970)¹ indica que los pavimentos se clasifican en flexibles y rígidos; independientemente de esta clasificación, la estructura de cualquier pavimento está formada por tres capas de diversos materiales elaborados de alta calidad, estos son:

- Capa de rodadura: En la que se apoya directamente el avión.
- Capa base: Debe ser perfectamente estable.
- Capa subbase.

Además, el autor antes mencionado (Ref. 1), considera que: *“el pavimento tiene por misión repartir las grandes cargas originadas por las ruedas de los aviones en superficies tales, que la carga unitaria en los terrenos no llegue a producir su rotura”*.

Otra función del pavimento es proporcionar una superficie de rodadura segura y uniforme en todo tiempo, donde el espesor de cada capa debe asegurar que las cargas que tiene que soportar no deterioren la capa superficial ni las capas subyacentes².

2.1.1. PAVIMENTO RÍGIDO

Según el circular de asesoramiento AC 150/5320-6D de la FAA³, la estructura de los pavimentos rígidos de los aeropuertos están formadas por una losa de concreto de cemento portland, suprayacente a una capa subbase que puede ser omitida según se presenten las siguientes condiciones.

¹ LOPEZ-PEDRAZA, Francisco. *Aeropuertos*. Tercera edición. España: Paraninfo, 1970, p. 359.

² HORONJEFF, R. *Planificación y Diseño de Aeropuertos*. Traducción de Carlos Ceballos. Segunda edición americana. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1975, p. 373.

ASHFORD N. y WRIGHT P. *Airport Engineering*. Traducción propia. Tercera edición. Estados Unidos: JhonWiley&Sons, 1992, p. 390.

³ FAA, AC No: 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Traducción propia. Estados Unidos: 1995, p. 4, 5, 7, 8, 9, 10, 16, 23, 24, 31, 32, 34, 51, 55, 58, 85, 85, 86, 86-1, 87 y 88.

Tabla 2.1: Condiciones donde no se requiere subbase según la clasificación del suelo de la subrasante

Soil Classification	Good Drainage		Poor Drainage	
	No Frost	Frost	No frost	Frost
GW	X	X	X	X
GP	X	X	X	
GM	X			
GC	X			
SW	X			

Note: X indicates conditions where no subbase is required

Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

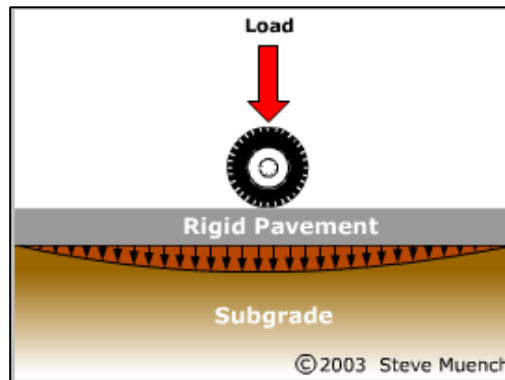
La estructura de los pavimentos rígidos presenta una mínima deflexión bajo la acción de cargas, esto es debido al alto valor del módulo de elasticidad que posee la capa de rodadura; de la misma forma, debido a la alta rigidez del concreto la distribución de cargas se reparte sobre un área considerable⁴.

En adición a lo mencionado anteriormente, el autor Montejo Alonso (2006)⁵ dice que “la capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento”.

⁴MUENCH, Stephen; MAHONEY, Joe; PIERCE, Linda. *Pavement types – Rigid Pavement*. (En línea). Pavement Tools Consortium. Consulta: 06 de Mayo del 2011 (<http://training.ce.washington.edu/PGI/>).

⁵MONTEJO, Alonso. *Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño*. Tercera edición. Colombia: Universidad Católica de Colombia, 2006, p. 4, 5, 509 y 565.

Figura 2.1: Distribución de cargas en un pavimento rígido



Fuente: MUENCH, Stephen; MAHONEY, Joe; PIERCE, Linda. *Pavement types - Rigid Pavement*. (En línea). Pavement Tools Consortium. Consulta: 06 de Mayo del 2011 (<http://training.ce.washington.edu/PGI/>)

Alfonso Montejo (Ref. 5) detalla a continuación las características de las capas de un pavimento rígido.

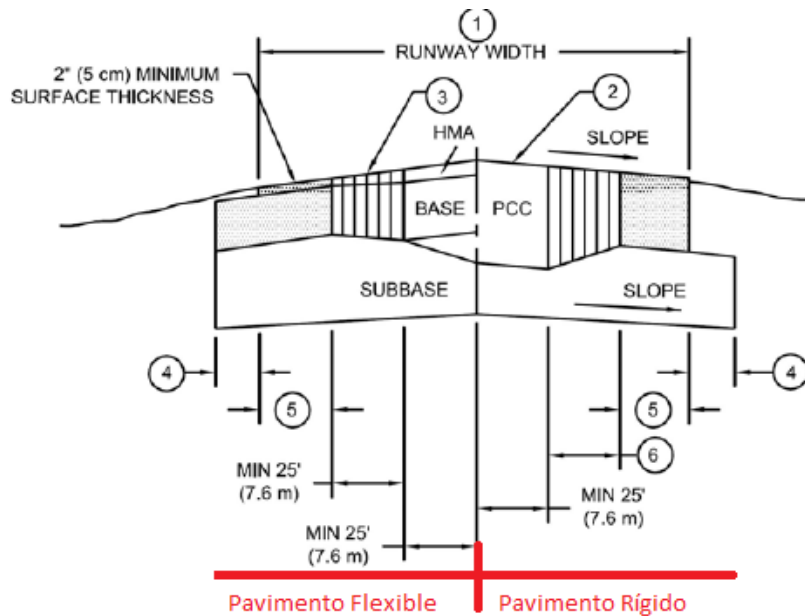
Capa de rodadura:

La capa de rodadura está formada por una losa de concreto hidráulico. Esta debe presentar una superficie uniforme y de textura antideslizante. Debe ser capaz de resistir los efectos abrasivos del tránsito y prevenir la infiltración del agua superficial al interior del pavimento. De igual manera, debe soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que se le apliquen.

Subbase:

Esta capa debe impedir la acción de bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento, además debe servir como transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento. También ayuda a mejorar la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.




Figura 2.2: Sección típica de un pavimento rígido



NOTES:

- ① RUNWAY WIDTH IN ACCORDANCE WITH APPLICABLE ADVISORY CIRCULAR.
- ② TRANSVERSE SLOPES IN ACCORDANCE WITH APPLICABLE ADVISORY CIRCULAR.
- ③ SURFACE, BASE, PCC, ETC. THICKNESS AS REQUIRED.
- ④ MINIMUM 12" (30 cm) UP TO 36" (90 cm) ALLOWABLE.
- ⑤ THIS DIMENSION WILL INCREASE FOR RUNWAYS WIDER THAN 150' (45.7 m).
- ⑥ WIDTH OF TAPERS AND TRANSITIONS ON RIGID PAVEMENTS SHALL BE AN EVEN MULTIPLE OF SLABS, MINIMUM ONE SLAB WIDTH.

LEGEND:

-  FULL PAVEMENT THICKNESS (DESIGN USING 100% DEPARTURE TRAFFIC).
-  PAVEMENT THICKNESS TAPERS TO OUTER EDGE THICKNESS.
-  OUTER EDGE THICKNESS (DESIGN USING 1% DEPARTURE TRAFFIC).

Fuente: FAA AC 150/5320-6E. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 2009.

Juntas en pavimentos de concreto:

Las juntas de los pavimentos rígidos se colocan con la finalidad de disminuir los esfuerzos y grietas que se generan por los cambios de volumen y deformaciones en la losa, producto de las variaciones de temperatura y del contenido de humedad en el concreto. Es recomendable que las losas que resultan de dividir el pavimento por medio de juntas, sean lo más cuadradas posibles cuando no se utilice refuerzo de acero en el concreto (Ref. 3).

La FAA (Ref. 3) clasifica a las juntas según la función que desempeñen; en las figuras 2.3 y 2.4 se pueden ver los detalles de cada tipo de junta.

Juntas de Expansión:

Su función consiste en aislar intersecciones de pavimentos o estructuras contiguas a un pavimento. Existen dos tipos:

El tipo A, está provisto de dowels y es usado cuando se requiere transferir cargas a través de la junta.

El tipo B, se utiliza cuando las condiciones no permitan la utilización de dowels. Estas juntas están formadas por el aumento del espesor del pavimento a lo largo del borde de la losa.

Juntas de contracción:

Su función es proporcionar control de las grietas del pavimento cuando éste se contrae debido a la disminución del contenido de humedad o al descenso de temperatura. Las juntas de contracción también disminuyen las tensiones causadas por la deformación de la losa. Estas juntas se dividen en tres tipos: F, G y H.

Juntas de construcción:

Se emplean cuando se colocan dos losas de pavimento en diferentes momentos. Estas juntas se dividen en tres tipos: C, D y E.

Espaciado de juntas:

La FAA (Ref. 3) sugiere ciertas recomendaciones en el espaciado de juntas cuando se tiene una subbase sin estabilizar:

Subbase sin estabilizar:

En este caso se recomienda que el espacio de la junta (pies) no exceda de dos veces el espesor de la losa (pulgadas) y que el cociente entre el largo de una losa y el ancho de la misma no exceda de 1,25, en pavimentos no reforzados. En la tabla 2.2 se muestran las medidas máximas recomendables para el espaciamiento de juntas sobre una base sin estabilizar.

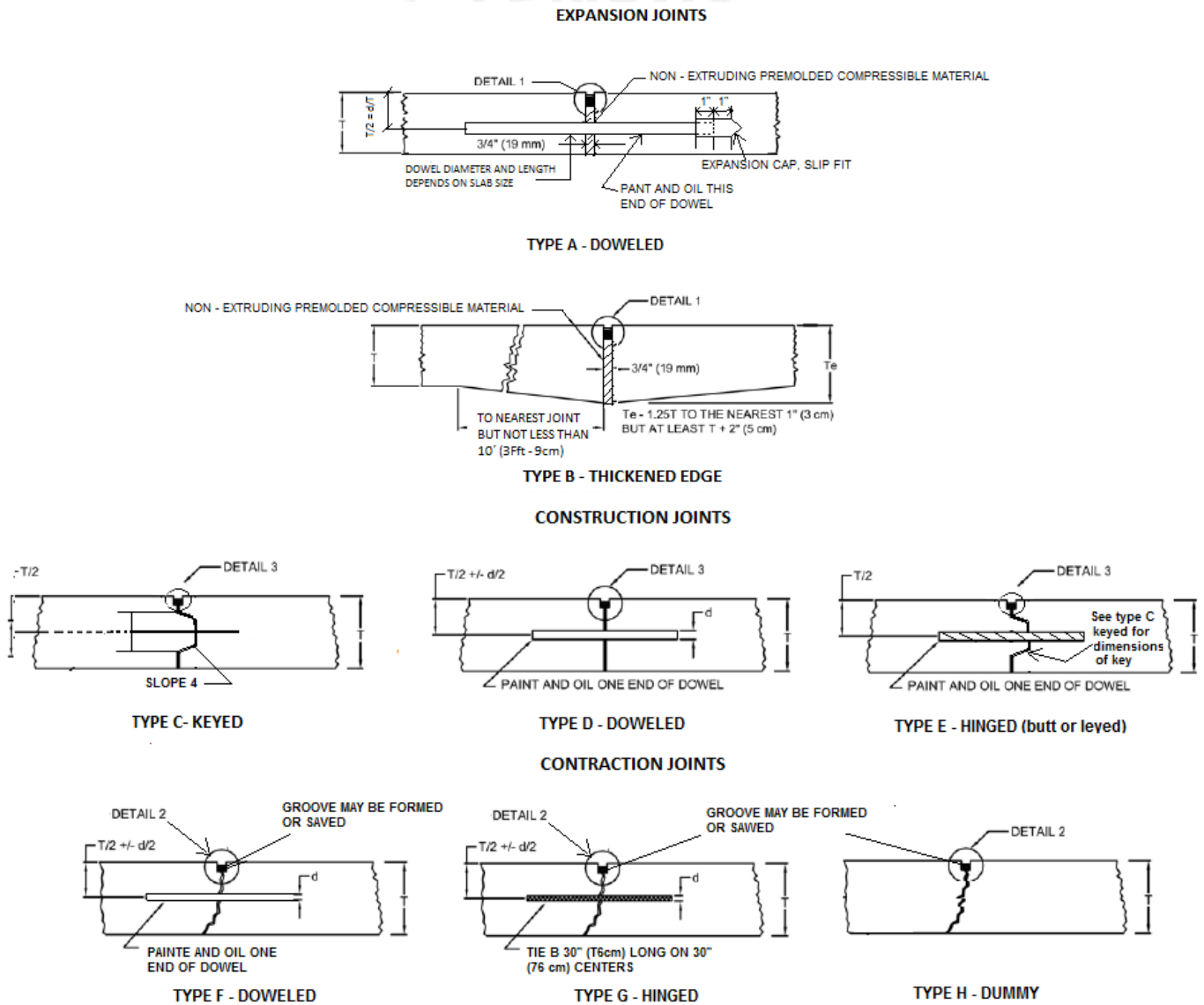
Tabla 2.2: Espaciamiento máximo de juntas de pavimento rígido sobre base sin estabilizar

Slab Thickness		Transverse		Longitudinal	
Inches	Millimeters	Feet	Meters	Feet	Meters
6	150	12.5	3.8	12.5	3.8
7 - 9	175 - 230	15	4.6	15	4.6
9 - 12	230 - 305	20	6.1	20	6.1
>12	>305	25	7.6	25	7.6

Note: The joint spacings shown in this table are recommended maximum values. Smaller joint spacings should be used if indicated by past experience. Pavements subject to extreme seasonal temperature differentials or extreme temperature differentials during placement may require smaller joint spacings.

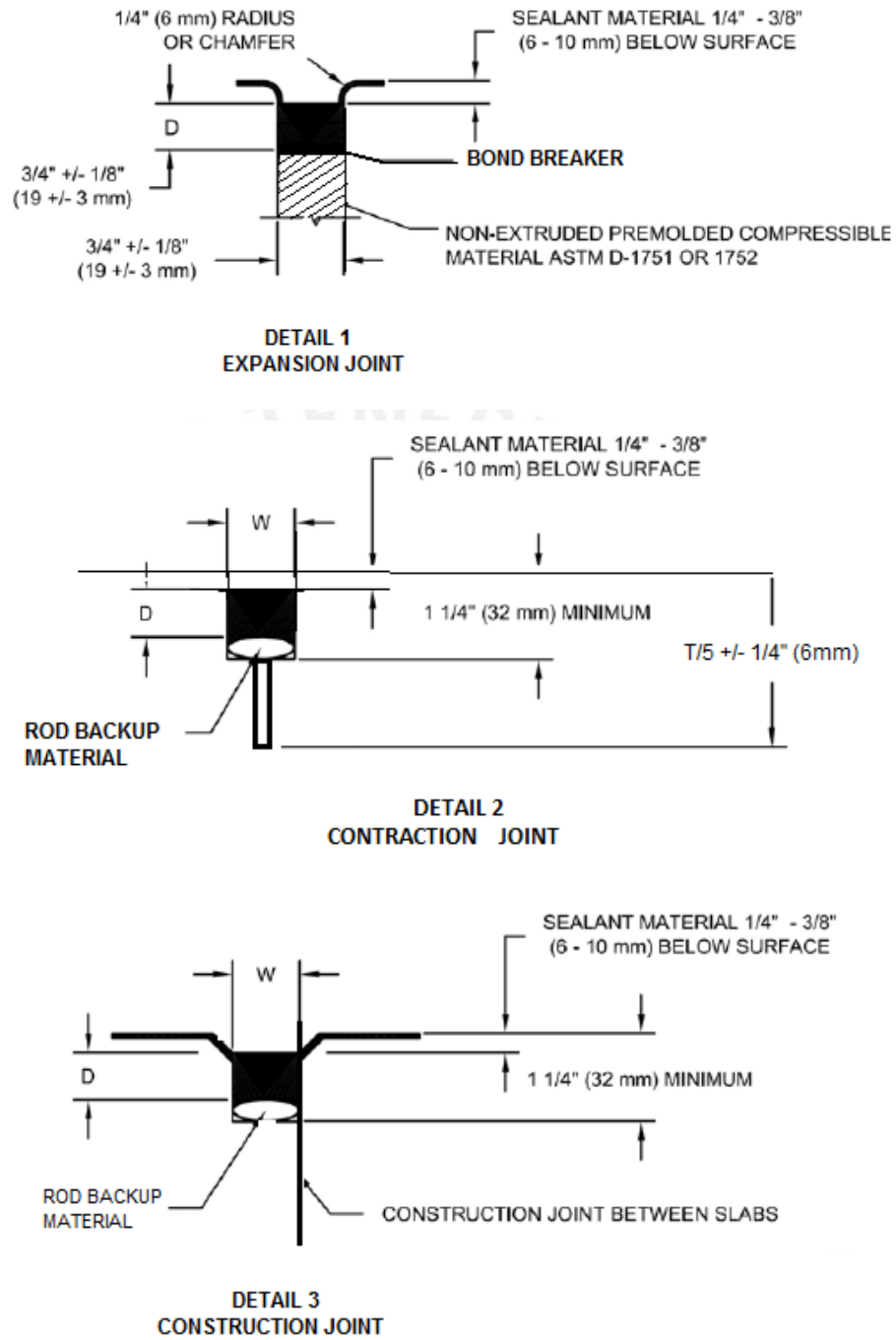
Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

Figura 2.3: Tipos de juntas



Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

Figura 2.4: Detalles de juntas



Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

Consideraciones especiales de juntas:

La FAA (Ref. 3) menciona las siguientes consideraciones, según resultados de experiencias pasadas.

- Las juntas Keyed (Tipo C) no deben ser empleadas en losas de menos de 9" (230mm) de espesor.
- Cuando existan aeronaves de fuselaje ancho que hacen uso de las instalaciones, se deben seguir las siguientes recomendaciones:
 - ✓ En fundaciones de baja resistencia (menores a 200PCI o 54MN/m^3) se recomienda las juntas tipo D o B, asimismo, se debe evitar emplear juntas tipo Keyed.
 - ✓ En fundaciones de resistencia media (200 a 400PCI o de 54 a 109MN/m^3) se recomienda emplear juntas tipo D, E o B.
 - ✓ En fundaciones de alta resistencia (mayor a 400 PCI o 109MN/m^3) se pueden emplear juntas tipo C.
- Cuando se pretende expandir un pavimento en el futuro, se debe proveer al borde apropiado una junta tipo B.

Otras recomendaciones que el autor Alfonso Montejo (Ref. 5) considera importantes, para el uso del tipo de junta, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.3: Descripción y uso de las juntas de pavimentos rígidos de aeropuertos

Tipo	Descripción	Longitudinal	Transversal
A	Junta de expansión con varillas de transferencia de carga		En intersección siempre que puedan colocarse las varillas
B	Junta de expansión con bordes de mayor espesor	En inyecciones donde no es conveniente colocar varillas de transferencia y contra estructuras fijas.	En intersección en las que no sea factible construir las tipo A
C o D	Junta de construcción machihembrada o plana con varillas de transferencia	Se usa para todas las juntas de construcción a excepción de los sitios donde se emplea la tipo E	Emplear la tipo D cuando haya detenciones o demoras en las operaciones de pavimentación
E	Junta machihembrada con varillas de unión	En todas las juntas de construcción de los carreteros y cualquiera otras juntas que se construyan a 7.6m o menos del borde del pavimento	
F	Junta de construcción simulada con varillas de transferencia		Se emplea al menos para las tres últimas juntas de contracción antes de un borde libre para las primeras dos juntas contiguas a una de expansión
G	Junta de contracción con varillas de unión	En la línea central de carreteros cuando allí no se contempla una junta de construcción longitudinal, salvo cuando haya aviones de cabina ancha en cuyo caso la varilla corrugada se reemplaza por una de transferencia	
H	Junta simulada de contracción sencilla	En todas las juntas de contracción donde no se especifique la tipo G	En todas las juntas de contracción donde no se especifique la tipo F.

Fuente: MONTEJO, Alonso. *Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño*. Colombia: 2006.

Acero en las juntas:

La FAA (Ref. 3) menciona que el acero en juntas puede ser de dos tipos:

Barras de amarre: Se emplean para mantener las caras de las losas en contacto cercano, no actúan como dispositivos de transferencia de carga. Es recomendable que estas barras sean de 5/8 pulg (16 mm) de diámetro, tengan 30 pulg (7.5 cm) de longitud y que la separación entre varillas sea de 30 pulg (7.5 cm).

Doweled: Se emplean para transferir carga a través de una junta. Los dowels previenen el desplazamiento vertical en los bordes de las losas adyacentes, sin embargo si permiten los movimientos longitudinales a lo largo de estas.

En la tabla 2.4, se muestra las dimensiones y los espaciamientos recomendados para el uso de las juntas dowels, para diferentes espesores de pavimento.

Tabla 2.4: Dimensiones y espaciamiento de los dowels

Thickness of Slab	Diameter	Length	Spacing
6 - 7 in (150 - 180 mm)	3/4 in (20 mm)	18 in (460 mm)	12 in (305 mm)
8 - 12 in (210-305 mm)	1 in (25 mm)	19 in (480 mm)	12 in (305 mm)
13 - 16 in (330 - 405 mm)	1 1/4 in (30 mm)	20 in (510 mm)	15 in (380 mm)
17 - 20 in (430 - 510 mm)	1 1/2 in (40 mm)	20 in (510 mm)	18 in (460 mm)
21 - 24 in (535 - 610 mm)	2 in (50 mm)	24 in (610 mm)	18 in (460 mm)

Dowels noted may be a solid var or high- strength pipe. High-strength pipe dowels must be plugged on each end with a tight-fitting plastic cap or with bituminous or motar mix.

Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

Rellenos y Selladores de juntas:

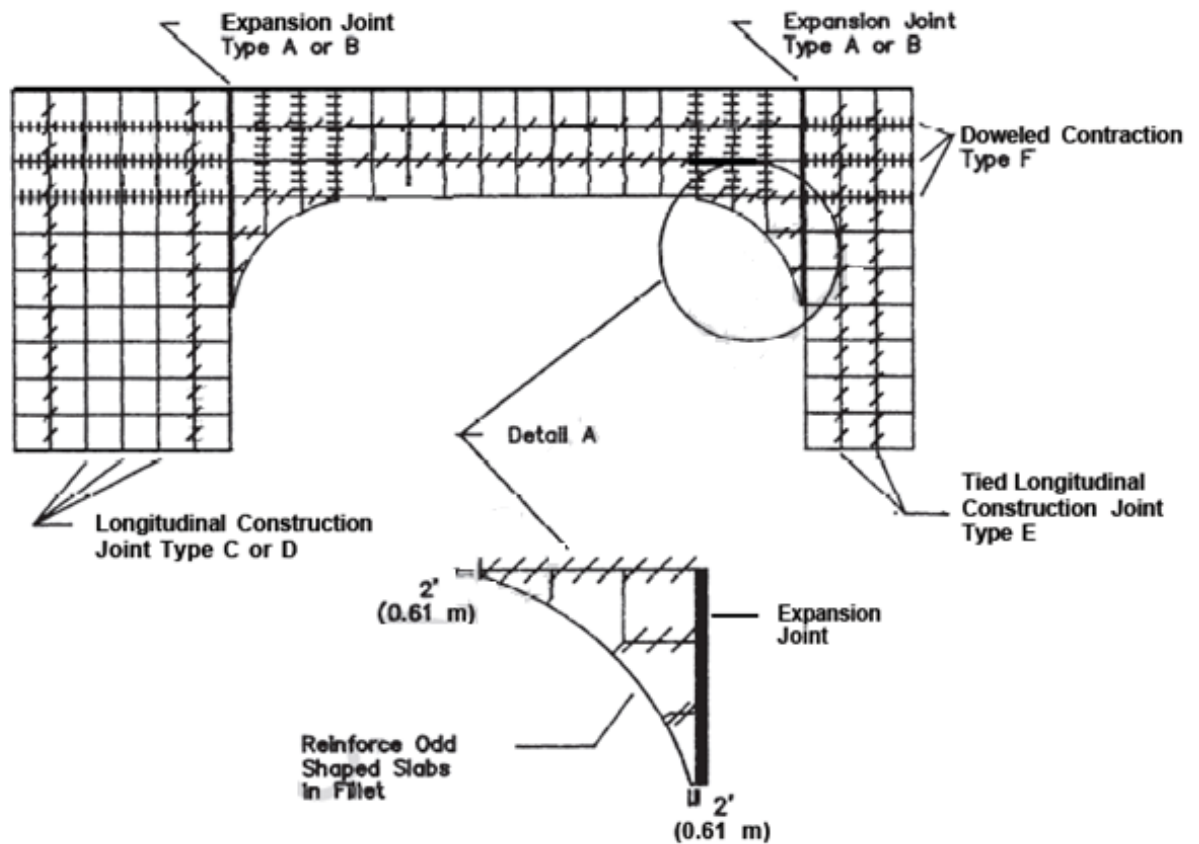
Los selladores se emplean en todo tipo de juntas y tienen por función evitar que ingrese agua y materiales extraños en estas.

Los rellenos compresibles son empleados en juntas de dilatación para permitir la expansión de las losas y sobre estos rellenos se aplica los selladores de juntas (Ref.3).

Distribución de juntas:

La FAA recomienda la distribución de juntas, mostrada en la figura 2.5, cuando se tenga una intersección de 90° entre la pista de aterrizaje y calle de rodaje.

Figura 2.5: Distribución de juntas



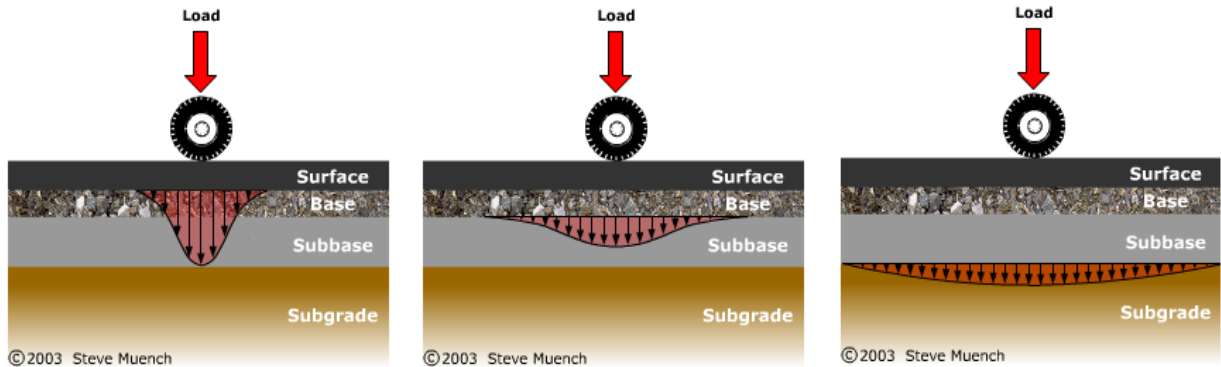
Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

2.1.2. PAVIMENTO FLEXIBLE

El circular de asesoramiento 150/5320-6D de la FAA (Ref. 3) divide la estructura del pavimento flexible en una capa de mezcla de asfalto caliente apoyada sobre una capa base y, dependiendo de las condiciones de la subrasante, se colocará una capa subbase.

La capacidad de carga y la calidad de los materiales de las capas mencionadas anteriormente decrece según la profundidad a las que se encuentran, ya que: *“cada capa recibe las cargas de la capa superior, las extiende en un área mayor y luego las pasa a la siguiente capa. Así resulta la última capa, ser la menos cargada (en términos de fuerza por área)”*. (Ref. 4).

Figura 2.6: Distribución de cargas en un pavimento flexible



Fuente: MUENCH, Stephen; MAHONEY, Joe; PIERCE, Linda. Pavement types - Flexible Pavement. (En línea). Pavement Tools Consortium. Consulta: 06 de Mayo del 2011 (<http://training.ce.washington.edu/PGI/>)

La FAA (Ref. 3) detalla las características de las capas de un pavimento flexible, como se describe a continuación.

Capa de rodadura:

La capa de rodadura es una mezcla de asfalto caliente compuesta de agregados y ligantes bituminosos. Esta debe evitar la penetración de las aguas superficiales a la capa base, además, debe proporcionar una superficie lisa, resistir los esfuerzos cortantes inducidos por la carga de las ruedas del avión, y también proporcionar una textura antideslizantes que no cause un desgaste excesivo en los neumáticos.

La desventaja que presenta este tipo de superficie es que suele dañarse cuando se producen derrames de combustible, líquido hidráulico u otros solventes ya que estos compuestos se evaporan lentamente y ablandan el betún asfáltico. Esto suele darse con mayor frecuencia en las áreas de abastecimiento de combustible y de mantenimiento de aeronaves.

Capa base:

La capa base es el principal componente estructural del pavimento flexible. Su función principal es la de transmitir las cargas de la rueda de los aviones a la subbase y subrasante. La capa base debe

ser de tal calidad y espesor que deberá evitar la fallas en la subrasante y soportar las tensiones producidas en la propia base. También deberá resistir las presiones verticales que tienden a producir la consolidación y la distorsión de la capa de rodadura, y los cambios de volumen causados por las fluctuaciones en su contenido de humedad.

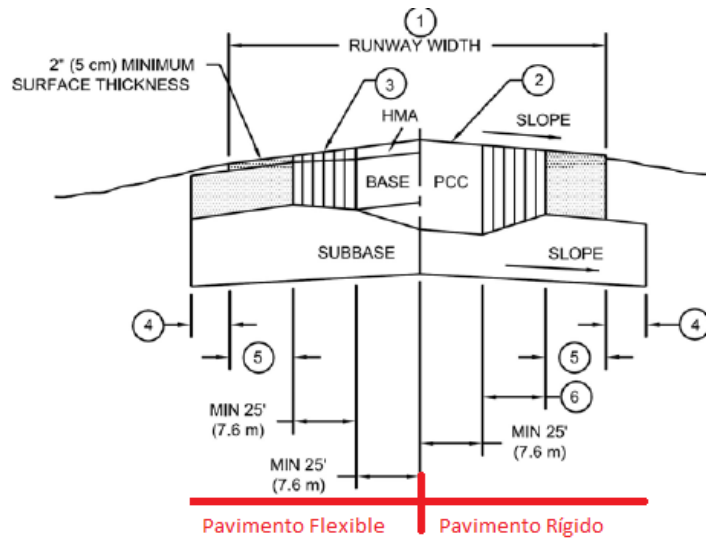
Los pavimentos flexibles deberán tener, para la capa base, un valor mínimo de CBR de 80 y la calidad dependerá de la composición, propiedades físicas y compactación.

Capa subbase:

Una capa subbase deberá estar incluida como parte integral en todo pavimento flexible, excepto cuando la subrasante presente un valor de CBR de 20 o más (usualmente para tipos de suelos GW y GP).

Otra consideración que menciona el AC 150/5320-6D de la FAA es que cuando la aeronave de diseño tenga un peso de 100 000 lb (45 350 Kg) o más, será necesario estabilizar la capa base y subbase, sin embargo, si los materiales disponibles son óptimos y permiten obtener un CBR mínimo de 100 para la base y un CBR mínimo de 35 para la subbase, no será necesario estabilizar estas capas (Ref. 3).

Figura 2.7: Sección típica de un pavimento flexible



NOTES:

- ① RUNWAY WIDTH IN ACCORDANCE WITH APPLICABLE ADVISORY CIRCULAR.
- ② TRANSVERSE SLOPES IN ACCORDANCE WITH APPLICABLE ADVISORY CIRCULAR.
- ③ SURFACE, BASE, PCC, ETC. THICKNESS AS REQUIRED.
- ④ MINIMUM 12" (30 cm) UP TO 36" (90 cm) ALLOWABLE.
- ⑤ THIS DIMENSION WILL INCREASE FOR RUNWAYS WIDER THAN 150' (45.7 m).
- ⑥ WIDTH OF TAPERS AND TRANSITIONS ON RIGID PAVEMENTS SHALL BE AN EVEN MULTIPLE OF SLABS, MINIMUM ONE SLAB WIDTH.

LEGEND:

- FULL PAVEMENT THICKNESS (DESIGN USING 100% DEPARTURE TRAFFIC).
- PAVEMENT THICKNESS TAPERS TO OUTER EDGE THICKNESS.
- OUTER EDGE THICKNESS (DESIGN USING 1% DEPARTURE TRAFFIC).

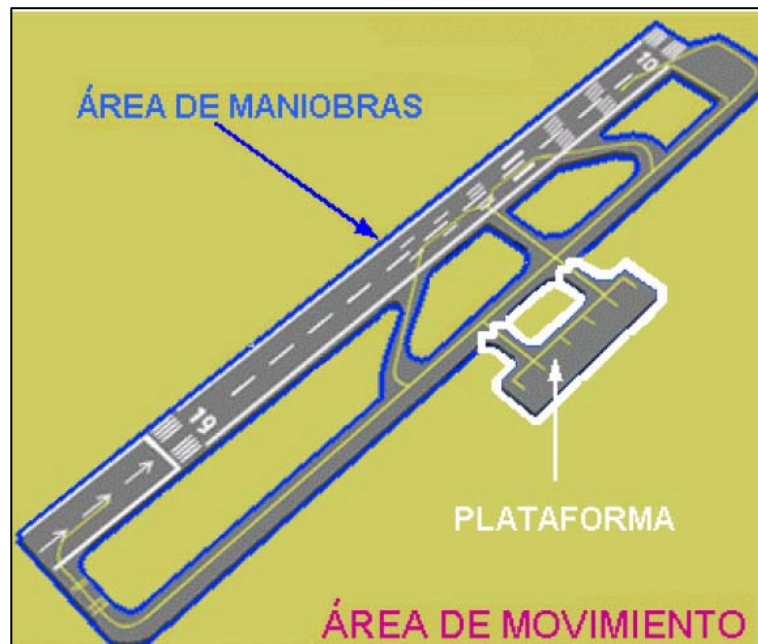
Fuente: FAA AC 150/5320-6E. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 2009.

2.2. CARACTERISTICAS FISICAS DE PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS

El área de movimiento abarca: la pista de aterrizaje, calles de rodaje y la plataforma. Cada una de estas áreas tiene una función específica con el fin de permitir el movimiento seguro y fluido de las aeronaves.⁶

⁶ OACI. *Manual de Diseño de aeródromos - Parte 1, Pistas*. Tercera edición. Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional, 2006, p. 1-1, 5-1, 5-2, 5-5 hasta la 5-17.

Figura 2.8: Área de movimiento de un aeropuerto



Fuente: CEJUDO, P. *Gestión Aeroportuaria*. (En línea). Curso en Gestión Aeronáutica y Aeroportuaria. Consulta: 08 de Junio del 2011 (http://193.146.228.22/ga/jar/aeropuertos/tema3pag1_23.pdf).

Para poder relacionar entre sí las numerosas especificaciones concernientes a las características físicas de estas zonas, la OACI (*) propone un método simple denominado clave de referencia. *“Este método consiste en dos elementos que se relacionan con las características y dimensiones de los aviones. El elemento 1 es un número basado en la longitud del campo de referencia del avión y el elemento 2 es una letra basada en la envergadura del avión y en la anchura total del tren de aterrizaje principal”* (Ref. 6).

En la Tabla 2.5, se muestra los números y letras de referencia de aeródromo.

(*) La OACI (Organización Internacional de Aeronáutica Civil) está conformada por diversos países, incluyendo a los EEUU. Esta organización se desarrolló para regular, hacer cumplir normas de seguridad en la aviación civil y fomentar el desarrollo de rutas aéreas civiles en todo el mundo.

La FAA y la OACI se combinan en un esfuerzo conjunto para promover y fomentar el desarrollo de aerovías, aeropuertos y otras instalaciones y servicios aeronáuticos satisfaciendo las necesidades de las personas de seguridad, confort y economía, sin embargo, la FAA tiene autoridad sobre todos los asuntos de aviación civil en los Estados Unidos.

Tabla 2.5: Clave de referencia

ELEMENTO 1 DE LA CLAVE		ELEMENTO 2 DE LA CLAVE		
Núm. De clave	Longitud de campo de referencia del avión	Letra de clave	Envergadura	Anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal ^(a)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Menos de 800 m	A	Hasta 15 m (exclusive)	Hasta 4.5 m (exclusive)
2	Desde 800 m hasta 1200 m (exclusive)	B	Desde 15 m hasta 24 m (exclusive)	Desde 4.5 m hasta 6 m (exclusive)
3	Desde 1200 m hasta 1800 m (exclusive)	C	Desde 24 m hasta 36 m (exclusive)	Desde 6 m hasta 9 m (exclusive)
4	Desde 1800 m en adelante	D	Desde 36 m hasta 52 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)
		E	Desde 52 m hasta 65 m (exclusive)	Desde 9 m hasta 14 m (exclusive)

^(a) Distancia entre los bordes exteriores de las ruedas del tren de aterrizaje principal.

Fuente: OACI. *Manual de Diseño de aeródromos - Parte I, Pistas*. Canadá: 2006.

A continuación se detallan los elementos que componen el área de movimiento de las aeronaves.

2.2.1. PISTA DE ATERRIZAJE

El autor CRESPO VILLALAZ (2008) dice que: *“La pista de aterrizaje tiene un área rectangular definida en un aeródromo terrestre preparada para que los aviones tomen tierra y frenen, Además son al mismo tiempo la pista de despegue, en la que los aviones aceleran hasta alcanzar la velocidad que les permite despegar”*⁷.

La FAA considera que las pista de aterrizaje y despegue en campos de aviación en los que operen aeronaves de peso mayor o igual a 30,000 lb (13,000 kg) deben estar pavimentadas con asfalto, concreto hidráulico o un pavimento mixto; en caso contrario, las pistas pueden ser de superficie natural como la hierba o sobre la tierra (Ref. 3).

⁷ CRESPO, C. *Vías de Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos*. Cuarta edición. México: Limusa, 2008, p. 640 y 649.

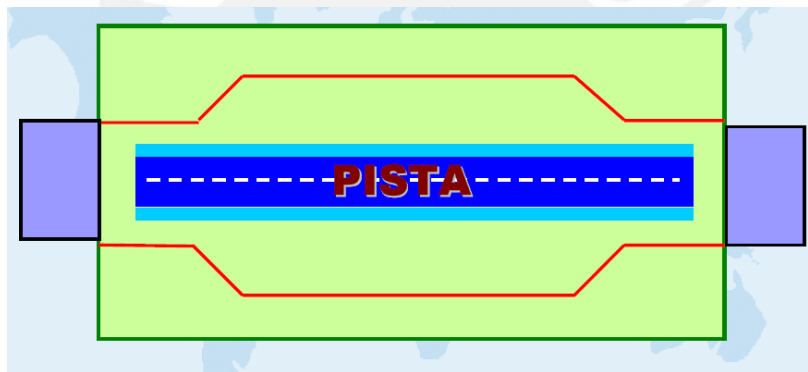
La pista de aterrizaje comprende los siguientes elementos: la pista, los márgenes, las franjas, las áreas de seguridad de extremo de pista, las zonas libres de obstáculos y las zonas de parada. La OACI (Ref. 6) considera estos elementos como se explica a continuación:

Pista:

Es un pavimento estructural diseñado específicamente para soportar los despegues y aterrizajes de las aeronaves que operan sobre ella.

La superficie de la pista debe construirse sin irregularidades ya que estas pueden causar rebotes, cabeceo o vibración excesiva, u otras dificultades en el manejo del avión (Ref. 6).

Figura 2.9: Pista de un aeropuerto



Fuente: OACI y ALACPA. *Anexo 14 y Documentos afines (diapositivas)*. (En línea). Lima: 2005. Consulta: 24 de Junio del 2011. (<http://www.lima.icao.int/MeetProg/2005/AIRPORTPAVEMENT/04%20Cap.%203%20-%20Pistas.pdf>)

Margen de pista:

Los márgenes son bandas de terreno preparado o construido que bordean la pista de tal manera que sirven como transición hasta la franja no pavimentada. Además contribuyen a la prevención de erosión del suelo causada por el chorro de reactor y mitigan los daños de los reactores producidos por objetos extraños.

Los márgenes de pista pueden ser empleados para el tránsito de los equipos de mantenimiento y de emergencia.

Figura 2.10: Margen de una pista de aeropuerto



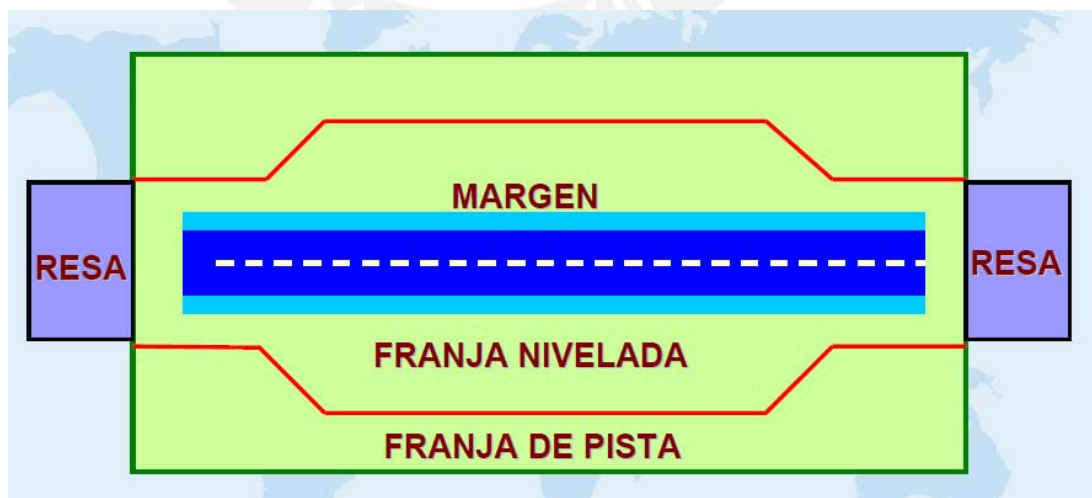
Fuente: OACI y ALACPA. *Anexo 14 y Documentos afines (diapositivas)*. (En línea). Lima: 2005. Consulta: 24 de Junio del 2011. (<http://www.lima.icao.int/MeetProg/2005/AIRPORTPAVEMENT/04%20Cap.%203%20-%20Pistas.pdf>)

Franjas de pista:

La franja de pista es una superficie definida que comprende la pista y la zona de parada, si la hubiese. Su función principal es reducir el riesgo de daños a las aeronaves que se salgan de la pista y proteger a las aeronaves que sobrevuelan durante las operaciones de despegue y aterrizaje.

La franja incluye una porción nivelada que debe prepararse de forma tal que no cause el desplome del tren de proa al salirse la aeronave de la pista.

Figura 2.11: Franja de pista



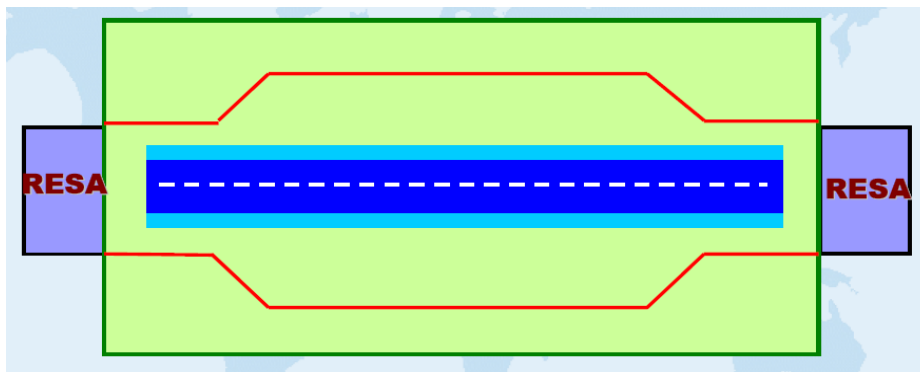
Fuente: OACI y ALACPA. *Anexo 14 y Documentos afines (diapositivas)*. (En línea). Lima: 2005. Consulta: 24 de Junio del 2011. (<http://www.lima.icao.int/MeetProg/2005/AIRPORTPAVEMENT/04%20Cap.%203%20-%20Pistas.pdf>)

Áreas de seguridad de extremo de pista (RESA):

El área de seguridad está presente en los extremos de las pistas de aterrizaje con la finalidad de minimizar los daños que puedan sufrir los aviones al realizar aterrizajes o despegues demasiados cortos o largos.

El ancho de la RESA debe ser por lo menos el doble del ancho de la pista correspondiente.

Figura 2.12: Área de seguridad de extremo de pista

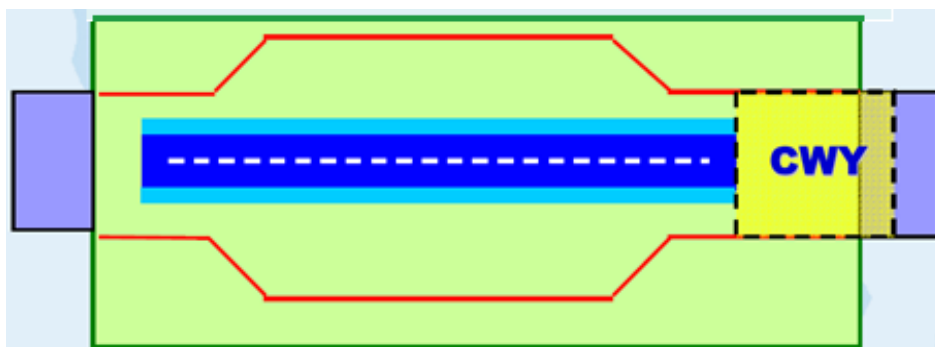


Fuente: OACI y ALACPA. Anexo 14 y Documentos afines (diapositivas). (En línea). Lima: 2005. Consulta: 24 de Junio del 2011. (<http://www.lima.icao.int/MeetProg/2005/AIRPORTPAVEMENT/04%20Cap.%203%20-%20Pistas.pdf>)

Zonas libres de obstáculo (CWY):

La zona libre de obstáculos es un espacio aéreo adecuado sobre el cual un avión puede efectuar una parte del ascenso inicial hasta una altura especificada. Debería estar en el extremo del recorrido de despegue disponible y su longitud no debería exceder de la mitad de este recorrido.

Figura 2.13: Zona libre de obstáculos

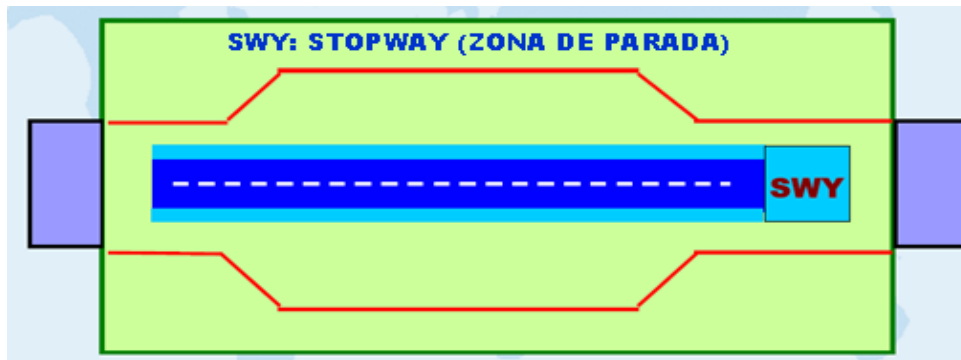


Fuente: OACI y ALACPA. Anexo 14 y Documentos afines (diapositivas). (En línea). Lima: 2005. Consulta: 24 de Junio del 2011. (<http://www.lima.icao.int/MeetProg/2005/AIRPORTPAVEMENT/04%20Cap.%203%20-%20Pistas.pdf>)

Zonas de parada (SWY=STOPWAY):

Es el área situada a continuación de la pista de despegue como se muestra en la figura 2.14 y se emplea en caso un avión requiera desacelerar su velocidad al abortar un despegue.

Figura 2.14: Zona de parada



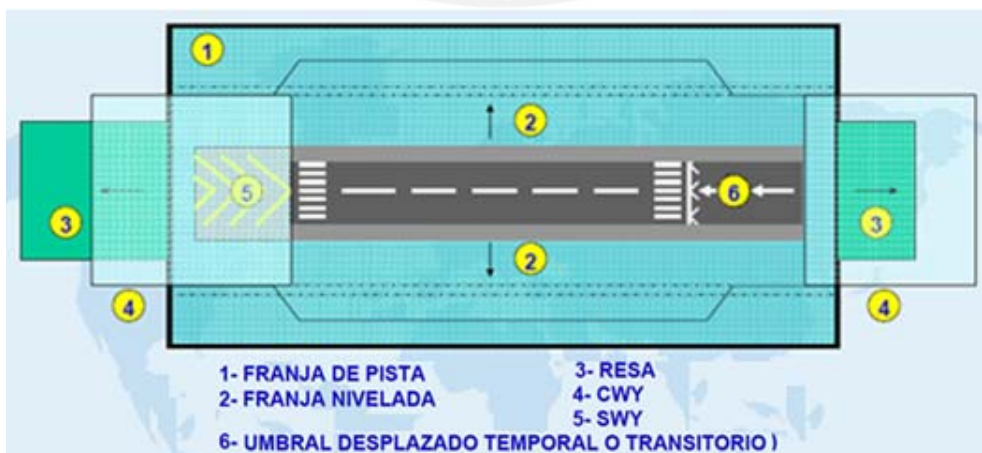
Fuente: OACI y ALACPA. *Anexo 14 y Documentos afines (diapositivas)*. (En línea). Lima: 2005. Consulta: 24 de Junio del 2011. (<http://www.lima.icao.int/MeetProg/2005/AIRPORTPAVEMENT/04%20Cap.%203%20-%20Pistas.pdf>)

Umbral:

Es el comienzo de la pista utilizable para el aterrizaje. Si un objeto sobresale por encima de la zona libre de obstáculos y no puede eliminarse, podría ser conveniente desplazar permanentemente el umbral.

En la figura 2.15 se puede observar todos los elementos, expuestos anteriormente, que comprende una pista de aterrizaje.

Figura 2.15: Partes físicas completas de la pista de aterrizaje



Fuente: OACI y ALACPA. *Anexo 14 y Documentos afines (diapositivas)*. (En línea). Lima: 2005. Consulta: 24 de Junio del 2011. (<http://www.lima.icao.int/MeetProg/2005/AIRPORTPAVEMENT/04%20Cap.%203%20-%20Pistas.pdf>)

2.2.2. CALLE DE RODAJE

Las calles de rodaje conectan las pistas de aterrizaje con los puestos de estacionamiento y *“sirven para el traslado de las aeronaves, utilizando su propulsión propia o mediante tracción ajena”* (Ref. 7).

Con fines de lograr un tránsito fluido en el área de movimiento del aeropuerto es recomendable que el trayecto descrito por las pistas de rodaje sea el más corto y sencillo para reducir al mínimo el tiempo de rodaje de los aviones, también es aconsejable que la trayectoria sea con tramos rectos tratando de evitar que las calles de rodaje se crucen con las pistas u otras calles de rodaje.⁸

Según el manual de Aeródromos, parte II de la OACI (Ref. 8), en un aeropuerto se pueden tener calles de rodaje de entrada y de salida, calles de rodaje situadas en las plataformas y calles de rodaje de acceso al puesto de estacionamiento.

Calles de rodaje de entrada y salida:

Las calles de rodaje sirven a una determinada pista y su función es que las aeronaves salgan de éstas tan pronto aterricen o ingresen antes de despegar.

Si la calle de rodaje de salida se une a la pista por un ángulo agudo y está diseñada de modo que permite a los aviones que aterrizan virar a velocidades mayores que las que se logran en otras calles de rodaje, entonces se le denominará calles de salida rápida.

Calle de rodaje en la plataforma:

“Es una calle de rodaje situada en una plataforma y destinada ya sea a proporcionar un trayecto directo para el rodaje a través de la plataforma o para tener acceso a un puesto de estacionamiento de aeronaves” (Ref. 8).

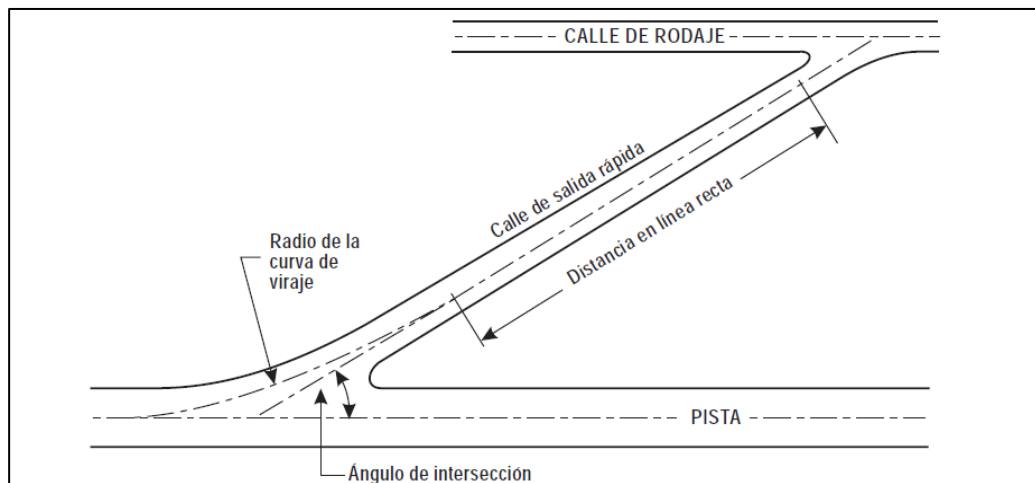
⁸ OACI. *Manual de Diseño de aeródromos - Parte 2, Calles de Rodaje, Plataformas y apartaderos de espera*. Cuarta edición. Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional, 2005, p. 1-3 y 1-9.

Calle de acceso al puesto de estacionamiento de aeronaves:

“Es la parte de una plataforma designada como calle de rodaje y destinada a proporcionar acceso solamente a los puestos de estacionamiento de aeronaves” (Ref. 8).

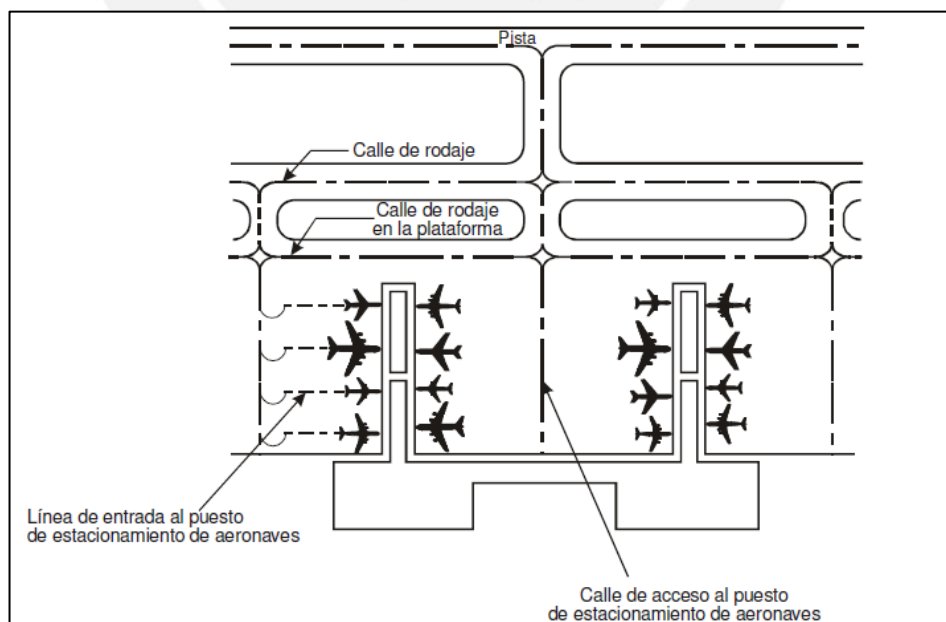
Ejemplos de estas clasificaciones se puede ver en las figuras 2.16 y 2.17.

Figura 2.16: Calle de rodaje de salida rápida



Fuente: OACI. *Manual de Diseño de aeródromos - Parte II, Calles de Rodaje*. Canadá: 2005.

Figura 2.17: Calle de rodaje en la plataforma y de acceso al puesto de estacionamiento



Fuente: OACI. *Manual de Diseño de aeródromos - Parte II, Calles de Rodaje*. Canadá: 2005.

Los criterios de diseño para las calles de rodaje son menos estrictos que para las pistas de aterrizaje, ya que las velocidades de las aeronaves en las calles de rodaje son menores; por otro lado, al igual que las pistas de aterrizaje, la OACI (Ref. 8) considera que las calles de rodaje también deben ser limitadas por un margen y estar contenidas dentro de una franja.

Margen de las calles de rodaje:

Es necesario que exista una zona adyacente a los bordes de las calles de rodaje que sirvan de transición entre el pavimento estructural y el terreno natural. Sus funciones principales son: proporcionar una superficie para el paso ocasional de las ruedas de las aeronaves, soportar la carga de las ruedas del vehículo más pesado de emergencia del aeropuerto, prevenir la erosión del área adyacente a la calle de rodaje y prevenir que los motores de reacción que sobresalen del pavimento estructural no ingieran piedras u otros objetos que puedan producir daños.

Franja de las calles de rodaje:

Es una zona que abarca una calle de rodaje y su margen. Su función es proteger a una aeronave que esté operando en ella y reducir el riesgo de daño en caso de que accidentalmente se salga de la calle de rodaje.

2.2.3. PLATAFORMAS

Para la OACI, las plataformas son superficies intermedias entre el área de maniobra y la zona de edificios. Su fin es permitir el atraque de las aeronaves mientras se llevan a cabo las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros o mercancías, así como otras operaciones de atención a la aeronave como abastecimiento de combustible, estacionamiento o mantenimiento.⁹

⁹ OACI. *Manual de Diseño de aeródromos - Parte 2, Calles de rodaje, plataformas y aparcaderos de espera*. Cuarta edición. Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional, 2005, p. 3-1.

LOPEZ-PEDRAZA, Francisco. *Aeropuertos*. Tercera edición. España: Paraninfo, 1970, p. 152.

Es recomendable que la plataforma sea lo suficientemente amplia para facilitar el movimiento rápido del tránsito de las aeronaves debido a que de esta zona parten los aviones para despegar y además, es a donde llegan después de su aterrizaje (Ref. 7).

2.3. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA AERONAVE DE DISEÑO

El diseño del pavimento de un aeropuerto se hace con la finalidad de que cuando sea puesto en servicio pueda soportar satisfactoriamente los esfuerzos a los que se le someta. Estos esfuerzos se generan por las cargas impuestas procedentes del peso de las aeronaves, es por ello que para realizar un correcto dimensionamiento de las capas del pavimento se debe conocer el valor del mayor peso que se le imponga durante su vida útil y también la distribución de los trenes de aterrizaje sobre la superficie del pavimento.

Carga:

Un avión posee diferentes pesos según el estado de operación en el que se encuentre, es así que se tienen los siguientes casos¹⁰:

OEW (operating empty weight): Considera el peso básico para que la aeronave pueda operar. Incluye el peso de la tripulación pero no considera el peso del combustible ni el de la carga útil.

ZFW: Es igual al OEW más el peso de la carga útil, entendiéndose por esta al peso de los pasajeros más el peso del equipaje que pueden llevar.

Maximum ramp weight: Es el peso máximo con el cual puede circular una aeronave en tierra, considerando que existe una pérdida de peso a causa de la quema de combustible por el recorrido de la aeronave desde que aterriza hasta el extremo de la pista de aterrizaje.

¹⁰HORONJEFF, Robert; MCKELVEY, Francis; SPROULE, William; YOUNG, Seth. *Planning and Design of Airports*. Traducción propia. Quinta edición. Estados Unidos: McGraw Hill, 2010, p. 61.

MLW Maximum structural landing weight: Es el peso máximo que posee una aeronave al aterrizar.

MSTOW Maximum structural take off weight: Es el peso máximo autorizado para el despegue de una aeronave, al nivel del mar y a temperatura de 59°F (15°C). Es el peso máximo que puede soportar el tren de aterrizaje y considera el peso básico para que la aeronave pueda operar, más el peso del combustible (el de vuelo y el de reserva) y más el peso máximo admisible de carga útil.

El peso más crítico es el MSTOW; es por ello que este se emplea para el diseño de los pavimentos con el fin de proporcionar cierto grado de prudencia en el cálculo (Ref.3). A este peso crítico se le conoce comúnmente como el peso bruto y se asume que el 95% de este peso lo soporta el tren de aterrizaje principal y el 5% el tren de nariz.

Tipo y Geometría del tren de aterrizaje:

“Se denomina tren de aterrizaje al conjunto de ruedas, soportes, amortiguadores y otros equipos que un avión utiliza para aterrizar o maniobrar sobre una superficie. Sirve de soporte a la aeronave, posibilita el movimiento del avión en superficie (incluyendo despegues y aterrizajes), y amortigua el impacto del aterrizaje”.¹¹

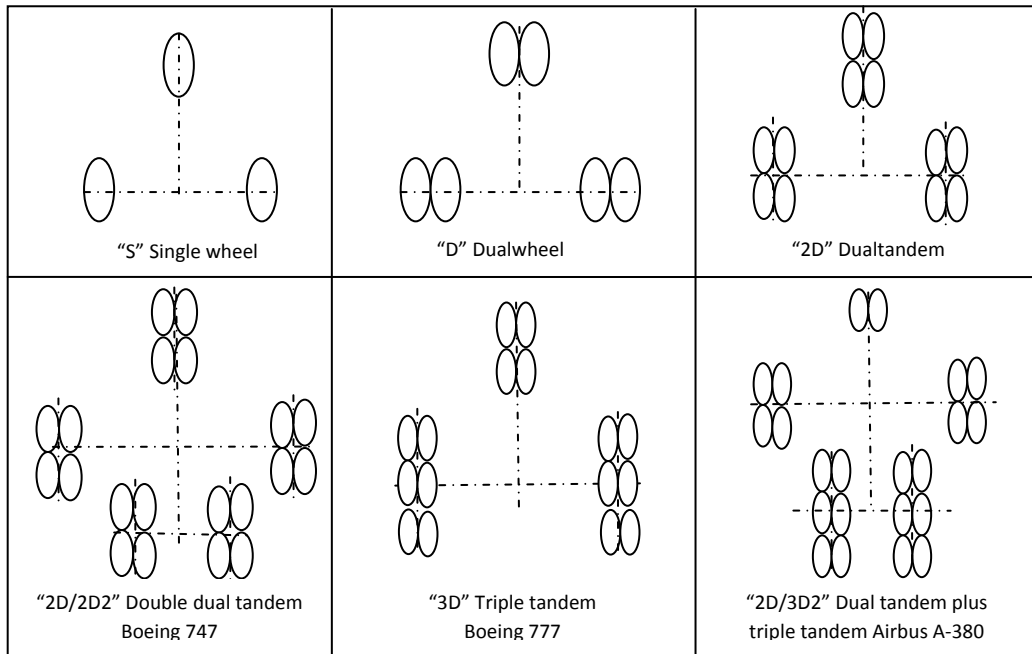
La FAA (Ref. 3) clasifica a los trenes de aterrizaje en cuatro grupos como se muestra en la figura 2.18 y se detalla a continuación:

- **Single gear aircraft:** Esta configuración posee un tren de aterrizaje principal que posee una rueda en cada puntal.
- **Dual gear aircraft:** Esta configuración posee un tren de aterrizaje principal que posee en total cuatro ruedas, dos en cada puntal.
- **Dual tandem gear aircraft:** Esta configuración posee un tren de aterrizaje principal con un total de ocho ruedas, cuatro en cada puntal.

¹¹MUÑOZ, Miguel. *Sistemas Funcionales*. (En línea). Manual de Vuelo. Consulta: 24 de Mayo del 2011 (<http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF39.html>)

- **Wide body aircraft:** Esta clasificación de trenes de aterrizaje corresponde a aquellos arreglos que no se encuentran dentro de las categorías anteriores.

Figura 2.18: Tipos de configuración del tren de aterrizaje principal



Fuente: HORONJEFF, R.; MCKELVEY, F.; SPROULE, W.; YOUNG, S. *Planning and Design of Airports*. Estados Unidos: 2010.

Presión de los neumáticos:

“La presión de los neumáticos varía entre 75 y 200 lb/in² (0.52 a 1.38 MPa) en función de la configuración del tren y del peso bruto. Se debería notar que la presión de los neumáticos ejerce menos influencia sobre las tensiones de los pavimentos a medida que aumenta el peso bruto” (Ref. 3).

2.4. METODOLOGIAS DE DISEÑO PARA PAVIMENTO DE AEROPUERTOS

Para el cálculo estructural de pavimentos de aeropuertos se han propuesto diferentes métodos relacionados teóricamente entre sí, pero modificados y retocados de acuerdo con los análisis del comportamiento de los pavimentos ante las condiciones de servicio.¹²

¹²ASHFORD N. y WRIGHT P. *Airport Engineering*. Traducción propia. Tercera edición. Estados Unidos: JhonWiley&Sons, 1992, p. 43 y 391.

En el Perú, el diseño de un pavimento de aeropuerto, sigue la metodología propuesta por la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos (FAA), considerando que la mayor cantidad de aviones que aterrizan en nuestro territorio son de procedencia Americana.

2.4.1. METODOLOGÍA DE LA FAA

En 1978, la Administración Federal de Aviación de Estados Unidos, adoptó el método del índice de resistencia de California (CBR) para el cálculo de pavimentos flexibles, la hipótesis de carga sobre los bordes para el cálculo de los pavimentos rígidos y el sistema de clasificación de terrenos unificados (SUCS)¹³. En base a estas teorías, se desarrolló diversos ábacos que son usados en el cálculo de espesores de los pavimentos.

La metodología propuesta por la FAA para el cálculo de espesores del pavimento de un aeropuerto, ya sea un diseño rígido o flexible, se divide en dos procedimientos en función del peso de los aviones: el primero para aviones de peso menor a 30,000 lb (13,000kg) y el segundo para aviones de peso igual o mayor a 30,000 lb (Ref. 3).

La metodología de diseño para el segundo caso (peso mayor a 30,000 lb), consiste en el empleo de ábacos construidos en base a un análisis de carga estática; es decir, no consideran el incremento del espesor de los pavimentos debido a las cargas de impacto; Además, los resultados que se obtienen son espesores para capas con materiales no estabilizados (Ref. 3). Estos ábacos se muestran en el anexo 1 y 2.

Cabe resaltar que la FAA considera que en caso se disponga de material de subbase con un CBR mayor a 35% y material de base con CBR mayor a 100%, no será necesario estabilizar estas capas.

¹³ OACI. *Manual de Diseño de aeródromos – Parte 3, Pavimentos*. Segunda edición. Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional, 1983, p.3-130.

Por otro lado, el diseño de pavimentos del área de movimiento del aeropuerto, se clasifica en dos grupos (Ref. 5):

Áreas críticas: Son aquellas áreas por las cuales las aeronaves se desplazan a carga máxima, como por ejemplo: las plataformas, las calles de rodaje y la pista de aterrizaje.

Áreas no críticas: Son aquellas áreas en las cuales se permite algunas reducciones del espesor en relación con los obtenidos para áreas críticas, por ejemplo las calles de salida rápida.

Metodología de diseño para pavimento flexible, de aeronaves con peso mayor a 30,000 lb:

Para pavimento flexible, El AC 150/5300-6D de la FAA (Ref. 3) propone, en primer lugar, determinar la aeronave de diseño, la cual no necesariamente es la de mayor peso de despegue, sino es aquella que solicite el mayor espesor de pavimento total. Una vez determinada la aeronave de diseño, se debe calcular las salidas anuales equivalentes de todas las aeronaves operativas, en función a dicha aeronave crítica.

Dependiendo del tren de aterrizaje de la aeronave de diseño, se elige el ábaco a emplear para el diseño de las capas del pavimento estructural (Anexo 1). Para poder ingresar al ábaco seleccionado, se deben recopilar los siguientes datos: CBR de la subrasante, peso de despegue de la aeronave de diseño y salidas anuales equivalente. En base a estos datos se puede determinar los espesores de las capas del pavimento estructural para zonas críticas.

Cabe mencionar, que en ocasiones se presentan algunos casos en los que las salidas anuales equivalentes superan el valor propuesto en los ábacos de diseño. Es así que la FAA propone realizar el procedimiento considerando la cantidad máxima señalada en los ábacos (25,000) y después realizar una corrección con el fin de estimar un espesor de capas más adecuado a los valores reales.

Los espesores obtenidos de los ábacos de diseño son los espesores de las capas del pavimento estructural en áreas críticas, de esta forma, para los espesores de las capas en el margen y franja de zonas críticas y para el dimensionamiento de las zonas no críticas, la FAA considera factible emplear el dimensionamiento propuesto en la figura 2.19 y 2.20.

Figura 2.19: Dimensionamiento propuesto por la FAA para pav. flexible en zonas críticas

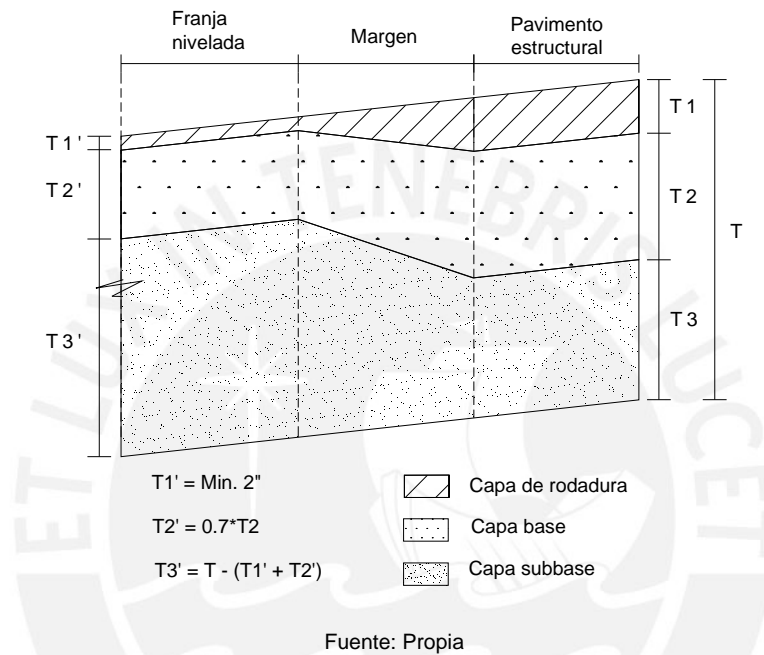
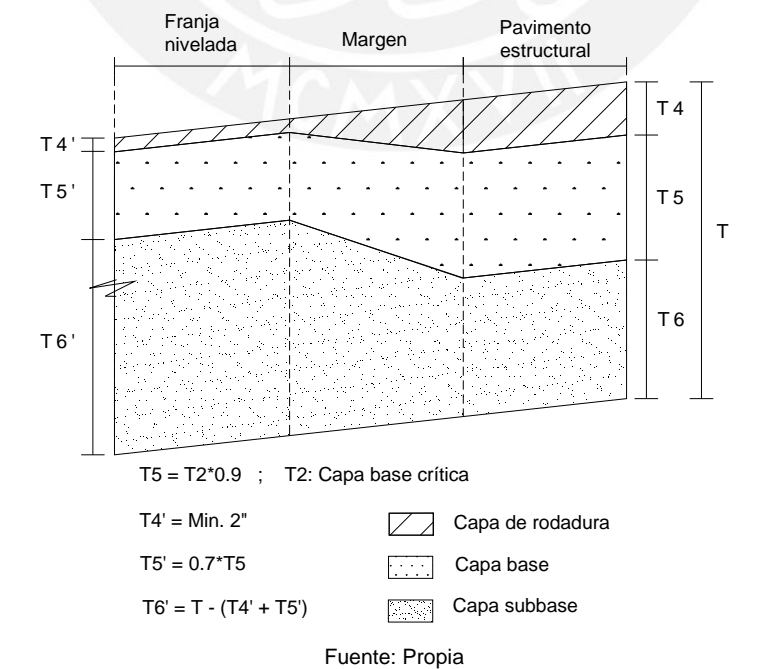


Figura 2.20: Dimensionamiento propuesto por la FAA para pav. flexible en zonas no críticas



Metodología de diseño para pavimento Rígido de aeronaves con peso mayor a 30,000 lb:

Al igual que en el caso anterior, para pavimentos rígidos, el AC 150/5300-6D de la FAA (Ref. 3) propone como primer paso determinar la aeronave de diseño, siendo ésta la que requiera el mayor espesor de losa de concreto.

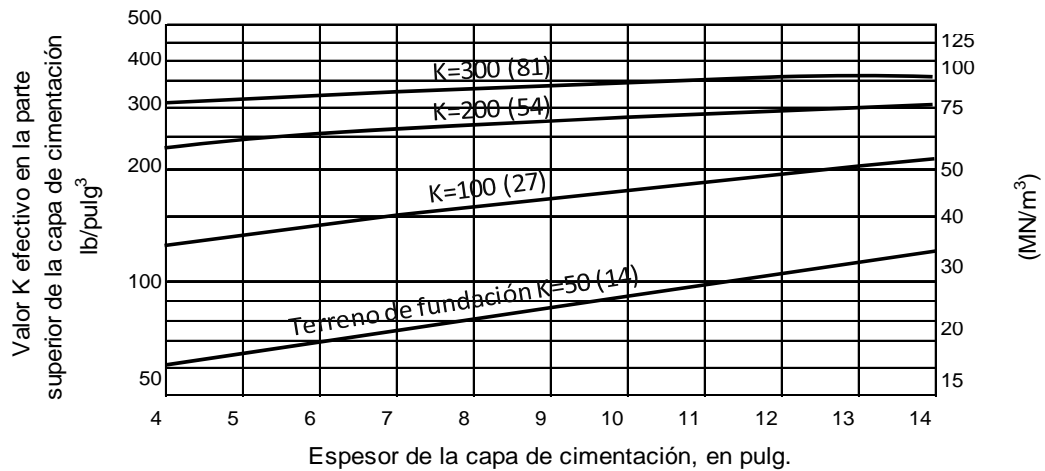
Seguidamente, se debe calcular las salidas anuales equivalentes a la aeronave de diseño, luego en base a su tren de aterrizaje se debe elegir el ábaco de diseño para determinar el espesor de la losa de concreto del pavimento estructural en zonas críticas.

De los 24 ábacos para pavimento rígido mostrados en el Anexo 2, los primeros 14 se usan en caso se considere que la aeronave cruza paralela o perpendicularmente a la junta o borde de losa; bajo esta consideración, las aeronaves cuyos trenes de aterrizaje son single o dual generan los máximos esfuerzos en la losa. Por otro lado, las aeronaves cuyos trenes de aterrizaje son dual tándem o de fuselaje ancho generan los mayores esfuerzos en la losa cuando cruzan la junta formando un ángulo agudo, para estos casos se pueden emplear opcionalmente los 10 ábacos restantes.

Una vez elegido el ábaco de diseño se debe recopilar los datos necesarios para su uso: la resistencia a la tensión por flexión del concreto, el módulo de fundación, el peso de despegue de la aeronave de diseño y salidas anuales equivalentes.

El valor del módulo de fundación debe ser el del terreno inmediato inferior a la losa de concreto, de esta manera, la FAA recomienda establecer un módulo de reacción de la subrasante y luego corregir este valor para considerar los efectos de la subbase (Ref. 3). Este paso se puede realizar asumiendo con criterio el espesor de la subbase y calculando el módulo de reacción en la superficie de esta capa con el empleo de la figura 2.21.

Figura 2.21: Efecto de la capa subbase sobre el modulo del terreno de fundación



ARENA NATURAL Y GRAVA (PI<6)

Fuente: OACI. *Manual de Diseño de aeródromos - Parte III, Pavimentos*. Canadá: 1983.

Conociendo los datos mencionados anteriormente y empleando el ábaco de diseño, se podrá determinar el espesor de la capa de rodadura del pavimento estructural para zonas críticas.

Cabe mencionar que al igual que para pavimentos flexibles, en aquellos casos donde las salidas anuales equivalentes superen el valor propuesto en los ábacos de diseño (25,000), se dimensionarán las capas empleando la cantidad máxima de salidas equivalentes y luego se realizará la corrección respectiva.

Una vez obtenidos los espesores de las capas del pavimento estructural para zonas críticas, se calculan los espesores de las capas de los márgenes y franjas en dichas zonas.

2.5. DATOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE UN AEROPUERTO

2.5.1. ESTUDIO DE SUELOS

El estudio de suelos es importante, ya que se puede recopilar información que permita determinar las propiedades físicas del terreno de la zona de diseño y en base a estos resultados se puede conocer su probable

comportamiento bajo diferentes condiciones. Estos ensayos pueden ser realizados in situ o en laboratorios.

La FAA (Ref. 3), considera los ensayos que se muestran en la tabla 2.6 como los mínimos o básicos para realizar un estudio de suelos, y los de la tabla 2.7 como ensayos complementarios.

Es recomendable que en adición a estos ensayos se realice el suficiente número de perforaciones que permitan determinar las variaciones importantes del suelo y hacer un registro gráfico de ellas (Ref.3).

El sistema empleado para clasificar a los terrenos es el *Sistema Unificado de Clasificación de los Suelos, SUCS* (ASTM D-2487). Este sistema clasifica a los terrenos según el tamaño del grano y luego establece subgrupos de terrenos sobre las constantes de plasticidad (Ref. 3).

Si después del estudio de suelos notamos que el terreno no es el apropiado para soportar las cargas de los aviones, será necesario estabilizar la subrasante mediante adición de agentes químicos o por métodos mecánicos (Ref. 3).

Tabla 2.6: Ensayos mínimos para estudio de suelos

ENSAYO	NORMA
Preparación en seco de muestras de terrenos para análisis granulométrico y determinación de las constantes del terreno	NTP 339.090
Preparación en húmedo de muestras de terrenos para análisis granulométrico y determinación de las constantes del terreno	NTP 339.255
Análisis granulométricos de los terrenos	NTP 339.128
Límite líquido, Límite plástico e índice de plasticidad de los terrenos	NTP 339.129
Relación humedad-densidad de los terrenos (Pavimento de carga pesada > 13,000 Kg)	NTP 339.141
Relación humedad-densidad de los terrenos (Pavimento de carga ligera < 13,000 Kg)	NTP 339.142
Índice de resistencia de suelos compactados en laboratorio	NTP 339.145
Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)	NTP 339.134

Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

Tabla 2.7: Ensayos complementarios para estudio de suelos

ENSAYO	NORMA
Factores de contracción de los terrenos	NTP 339.140
Permeabilidad de los terrenos naturales	NTP 339.147
Índice de resistencia california, ensayos realizados en el lugar	NTP 339.175

Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

2.5.2. ESTUDIO DE TRAFICO

El transporte aéreo se ve influenciado por diferentes factores como: el crecimiento de la población, el incremento de la industrialización, el urbanismo a nivel mundial, los aspectos climatológicos, los cambios de las tecnologías aeronáuticas, etc. Estos factores generan dificultades al momento de realizar pronósticos de transporte aéreo, sin embargo, *“tales predicciones son necesarias para colaborar con el ordenado desarrollo de la red de aerovías nacionales e internacionales, y para ayudar en la planificación de las infraestructuras (instalaciones terminales, vías de acceso, pistas de vuelo, calles de rodadura, estacionamientos y control terminal de tráfico aéreo)” (Ref. 13).*

Para la elaboración de estos pronósticos se debe reunir información sobre el movimiento aéreo en años anteriores e investigar las tendencias futuras. En el Perú, la entidad encargada de *“recopilar, procesar y difundir la información estadística sobre el comportamiento del tráfico de pasajeros, carga y aterrizajes a nivel nacional e internacional de cada aeropuerto activo es la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC)”¹⁴.*

La FAA considera que el diseño de un pavimento de aeropuerto debe ser realizado de tal manera que proporcione una vida estructural de 20 años libre de mantenimiento (Ref. 3), de tal manera que se le pueda brindar al pavimento las características adecuadas para que pueda resistir las

¹⁴Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Dirección General de Aeronáutica Civil*. (en línea) Portal de estadísticas del MTC. Consulta: 17 de Junio del 2011. (https://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/aereo/estadistica/docs/nueva_version_2010/paginas/presentacion.htm)

cargas que se le impongan y el volumen de tráfico que se le solicite a lo largo de su vida útil.

2.5.3. ESTUDIO PLUVIOMETRICO

Los factores climatológicos que afectan más a un pavimento durante su etapa de servicio son las lluvias y los cambios de temperatura.

Las lluvias, por su acción directa, influyen en la elevación del nivel freático, en la resistencia, en la compresibilidad y especialmente en los cambios volumétricos de los suelos de la subrasante. Además, afectan en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares.

Por otro lado, los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos generan esfuerzos muy elevados que en algunos casos pueden ser superiores a los producidos por las cargas de los aviones que circulan sobre ellas.

Es por eso que al diseñar un pavimento se debe recurrir a registros históricos de estos factores en la zona donde será ubicado el proyecto, para tomar las precauciones respectivas. Estos registros deben precisar información sobre la cantidad precipitada con mayor intensidad, la frecuencia de las lluvias y los cambios de temperatura.

2.5.4. ESTUDIO DE CANTERAS Y FUENTES DE AGUA

Una cantera es una fuente de aprovisionamiento de suelos y rocas necesarios para la construcción de una obra.¹⁵

El estudio de canteras determinará si existen materiales disponibles cercanos a la ubicación del proyecto que posean características adecuadas para ser empleados en las capas de la estructura del

¹⁵ VIVAR ROMERO, Germán. *Diseño y Construcción de Pavimentos*. Primera edición. Miraflores: Colegio de Ingenieros del Perú, 1991, p. 35.

pavimento. De igual forma, se debe verificar su potencia, rendimiento y accesibilidad, y asimismo, la forma de explotación que se realizará.

El AC 150/5300-6D de la FAA (Ref. 3) sugiere realizar los mismos ensayos mostrados en la *Tabla 2.6: Ensayos mínimos para estudio de suelos*, para las muestras extraídas de las canteras, con el objetivo de determinar sus características físicas

También es muy importante hacer un estudio de fuentes de agua para determinar si existe alguna que provea permanentemente este recurso durante la construcción del proyecto y que se encuentre cerca al emplazamiento del mismo, de igual forma, se debe verificar que ésta sea apropiada para su uso en obra.

En general, el agua que se emplea para construcción debe cumplir las tolerancias que muestra la tabla 2.8, exigidos por el MTC E-716.

Tabla 2.8: Tolerancias del agua según norma MTCE-716

ENSAYO	TOLERANCIAS
Sólidos en Suspensión (ppm)	5,000 máx.
Materia Orgánica (ppm)	3.00 máx.
Alcalinidad NaHCO ₃ (ppm)	1,000 máx.
Sulfatos como Ion Cl (ppm)	1,000 máx.
pH	5.5 a 8.0

Fuente: MTC. *Agua en Mezclas de Concreto*. (En línea). Lima, 2000. Consulta: 07 de Agosto del 2011.
(http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/EG-2000/cap6/seccion610.htm#61003d)

3. ESTUDIO DE TRÁFICO

El presente estudio de tráfico se realizó en base a la información brindada por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), la cual se muestra en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3.

La tabla 3.1, muestra los modelos y los pesos máximos de las aeronaves por compañía. Los datos de ésta tabla están referidas a todas las compañías concesionarias del Aeropuerto Jorge Chávez hasta el año 2010.

Las tablas 3.2 y 3.3, contienen información sobre el total de salidas que operó cada compañía durante el año 2010, tanto para vuelos con destino nacional y para vuelos con destino internacional.

El objetivo del presente capítulo es determinar el número de salidas anuales promedio por tipo de avión en un periodo de evaluación de 20 años, el cual se considera como el tiempo de vida útil de un pavimento según la FAA.

Tabla 3.1: Tipo y peso de aeronave por compañía

 		
AERONAVES DEL SERVICIO DE TRANSPORTE AÉREO NACIONAL E INTERNACIONAL (Por compañías) 2010/Mes: Julio		
COMPAÑIAS	MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DESPEGUE (Kg)
AEREO SERVICIOS SANTOS S.A.	CESSNA 172C SKYHAWK	1,021.50
AEREO SERVICIOS SANTOS S.A.	CESSNA 172G	1,157.70
AERO ANDINO S.A.	PILATUS PORTER PC-6/B2-H4	2,800.00
AERO CONDOR S.A.C.	BOEING B737-217	49,190.00
AERO CONDOR S.A.C.	CESSNA 172C SKYHAWK	1,021.50
AERO CONDOR S.A.C.	CESSNA 172E	1,044.20
AERO CONDOR S.A.C.	CESSNA 172N	1,044.20
AERO CONDOR S.A.C.	CESSNA 208B	3,988.39
AERO CONDOR S.A.C.	CESSNA 208B	3,988.39
AERO CONDOR S.A.C.	CESSNA 208B CARAVAN I	3,988.39
AERO CONDOR S.A.C.	CESSNA CARDINAL 177-RG	1,271.20

AERO LINEAS DEL PACIFICO S.A.	PIPER PA-18-150	795.00
AERO LITE S.A.C.	DRIFTER MU-582	408.60
AERO LITE S.A.C.	DRIFTER MU-582	408.60
AERO MONTAÑAS S.A.	CESSNA R172K	1,159.00
AERO MONTAÑAS S.A.	CESSNA T210N	1,816.00
AERO NEGOCIOS JLE S.A.	PIPER PA 32RT-300	1,634.40
AERO PALCAZU S.A.C.	CESSNA CENTURION T210N	1,816.00
AERO PALCAZU S.A.C.	CESSNA U206F	1,725.20
AERO PALCAZU S.A.C.	CESSNA U206G	1,725.20
AERO PALCAZU S.A.C.	CESSNA U206G	1,725.20
AERO PARACAS S.A.	CESSNA 172G	1,157.70
AERO PARACAS S.A.	CESSNA 185-A	1,452.80
AERO PARACAS S.A.	CESSNA 205	1,498.20
AERO PARACAS S.A.	CESSNA 207	1,725.20
AERO PARACAS S.A.	CESSNA 207A	1,725.20
AERO PARACAS S.A.	CESSNA 210-5 (205)	1,498.20
AERO PARACAS S.A.	CESSNA U-206E	1,634.40
AERO SUCRE	BOEING B727-200	95,028.00
AERO SUCRE	BOEING B737-200	49,190.00
AERO SUR	BOEING B727-200	95,028.00
AERO SUR	BOEING B737-200	49,190.00
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	ANTONOV AN-26B-100 (AN-26)	25,000.00
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	BEECHCRAFT B-1900C (B1900)	7,536.40
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	BEECHCRAFT B-1900D (B1900)	7,772.48
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	CESSNA 208B	3,988.39
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	FOKKER F27 MK 0502	20,820.00
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	PIPER CHEYENNE III PA-42	5,084.80
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	PIPER CHEYENNE III PA-42	5,084.80
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	PIPER CHEYENNE III PA-42	5,084.80
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	PIPER PA-42 CHEYENNE III	5,084.80
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	PIPER PA-42 CHEYENNE III	5,084.80
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	PIPER PA-42 CHEYENNE III	5,084.80
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	RAYTHEON AIRCRAFT B300	6,810.00
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	WESTWIND ASTRA 1125	11,191.10
AERO VIGIL S.A.C.	CESSNA 152	758.18
AERO VIGIL S.A.C.	CESSNA 152	758.18
AERO VIGIL S.A.C.	PIPER PA-30	1,634.40
AERODIANA S.A.C	CESSNA 172N	1,044.20
AERODIANA S.A.C	CESSNA 208B	3,988.39
AERODIANA S.A.C	CESSNA 208B CARAVAN I	3,988.39
AERODIANA S.A.C	CESSNA GRAND CARAVAN 208B	3,972.50
AEROLANE, L.A NAC.DEL ECUADOR S.A.	AIRBUS A320-233	77,000.00
AEROLIFT S.A.C.	KAZAN MI-8T	12,000.00

AEROLINEAS ARGENTINAS	AIRBUS A340-200	275,000.00
AEROLINEAS ARGENTINAS	BOEING B737-700	77,500.00
AEROLINEAS ARGENTINAS	BOEING B747-200	378,000.00
AEROLINEAS BRASILERAS S.A. ABSA	BOEING B767-316F	186,880.00
AEROMASTER DEL PERU S.A.	BELL 214ST	7,945.00
AEROMASTER DEL PERU S.A.	DEHAVILLAND DHC 6-200	5,256.87
AEROMASTER DEL PERU S.A.	SIKORSKY S-61N	10,215.00
AEROMASTER DEL PERU S.A.	SIKORSKY S-61N	10,215.00
AEROVIAS DE MEXICO S.A. DE C.V	BOEING B737-800	79,000.00
AEROVIAS DE MEXICO S.A. DE C.V	BOEING B767-400ER	204,120.00
AIR COMET S.A.	AIRBUS A330-200	230,000.00
AIR EUROPA LINEAS AEREAS S.A.	AIRBUS A330-200	230,000.00
AIR MAJORO S.A.	CESSNA 207A	1,725.20
AIR MAJORO S.A.	CESSNA 207A	1,725.20
AIR MAJORO S.A.	CESSNA 402C	3,273.34
AIR NASCA S.A.C.	CESSNA 172-A	998.80
AIR NASCA S.A.C.	CESSNA 185	1,452.80
AIR PERU EXPRESS S.A.C.	CESSNA U206F	1,725.20
AIR TRANSPORT INTERNATIONAL	MCDONNELL DOUGLAS DC8-63CF	161,000.00
AIR TRANSPORT INTERNATIONAL	MCDONNELL DOUGLAS DC8-63CF	161,000.00
AIRCANADA	AIRBUS A330-200	230,000.00
AIRCANADA	AIRBUS A340-600	368,000.00
AIRCANADA	BOEING B767-400ER	204,120.00
ALAN TROY MANUEL LAGUNA LAGUNA	CESSNA 152	758.18
ALAS AGRICOLAS S.A.C.	PIPER PA-25-235.	1,316.60
ALAS AGRICOLAS S.A.C.	PIPER PA-25-235.	1,316.60
ALAS DE AMERICA S.A.C.	CESSNA 207A	1,725.20
ALAS DE AMERICA S.A.C.	CESSNA R172H	1,157.70
ALAS DE ESPERANZA INC.	CESSNA U206G	1,725.20
ALAS DEL ORIENTE S.A.C	CESSNA U206F	1,725.20
ALAS PERUANAS S.A.	CESSNA 172D	1,157.70
ALAS PERUANAS S.A.	CESSNA 172N	1,044.20
ALAS PERUANAS S.A.	CESSNA TU-206G	1,725.20
ALAS PERUANAS S.A.	CESSNA U206G	1,725.20
ALBERTO MARIN	CESSNA 182G	1,271.20
ALBERTO MARIN	LAKE RENEGADE 23-250	1,425.56
ALEXANDER EDIXON LOPEZ VILELA	CESSNA 150-H	799.04
AMAZON SKY S.A.C.	ANTONOV AN-26-100 (AN-26)	25,000.00
AMAZON SKY S.A.C.	ANTONOV AN-26-100 (AN-26)	25,000.00
AMERICAN AIRLANES INC	BOEING B757-200	115,680.00
ARROW AIR	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-10F	195,000.00
ARROW AIR	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263,320.02
ARROW AIR	MCDONNELL DOUGLAS DC8-63CF	161,000.00

ASOCIACION BAUTISTA DE EVANGELIZACION MUNDIAL	PIPER PA-12	878.49
ASOCIACION LOS PROFESIONALES AEREOS	CESSNA 152	758.18
ASOCIACION LOS PROFESIONALES AEREOS	PIPER CHEROKEE PA-28-160	976.10
ASOCIACION LOS PROFESIONALES AEREOS	PIPER PA-22-108	787.00
ATLAS AIR INC	BOEING B747-200	378,000.00
ATLAS AIR INC	BOEING B747-400	397,000.00
AVIACION AGRICOLA S.A.C.	PIPER PAWNEE PA-25-235	1,316.60
AVIACION DEL SUR S.A.	KAZAN MI-8MTV-1	13,000.00
AVIACION DEL SUR S.A.	KAZAN MI-8MTV-1	13,000.00
AVIACION DEL SUR S.A.	KAZAN MI-8MTV-1	13,000.00
AVIACIÓN LIDER S.A.	BEECHCRAFT KING AIR E90 (B90)	4,630.45
AVIACIÓN LIDER S.A.	BEECHCRAFT KING AIR E90 (B90)	4,630.45
AVIACIÓN LIDER S.A.	CESSNA 402C	3,273.34
AVIACIÓN REPARACIÓN Y TRANSPORTE S.A.C. AVIARET	MIL MI-8T	12,000.00
AVIACIÓN REPARACIÓN Y TRANSPORTE S.A.C. AVIARET	ULAN UDE MI-8T	12,000.00
AVIACIÓN REPARACIÓN Y TRANSPORTE S.A.C. AVIARET	ULAN UDE MI-8T	12,000.00
AVIANCA	BOEING B757-236	115,680.00
AVIANCA	MCDONNELL DOUGLAS DC9-50	55,000.00
CANTURION CARGO	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-40F	251,700.00
CANTURION CARGO	MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286,000.00
COPA AIRLANES	BOEING B737-71Q	77,500.00
COPA AIRLANES	BOEING B737-7V3	77,500.00
CARLOS A.PRADO FLORES	CESSNA 150-H	799.04
CARLOS PALACIN FERNANDEZ E.I.R.L. - TRAVEL AIR	CESSNA 172B	998.80
CARLOS PALACIN FERNANDEZ E.I.R.L. - TRAVEL AIR	CESSNA 172G	1,157.70
CARLOS PALACIN FERNANDEZ E.I.R.L. - TRAVEL AIR	CESSNA 207	1,725.20
CARLOS PALACIN FERNANDEZ E.I.R.L. - TRAVEL AIR	CESSNA 207	1,725.20
CARLOS PALACIN FERNANDEZ E.I.R.L. - TRAVEL AIR	CESSNA SKYMASTER T337-G	2,133.80
CARLOS PALACIN FERNANDEZ E.I.R.L. - TRAVEL AIR	CESSNA TU-206B	1,634.40
CARLOS PALACIN FERNANDEZ E.I.R.L. - TRAVEL AIR	CESSNA U206G	1,725.20
CARLOS PALACIN FERNANDEZ E.I.R.L. - TRAVEL AIR	CESSNA U206G	1,725.20
CARLOS PALACIN FERNANDEZ E.I.R.L. - TRAVEL AIR	PIPER CHEROKEE PA-28-180	2,400.00
CIELOS DEL PERÚ S.A.	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263,320.02
CIELOS DEL PERÚ S.A.	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263,320.02
CIELOS DEL PERÚ S.A.	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263,320.02
CIELOS DEL PERÚ S.A.	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263,320.02
CIELOS DEL PERÚ S.A.	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263,320.02
COLUMBIA HELICOPTERS PERU S.A.C.	BOEING VERTOL 234	23,154.00

COLUMBIA HELICOPTERS PERU S.A.C.	BOEING VERTOL 234	23,154.00
COMPAÑÍA AEREA DE FUMIGACION AGRICOLA S.A.C – CAFA	PIPER PA-25-235.	1,316.60
CONTINENTAL AIRLANES	BOEING B757-300	123,600.00
CONTINENTAL AIRLANES	BOEING B767-400ER	204,120.00
CONTINENTAL AIRLANES	BOEING B777-200	247,210.00
COYOTAIR PERU S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B3	2,500.00
COYOTAIR PERU S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B3	2,500.00
COYOTAIR PERU S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B3	2,500.00
DELTA AIRLANES	BOEING B757-200	115,680.00
DELTA AIRLANES	BOEING B767-300	158,760.00
DELTA AIRLANES	MCDONNELL DOUGLAS MD11	273,300.00
ECOCOPTER PERU S.A.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B3	2,500.00
ESCUELA DE AVIACION CIVIL DEL PERU	CESSNA 172G	1,157.70
ESCUELA DE AVIACION CIVIL DEL PERU	CESSNA R172H	1,157.70
ESCUELA DE AVIACION CIVIL DEL PERU	CESSNA R172H	1,157.70
FLORIDA WEST INTERNATIONAL AIRWAYS	BOEING B767-300F	186,880.00
GOL TRANSPORTES AEREOS S.A.	BOEING B737-800	79,000.00
HELIAMERICA S.A.C.	BELL 212	5,084.80
HELIAMERICA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B2	2,250.00
HELIAMERICA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B2	2,250.00
HELIAMERICA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B3	2,500.00
HELICOPTER PERU S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B2	2,250.00
HELICOPTER PERU S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B3	2,500.00
HELICOPTEROS DEL CUSCO S.A.	EUROCOPTER FRANCE AS350BA	2,500.00
HELICOPTEROS DEL CUSCO S.A.	EUROCOPTER FRANCE AS350BA	2,500.00
HELICOPTEROS DEL CUSCO S.A.	SIKORSKY S-58ET	5,902.00
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	KAZAN MI-17	13,000.00
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	KAZAN MI-17	13,000.00
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	KAZAN MI-17-1V	13,000.00
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	KAZAN MI-8MTV-1	13,000.00
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	KAZAN MI-8MTV-1	13,000.00
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	KAZAN MI-8MTV-1	13,000.00
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	KAZAN MI-8MTV-1	13,000.00
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	KAZAN MI-8MTV-1	13,000.00
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	ULAN UDE MI-171	13,000.00
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	ULAN UDE MI-171	13,000.00
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	ULAN UDE MI-8AMT	13,000.00
HELICOPTEROS MERCOSUR S.A.	BELL 212	5,084.80
HELICOPTEROS MERCOSUR S.A.	BELL 212	5,084.80
HELICOPTEROS MERCOSUR S.A.	EUROCOPTER FRANCE SA 315B	2,301.78
HELICOPTEROS MERCOSUR S.A.	EUROCOPTER FRANCE SA 315B	2,301.78
HELICOPTEROS PETROLEROS S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B2	2,250.00
HELICOPTEROS PETROLEROS S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-355F2	2,540.00

HELICOPTEROS PETROLEROS S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-355F2	2,540.00
HELINKA S.A.C.	BELL 206B3	1,452.80
HELINKA S.A.C.	EUROCOPTER ALOUETTE III-SA-316B	2,102.02
HELINKA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B2	2,500.00
HELINKA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B2	2,500.00
HELINKA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B2	2,500.00
HELINKA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B3	2,500.00
HELINKA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE SA 315B	2,301.78
HELINKA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE SA 315B	2,301.78
HELINKA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE SA 315B	2,301.78
HELINKA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE SA 316B	2,100.00
HELINKA S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE SE-3160	2,200.00
HELINKA S.A.C.	KAMOV KA-32A11BC	11,000.00
HELINKA S.A.C.	KAMOV KA-32A11BC	11,000.00
HELINKA S.A.C.	SIKORSKY S-58ET	5,902.00
HELINKA S.A.C.	SIKORSKY S-61L	9,307.00
HELINKA S.A.C.	ULAN UDE MI-171E	13,000.00
HELINKA S.A.C.	ULAN UDE MI-8T	12,000.00
HELISAFE S.A.C.	BELL 212	5,084.80
HELISAFE S.A.C.	BELL 212	5,084.80
HELISAFE S.A.C.	EUROCOPTER FRANCE BO-105S	2,500.00
HORIZONS SOUTH AMERICA S.A.C.	CESSNA T310P	2,451.60
HORIZONS SOUTH AMERICA S.A.C.	CESSNA T310Q	2,574.18
HORIZONS SOUTH AMERICA S.A.C.	CESSNA T310R	2,578.72
HORIZONS SOUTH AMERICA S.A.C.	PIPER PA-31-350	3,345.07
IBERIA, LINEAS A. DE ESPAÑA	AIRBUS A340-400	276,500.00
IBERIA, LINEAS A. DE ESPAÑA	BOEING B747-200	378,000.00
JAMES DARRYL SHAW (VOLANDO CON PV. 003/09)	CESSNA 150M	726.40
KLM CIA. REAL H. DE AVIACION	BOEING B747-400	397,000.00
KLM CIA. REAL H. DE AVIACION	BOEING B777--206ER	247,210.00
KLM CIA. REAL H. DE AVIACION	MCDONNELL DOUGLAS MD11	273,300.00
LACSA	AIRBUS A320-233	77,000.00
LACSA	AIRBUS A321-231	93,500.00
LAN AIRLINES (EX LAN CHILE)	AIRBUS A319-132	75,500.00
LAN AIRLINES (EX LAN CHILE)	AIRBUS A320-200	78,000.00
LAN AIRLINES (EX LAN CHILE)	BOEING B767-400	204,120.00
LAN ARGENTINA S.A.	AIRBUS A319-132	75,500.00
LAN ARGENTINA S.A.	AIRBUS A320-200	78,000.00
LAN ARGENTINA S.A.	BOEING B767-400	204,120.00
LAN CARGO S.A.(LAN CHILE CARGO)	BOEING B767-400	204,120.00
LAN CARGO S.A.(LAN CHILE CARGO)	BOEING B777-300ER	351,534.00
LAN PERÚ S.A.	AIRBUS A319-132	75,500.00

LAN PERÚ S.A.	BOEING B767-316ER	186,880.00
LAN PERÚ S.A.	BOEING B767-31BER	186,880.00
LAN PERÚ S.A.	BOEING B767-352ER	186,880.00
LAN PERÚ S.A.	BOEING B767-357ER	186,880.00
LAN PERÚ S.A.	BOEING B767-383ER	186,880.00
LAN PERÚ S.A.	BOEING B767-400	204,120.00
LC BUSRE S.A.C.	FAIRCHILD SA227-AC	6,583.00
LC BUSRE S.A.C.	FAIRCHILD SA227-AC	6,583.00
LC BUSRE S.A.C.	FAIRCHILD SA227-AC	6,583.00
LC BUSRE S.A.C.	FAIRCHILD SA227-AC	6,583.00
LC BUSRE S.A.C.	FAIRCHILD SA227-AC	6,583.00
LC BUSRE S.A.C.	FAIRCHILD SA227-AC	6,583.00
LINEA AEREA CARGUERA DE COLOMBIA S.A.	BOEING B767-300F	186,880.00
LINEAS AEREAS SUDAMERICANAS	BOEING B727-200	95,028.00
MARTINAIR HOLLAND	AIRBUS A320-200	78,000.00
MARTINAIR HOLLAND	BOEING B747-206B	378,000.00
MARTINAIR HOLLAND	MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286,000.00
MAS AIR	BOEING B767-316	186,880.00
MAS AIR	MCDONNELL DOUGLAS DC8-63CF	161,000.00
MASTER OF THE SKY S.A.C.	CESSNA 152	758.18
MASTER OF THE SKY S.A.C.	CESSNA 152	758.18
MASTER OF THE SKY S.A.C.	CESSNA 152	758.18
MASTER OF THE SKY S.A.C.	CESSNA 172F	1,044.20
MASTER OF THE SKY S.A.C.	CESSNA 182T	1,407.40
MASTER OF THE SKY S.A.C.	PIPER 34-200-T	4,570.00
MASTER OF THE SKY S.A.C.	PIPER CHEROKEE PA-28-180	2,400.00
MASTER TOP LINHAS AEREAS LTDA	MCDONNELL DOUGLAS DC-10	195,000.00
MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A.	DEHAVILLAND DHC 6-300	5,675.00
NAZCA AIRLINES S.A.C	CESSNA 170-B	998.80
NAZCA AIRLINES S.A.C	CESSNA 182F	1,602.85
NAZCA AIRLINES S.A.C	CESSNA U206F	1,725.20
NORTH AMERICAN FLOAT PLANE SERVICE S.A.C.	CESSNA 185-A	1,452.80
NORTH AMERICAN FLOAT PLANE SERVICE S.A.C.	CESSNA 208	3,632.00
NORTH AMERICAN FLOAT PLANE SERVICE S.A.C.	CESSNA TU-206D	1,634.40
NORTH AMERICAN FLOAT PLANE SERVICE S.A.C.	PIPER PA-31-350	3,345.07
PALMAS DEL ESPINO S.A.	CESSNA A-188B	1,498.20
PALMAS DEL ESPINO S.A.	CESSNA TU-206G	1,725.20
PERUVIAN AIR LINE S.A.	BOEING B737-204	49,190.00
PERUVIAN AIR LINE S.A.	BOEING B737-204	49,190.00
PERUVIAN AIR LINE S.A.	BOEING B737-230	49,190.00
POLAR AIR CARGO WORLDWIDE	BOEING B747-243B	378,000.00

POLAR AIR CARGO WORLDWIDE	BOEING B747-47UF	397,000.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	BELL 204B	3,859.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	BELL 204B	3,859.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	BELL 204B	3,859.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	BELL 205A-1	3,859.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	BELL 212	5,084.80
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	BELL 212	5,084.80
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	BELL 212	5,084.80
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	BELL 212	5,084.80
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	BELL 212S	5,084.80
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	BELL 407	2,270.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	BELL 407	2,270.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	DEHAVILLAND DHC 6-300	5,675.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	DEHAVILLAND DHC 6-300	5,675.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	DEHAVILLAND DHC 6-320	5,675.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B3	2,500.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B3	2,500.00
SERVICIOS AEREOS DE LOS ANDES S.A.C	EUROCOPTER FRANCE AS-350 B3	2,500.00
SERVICIOS AEREOS RUIZ E.I.R.L. SARU	CESSNA 175B	1,157.70
SERVICIOS AEREOS TARAPOTO E.I.R.L.	CESSNA 172G	1,157.70
SERVICIOS AEREOS TARAPOTO E.I.R.L.	CESSNA 172M	1,135.35
SERVICIOS AEREOS TARAPOTO E.I.R.L.	PIPER SENECA II PA-34-200-T	2,074.78
SERVICIOS AERONAUTICOS UNIDOS S.A.C.	TWIN COMMANDER AC-500-S	3,064.50
SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.	SWERINGEN MERLIN SA226-AT	5,675.00
SKY AIRLINES	BOEING B737-200	49,190.00
SKY JET PERU S.A.C	CESSNA 402B	2,860.20
SKY SERVICE S.A.	BOEING B737-200	49,190.00
SOTENZA S.A.C.	PIPER PA-25-235.	1,316.60
SOTENZA S.A.C.	PIPER PA-25-235.	1,316.60
SOTENZA S.A.C.	PIPER PAWNEE PA-25-235	1,316.60
SOUTH AMERICA MISSION INC. (FILIAL PERU)	CESSNA TU-206G	1,725.20
SOUTH AMERICA MISSION INC. (FILIAL PERU)	CESSNA U206G	1,725.20
SOUTH AMERICA MISSION INC. (FILIAL PERU)	CESSNA U206G	1,725.20
SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION	CESSNA 560XL CITATION XLS	9,170.80
SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION	CESSNA SKYMASTER T337H	2,102.02
SPIRIT AIRLANES	AIRBUS A319-132	75,500.00
SPIRIT AIRLANES	AIRBUS A320-200	78,000.00
SPIRIT AIRLANES	AIRBUS A321-231	93,500.00
STAR UP S.A.	BOEING B737-2T2	49,190.00
STAR UP S.A.	BRITISH AEROSPACE BAE 146-100A	38,136.00
STAR UP S.A.	BRITISH AEROSPACE BAE 146-100A	38,136.00
STAR UP S.A.	BRITISH AEROSPACE BAE 146-200	42,222.00
STAR UP S.A.	BRITISH AEROSPACE BAE 146-200	42,222.00

TRANS AMERICAN AIRLINES S.A.	AIRBUS A320-233	77,000.00
TRANS AMERICAN AIRLINES S.A.	AIRBUS A321-231	93,500.00
TRANS AMERICAN AIRLINES S.A.	AIRBUS A321-231	93,500.00
TRANS AMERICAN AIRLINES S.A.	AIRBUS A321-231	93,500.00
TRANS AMERICAN AIRLINES S.A.	AIRBUS A321-231	93,500.00
TRANS AMERICAN AIRLINES S.A.	AIRBUS A321-231	93,500.00
TRANS AMERICAN AIRLINES S.A. (TACA)	AIRBUS A320-233	77,000.00
TRANS. A. BOLIVIANOS – TAB	LOCKHEED HERCULES L-1011-200	209.000,00
TRANS. A. BOLIVIANOS – TAB	MCDONNELL DOUGLAS DC-10	195.000,00
TRANSAER R.A. S.A.	ANTONOV AN-32B (AN-32)	27,000.00
TRANSPORTE AEREO EXPRESO MOCHE S.A.C.	CESSNA CENTURION II T210N	1,816.00
TRANSPORTES AEREOS CIELOS ANDINOS S.A.C.	ANTONOV AN-24RV (AN-24)	21,800.00
TRANSPORTES AEREOS CIELOS ANDINOS S.A.C.	ANTONOV AN-24RV (AN-24)	21,800.00
TRANSPORTES AEREOS CIELOS ANDINOS S.A.C.	ANTONOV AN-26 (AN-26)	24,000.00
TRANSPORTES BERISSO S.R.L.	PIPER PA-28R-180	5,675.00
UNISTAR NETWORKS S.A.C.	CESSNA SKYMASTER T337-G	2,133.80

Fuente: Dirección General de Aviación Civil.

Tabla 3.2: Total de vuelos nacionales por compañía – 2010

SALIDAS NACIONALES		
COMPAÑÍA	AVION CRITICO POR COMPAÑÍA	SALIDAS 2010
LAN PERÚ S.A.	AIRBUS A319-132	16.808
TACA-PERU	AIRBUS A321-231	649
TRANSPORTES AEREOS CIELOS ANDINOS S.A.C.	ANTONOV AN-26 (AN-26)	0
AMAZON SKY S.A.C.	ANTONOV AN-26-100	345
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	ANTONOV AN-26B-100	1.945
TRANSAER R.A. S.A.	ANTONOV AN-32B (AN-32)	256
AVIACIÓN LIDER S.A.	BEECHCRAFT KING AIR E90	30
PERUVIAN AIR LINE S.A.	BOEING B737-204	3.206
AERO CONDOR S.A.C.	BOEING B737-217	0
STAR UP S.A.	BOEING B737-2T2	5.922
AERODIANA S.A.C	CESSNA 208B CARAVAN I	1
UNISTAR NETWORKS S.A.C.	CESSNA SKYMASTER T337-G	5
LC BUSRE S.A.C.	FAIRCHILD SA227-AC	3.248
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	KAZAN MI-17	5
AVIACION DEL SUR S.A.	KAZAN MI-8MTV-1	0
CIELOS DEL PERÚ S.A.	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	64
AERO ANDINO S.A.	PILATUS PORTER PC-6/B2-H4	0

Fuente: Dirección General de Aviación Civil.

Tabla 3.3: Total de vuelos internacionales por compañía – 2010

SALIDAS INTERNACIONALES		
COMPAÑÍA	AVION CRITICO POR COMPAÑÍA	SALIDAS 2010
AEROLANE, L.A NAC.DEL ECUADOR S.A.	AIRBUS A320-233	228
LACSA	AIRBUS A321-231	730
SPIRIT AIRLANES	AIRBUS A321-231	120
TACA-PERU	AIRBUS A321-231	6.139
TAM LINHAS AEREAS	AIRBUS A321-231	365
AIR COMET S.A.	AIRBUS A330-200	0
AIR EUROPA LINEAS AEREAS S.A.	AIRBUS A330-200	156
AIRCANADA	AIRBUS A330-200	157
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	ANTONOV AN-26B-100	35
LÍNEAS Á SURAMERICANAS S.A.	BOEING B727-200	27
SKY SERVICE S.A.	BOEING B737-200	45
STAR UP S.A.	BOEING B737-2T2	14
COPA AIRLANES	BOEING B737-71Q	1.458
GOL TRANSPORTES AEREOS S.A.	BOEING B737-800	0
AEROLINEAS ARGENTINAS	BOEING B747-200	348
IBERIA, LINEAS A. DE ESPAÑA	BOEING B747-200	552
MARTINAIR HOLLAND	BOEING B747-206B	0
ATLAS AIR INC	BOEING B747-400	191
KLM CIA. REAL H. DE AVIACION	BOEING B747-400	360
AMERICAN AIRLANES INC	BOEING B757-200	999
AVIANCA	BOEING B757-236	725
TAMPA	BOEING B767-200ER	226
FLORIDA WEST INTERNATIONAL AIRWAYS	BOEING B767-300F	103
LINEA A.CARGUERA DE COLOMBIA S.A.	BOEING B767-300F	35
MAS AIR	BOEING B767-316	9
AEROLINEAS BRASILERAS S.A. ABSA	BOEING B767-316F	67
LAN AIRLINES (EX LAN CHILE)	BOEING B767-400	2.154
LAN ARGENTINA S.A.	BOEING B767-400	357
LAN PERÚ S.A.	BOEING B767-400	5.535
LAN CARGO S.A.(LAN CHILE CARGO)	BOEING B767-400	214
AEROVIAS DE MEXICO S.A. DE C.V	BOEING B767-400ER	423
CONTINENTAL AIRLANES	BOEING B767-400ER	640
TRANS. A. BOLIVIANOS - TAB	LOCKHEED HERCULES L-1011-200	76
MASTER TOP LINHAS AEREAS LTDA	MCDONNELL DOUGLAS DC-10	8
ARROW AIR	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	31
CIELOS DEL PERÚ S.A.	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	111
DELTA AIRLANES	MCDONNELL DOUGLAS MD11	363
CANTURION CARGO	MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	152

Fuente: Dirección General de Aviación Civil.

3.1. SELECCIÓN DE LA AERONAVE MÁS PESADA POR COMPAÑÍA

De la tabla 3.1 se selecciona todas las compañías que operaron durante el año 2010 según la lista mostrada en las tablas 3.2 y 3.3. De esta nueva lista se eligen a las aeronaves de mayor peso de despegue de cada compañía y se les asigna el número total de salidas que tuvo la compañía en el 2010, este procedimiento se realiza para proporcionar un factor de seguridad a los cálculos que se realizarán. De este análisis se obtiene las tablas que se muestra a continuación:

Tabla 3.4: Avión más pesado por compañía – Nacionales

SALIDAS NACIONALES				
COMPAÑÍA	AVION CRITICO POR COMPAÑÍA	PESO DE DESPEGUE		SALIDAS 2010
		Kg	Lb	
LAN PERÚ S.A.	AIRBUS A319-132	75.500	166.449	16.808
TACA-PERU	AIRBUS A321-231	93.500	206.132	649
TRANSPORTES AEREOS CIELOS ANDINOS S.A.C.	ANTONOV AN-26 (AN-26)	24.000	52.911	0
AMAZON SKY S.A.C.	ANTONOV AN-26-100	25.000	55.116	345
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	ANTONOV AN-26B-100	25.000	55.116	1.945
TRANSAER R.A. S.A.	ANTONOV AN-32B (AN-32)	27.000	59.525	256
AVIACIÓN LIDER S.A.	BEECHCRAFT KING AIR E90	4.630	10.208	30
PERUVIAN AIR LINE S.A.	BOEING B737-204	49.190	108.445	3.206
AERO CONDOR S.A.C.	BOEING B737-217	49.190	108.445	0
STAR UP S.A.	BOEING B737-2T2	49.190	108.445	5.922
AERODIANA S.A.C	CESSNA 208B CARAVAN I	3.988	8.793	1
UNISTAR NETWORKS S.A.C.	CESSNA SKYMASTER T337-G	2.134	4.704	5
LC BUSRE S.A.C.	FAIRCHILD SA227-AC	6.583	14.513	3.248
HELICOPTEROS DEL SUR S.A.	KAZAN MI-17	13.000	28.660	5
AVIACION DEL SUR S.A.	KAZAN MI-8MTV-1	13.000	28.660	0
CIELOS DEL PERÚ S.A.	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.320	580.521	64
AERO ANDINO S.A.	PILATUS PORTER PC-6/B2-H4	2.800	6.173	0

Fuente: Propia

Tabla 3.5: Avión más pesado por compañía – Internacionales

SALIDAS INTERNACIONALES				
COMPAÑÍA	AVION CRITICO POR COMPAÑÍA	PESO DE DESPEGUE		SALIDAS 2010
		Kg	Lb	
AEROLANE, L.A NAC.DEL ECUADOR S.A.	AIRBUS A320-233	77.000	169.756	228
LACSA	AIRBUS A321-231	93.500	206.132	730
SPIRIT AIRLANES	AIRBUS A321-231	93.500	206.132	120
TACA-PERU	AIRBUS A321-231	93.500	206.132	6.139
TAM LINHAS AEREAS	AIRBUS A321-231	93.500	206.132	365
AIR COMET S.A.	AIRBUS A330-200	230.000	507.063	0
AIR EUROPA LINEAS AEREAS S.A.	AIRBUS A330-200	230.000	507.063	156
AIRCANADA	AIRBUS A330-200	230.000	507.063	157
AERO TRANSPORTE S.A. ATSA	ANTONOV AN-26B-100	25.000	55.116	35
LÍNEAS Á SURAMERICANAS S.A.	BOEING B727-200	95.028	209.501	27
SKY SERVICE S.A.	BOEING B737-200	49.190	108.445	45
STAR UP S.A.	BOEING B737-2T2	49.190	108.445	14
COPA AIRLANES	BOEING B737-71Q	77.500	170.858	1.458
GOL TRANSPORTES AEREOS S.A.	BOEING B737-800	79.000	174.165	0
AEROLINEAS ARGENTINAS	BOEING B747-200	378.000	833.347	348
IBERIA, LINEAS A. DE ESPAÑA	BOEING B747-200	378.000	833.347	552
MARTINAIR HOLLAND	BOEING B747-206B	378.000	833.347	0
ATLAS AIR INC	BOEING B747-400	397.000	875.235	191
KLM CIA. REAL H. DE AVIACION	BOEING B747-400	397.000	875.235	360
AMERICAN AIRLANES INC	BOEING B757-200	115.680	255.031	999
AVIANCA	BOEING B757-236	115.680	255.031	725
TAMPA	BOEING B767-200ER	179.170	395.002	226
FLORIDA WEST INTERNATIONAL AIRWAYS	BOEING B767-300F	186.880	412.000	103
LINEA A.CARGUERA DE COLOMBIA S.A.	BOEING B767-300F	186.880	412.000	35
MAS AIR	BOEING B767-316	186.880	412.000	9
AEROLINEAS BRASILERAS S.A. ABSA	BOEING B767-316F	186.880	412.000	67
LAN AIRLINES (EX LAN CHILE)	BOEING B767-400	204.120	450.008	2.154
LAN ARGENTINA S.A.	BOEING B767-400	204.120	450.008	357
LAN PERÚ S.A.	BOEING B767-400	204.120	450.008	5.535
LAN CARGO S.A.(LAN CHILE CARGO)	BOEING B767-400	204.120	450.008	214
AEROVIAS DE MEXICO S.A. DE C.V	BOEING B767-400ER	204.120	450.008	423
CONTINENTAL AIRLANES	BOEING B767-400ER	204.120	450.008	640

TRANS. A. BOLIVIANOS - TAB	LOCKHEED HERCULES L-1011-200	209.000	460.766	76
MASTER TOP LINHAS AEREAS LTDA	MCDONNELL DOUGLAS DC-10	195.000	429.901	8
ARROW AIR	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.320	580.521	31
CIELOS DEL PERÚ S.A.	MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.320	580.521	111
DELTA AIRLANES	MCDONNELL DOUGLAS MD11	273.300	602.523	363
CANTURION CARGO	MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286.000,00	630.522,07	152,00

Fuente: Propia

3.2. NÚMERO DE SALIDAS DURANTE EL AÑO 2010

De todos los aviones por cada tipo de compañía tanto nacional como internacional, se agrupa a todas aquellas aeronaves que tienen el mismo modelo. Por otro lado, ya que se está siguiendo la metodología propuesta por la FAA para aeropuertos cuyas aeronaves tengan un peso mayor a 30,000 lb, se eliminan aquellas aeronaves que no cumplan con ésta consideración, de esta manera se obtiene la tabla 3.6 que se muestra a continuación. Cabe resaltar que el B 747-400 es el que posee el mayor peso bruto (875,235 lb o 397,000 Kg).

Tabla 3.6: Salidas en el año 2010 por tipo de aeronave

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DE DESPEGUE		SALIDAS (2010)
	Kg	Lb	
AIRBUS A319-132	75.500	166.449	16.808
AIRBUS A320-233	77.000	169.756	228
AIRBUS A321-231	93.500	206.132	8.003
AIRBUS A330-200	230.000	507.063	313
ANTONOV AN-26-100	25.000	55.116	2.325
ANTONOV AN-32B	27.000	59.525	256
BOEING B727-200	95.028	209.501	27
BOEING B737-200	49.190	108.445	9.187
BOEING B737-71Q	77.500	170.858	1.458
BOEING B747-200	378.000	833.347	900
BOEING B747-400	397.000	875.235	551
BOEING B757-200	115.680	255.031	1.724
BOEING B767-200ER	179.170	395.002	226
BOEING B767-300F	186.880	412.000	214
BOEING B767-400	204.120	450.008	9.323
LOCKHEED HERCULES L-1011-200	209.000	460.766	76
MCDONNELL DOUGLAS DC-10	195.000	429.901	8
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.320	580.521	206
MCDONNELL DOUGLAS MD11	273.300	602.523	363
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286.000	630.522	152
			52.348

Fuente: Propia

3.3. NÚMERO DE SALIDAS ANUALES PROMEDIO (2010 – 2030)

La FAA específica en el AC 150/5320-6D que los pavimentos de aeropuertos se diseñan con una vida útil estructural de 20 años¹⁶. De esta manera, se determinará el tráfico anual promedio en todo el periodo de diseño (2010 - 2030) haciendo uso de las siguientes fórmulas:

$$T_{prom} = \frac{T_i * [(1 + r)^Y - 1]}{y * r}$$

Donde:

T_i : Tráfico inicial.

T_{prom} : Tráfico anual promedio durante el periodo de diseño.

Y : Periodo de diseño en años.

r : Razón de crecimiento anual del tráfico.

En el presente análisis se ha considerado los siguientes valores para las variables mostradas en las ecuaciones anteriores:

- Tráfico inicial (T_i): los datos registrados en el año 2010, que se muestran en la Tabla 3.6.
- Razón de crecimiento anual del tráfico (r): 6.3%, LAP¹⁷.
- Periodo de diseño (Y): 20 años

A continuación, en la tabla 3.7 se muestra los resultados del tráfico anual promedio durante el periodo de diseño (2010 - 2030).

¹⁶ FAA, AC No: 150/5320-6D. Airport Pavement Design and Evaluation. Traducción propia. Estados Unidos: 1995, p.24

¹⁷ Lima Airport Partners. *Memoria Anual 2009*. Lima: LAP, 2009, p. 39.

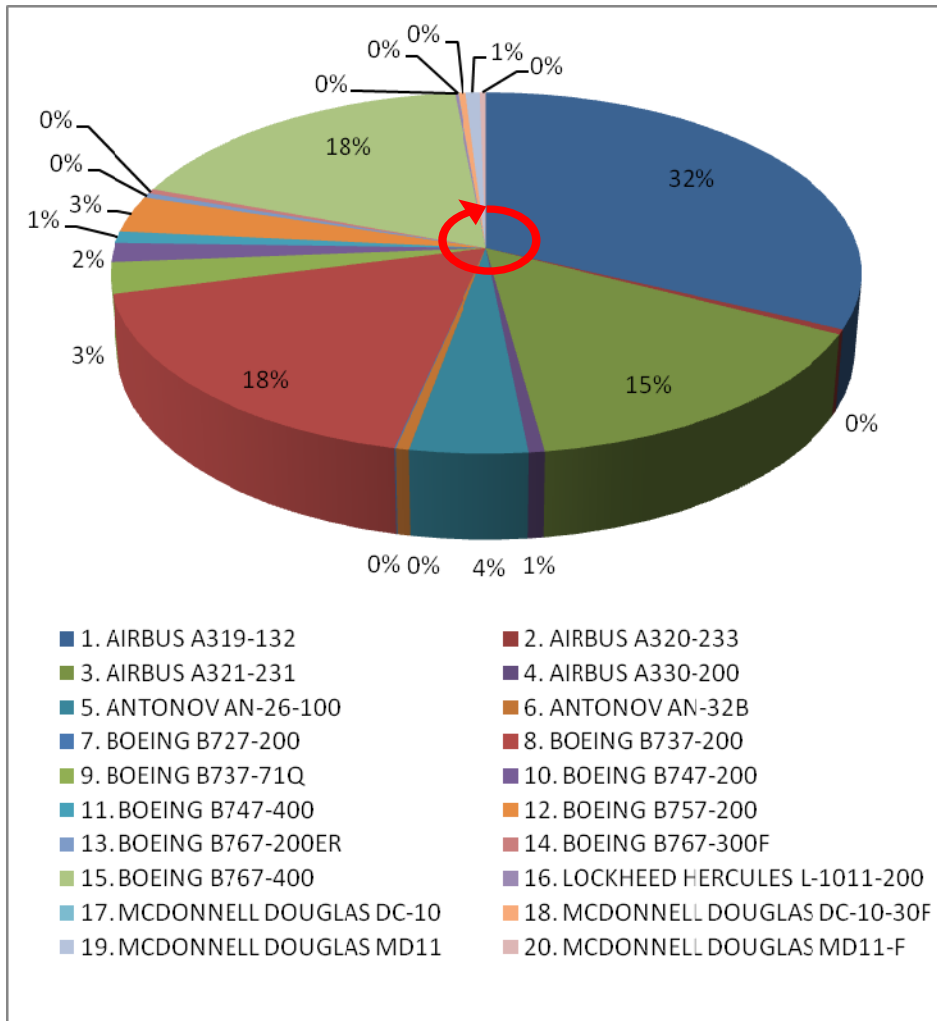
Tabla 3.7: Salidas anuales promedio en el periodo de diseño

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DE DESPEGUE		SALIDAS ANUALES 2010 (T_i)	SALIDAS ANUALES PROMEDIO 2010-2030 (T_{prom})
	Kg	Lb		
AIRBUS A319-132	75.500	166.449	16.808	36.924
AIRBUS A320-233	77.000	169.756	228	501
AIRBUS A321-231	93.500	206.132	8.003	17.581
AIRBUS A330-200	230.000	507.063	313	688
ANTONOV AN-26-100	25.000	55.116	2.325	5.108
ANTONOV AN-32B	27.000	59.525	256	562
BOEING B727-200	95.028	209.501	27	59
BOEING B737-200	49.190	108.445	9.187	20.182
BOEING B737-71Q	77.500	170.858	1.458	3.203
BOEING B747-200	378.000	833.347	900	1.977
BOEING B747-400	397.000	875.235	551	1.210
BOEING B757-200	115.680	255.031	1.724	3.787
BOEING B767-200ER	179.170	395.002	226	496
BOEING B767-300F	186.880	412.000	214	470
BOEING B767-400	204.120	450.008	9.323	20.481
LOCKHEED HERCULES L-1011-200	209.000	460.766	76	167
MCDONNELL DOUGLAS DC-10	195.000	429.901	8	18
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.320	580.521	206	453
MCDONNELL DOUGLAS MD11	273.300	602.523	363	797
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286.000	630.522	152	334

Fuente: Propia

La figura que se muestra a continuación, está basada en los datos de la tabla 3.7, en ella se puede apreciar los modelos de los aviones que tienen el mayor porcentaje de número de salidas.

Figura 3.1: Porcentaje de salidas anuales promedio por aeronave en el periodo de diseño



Fuente: Propia

4. ESTUDIO DE SUELOS

La subrasante es la capa donde toda la estructura del pavimento se apoya (es por ello que es imprescindible un estudio de suelos, ya que mediante este estudio podremos conocer las características, propiedades y el comportamiento del suelo).

Las características del suelo, el ensayo de Proctor Modificado Método "A" y el ensayo de CBR, forman parte de los datos proporcionados para la presente Tesis.

4.1. RESUMEN DE LOS DATOS RECOLECTADOS

- Los datos referentes al ensayo de clasificación de la subrasante (Resultado de estudios 4.1) se detallan a continuación.
 - ✓ Limite líquido: 21
 - ✓ Limite plástico: 15
 - ✓ Índice de Plasticidad: 6
 - ✓ Porcentaje que pasa la malla N° 200: 64.6%
- Los datos referentes a la densidad del terreno (Resultado de Estudios 4.2), se detalla a continuación.
 - ✓ Densidad seca máxima: 1.98 g/cm³
 - ✓ Humedad optima: 11.6%
- Los datos referentes al CBR (Resultado de estudios 4.3) muestran que el valor del CBR de la subrasante es 19%.
- El porcentaje de compactación in situ del suelo fue tomado hasta una profundidad de 36 pulg por debajo de la subrasante. Este porcentaje de compactación es del 95% de la densidad seca máxima.

Resultado de ensayo 4.1: Análisis granulométrico - Subrasante

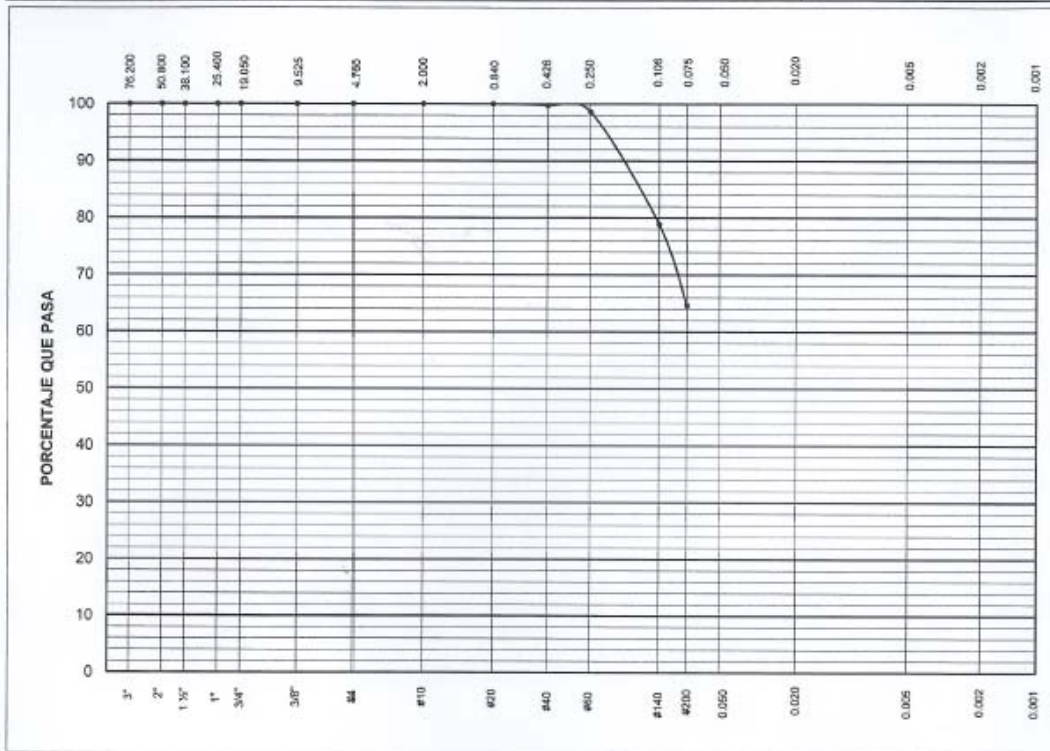
DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN
NTP 339.127, 339.128, 339.129, 339.131

Solicitante : ABIGAIL DELGADO - CANDY QUISPE	Expediente
Proyecto : TESIS: DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO	
Muestra : SUB RASANTE	Fecha : 22-Feb-2012



Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa	Diámetro en mm	Porcentaje que pasa	LL = 21	LP = 15	IP = 6	CLASIFICACIÓN	
3"	100.0	-----	-----	-----	-----	-----	SUCS	CL-ML
2"	100.0	-----	-----	-----	-----	-----	AASHTO	A-4(6)
1 1/2"	100.0	-----	-----					
1"	100.0	-----	-----					
3/4"	100.0	-----	-----					
3/8"	100.0	-----	-----					
#4	100.0	-----	-----					
#10	100.0	-----	-----					
#20	100.0	-----	-----					
#40	99.7	-----	-----					
#60	98.6	-----	-----					
#140	78.8	-----	-----					
#200	64.6	-----	-----					

MANUEL A. OLCESE FRANZERO
Ingeniero Civil CIP 12969
Jefe del Laboratorio

1/1/GM/1 de 1

Av. Universitaria 1801, San Miguel . Teléfono 626 2000 Anexo 4651 . Fax 626 2837. Internet: suelos@pucp.edu.pe

Fuente: Datos proporcionados para la presente tesis

Resultado de ensayo 4.2: Ensayo de Proctor Modificado - Subrasante

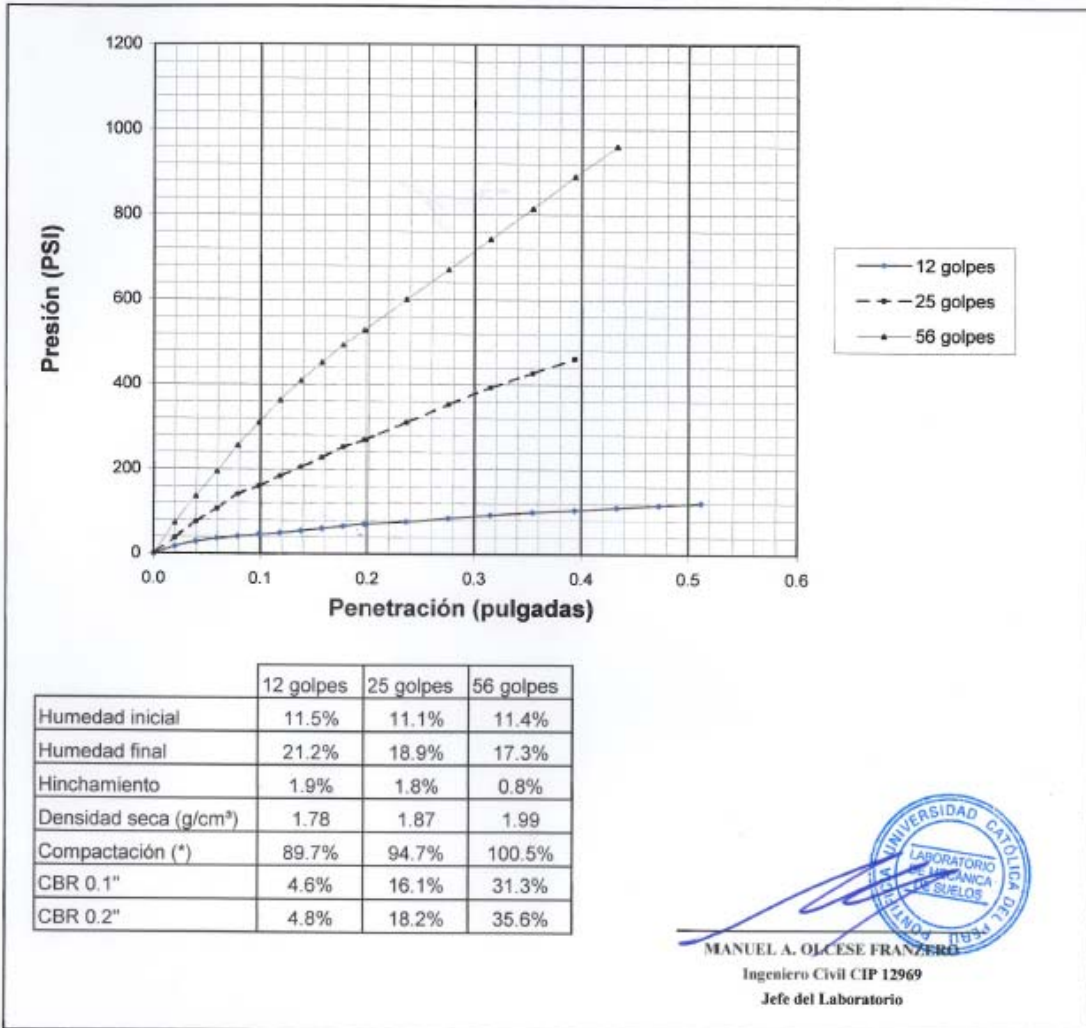
DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

ENSAYO C.B.R.
NTP 339.145

Solicitante : ABIGAIL DELGADO - CANDY QUISPE	Expediente :
Proyecto : TESIS: DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO	
Muestra : SUB RASANTE	Profundidad: 0.30-3.00 m Fecha : 20-jun-2011



(*) Porcentaje respecto a la máxima densidad seca 1.98 g/cm³, en el ensayo de compactación PROCTOR MODIFICADO método 'A' (Humedad óptima = 11.6%) efectuado como parte del presente expediente.

//CBR/1 de 2

Resultado de ensayo 4.3: Ensayo de CBR - Subrasante

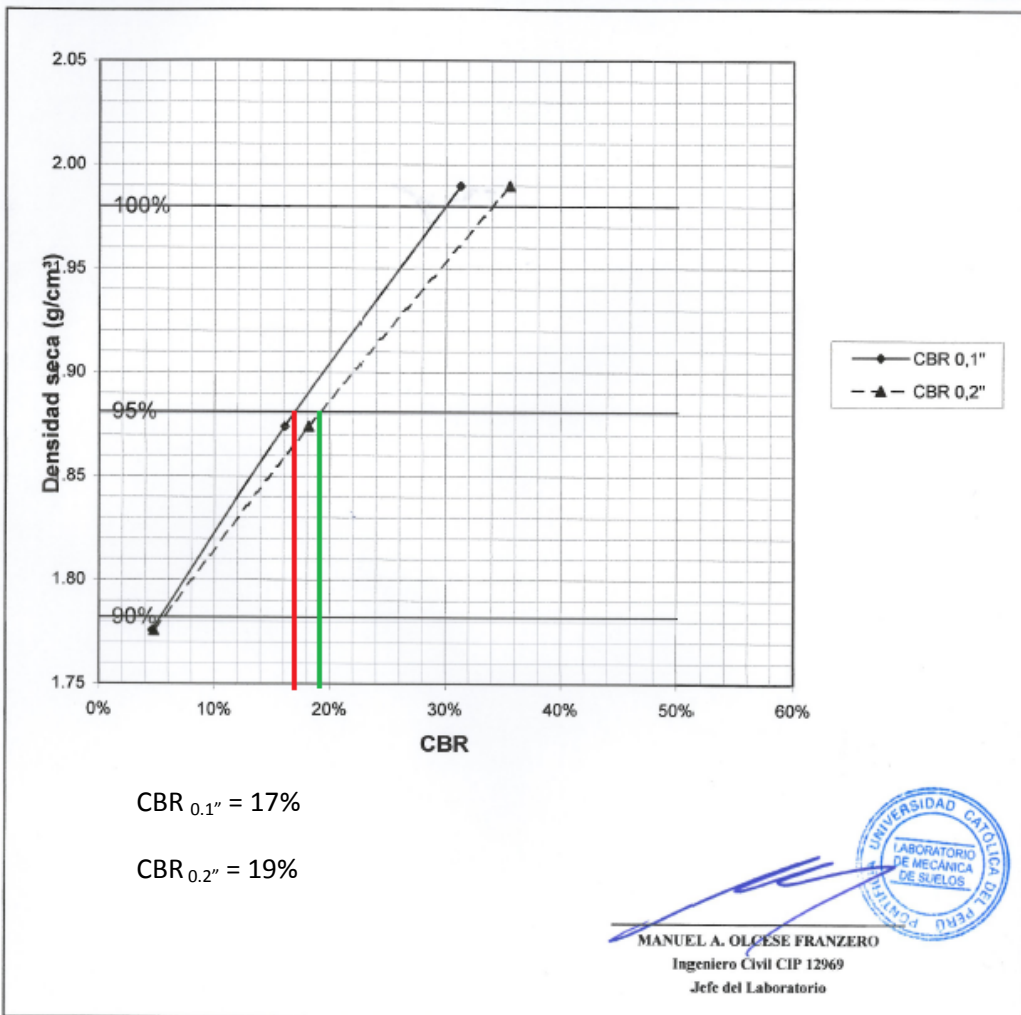
DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

ENSAYO C.B.R.
NTP 339.145

Solicitante : ABIGAIL DELGADO - CANDY QUISPE	Expediente :
Proyecto : TESIS: DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO	Fecha : 20-jun-2011
Muestra : SUB RASANTE	Profundidad: 0.30-3.00 m



//CBR/2 de 2

Av. Universitaria 1801, San Miguel. Teléfono 626 2000 Anexo 4651. Fax 626 2837. Internet: suelos@pucp.edu.pe

Fuente: Datos proporcionados para la presente tesis

4.2. CLASIFICACIÓN DEL SUELO

El estudio de las diferentes muestras tomadas en el área donde se construirá el aeropuerto propuesto en la presente tesis presentan las mismas características. Según la metodología SUCS determinaremos la clasificación del suelo característico de la zona de estudio:

- El tamaño de los granos, esto es si el porcentaje que pasa la malla #200 es mayor al 50% entonces es grano fino de lo contrario es grano grueso. En este caso el porcentaje que pasa la malla #200 es 64.6%, por lo tanto el suelo es considerado grano fino cohesivo.
- El límite líquido y plástico, SUCS considera a los suelos finos como limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas. Además si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo anterior la letra L (baja plasticidad) de lo contrario se añadirá H (alta plasticidad). Como el valor del límite líquido es 21, entonces es un suelo de baja plasticidad. De la gráfica de plasticidad se conoce que el suelo tiene la clasificación CL-ML.

4.3. ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Para la FAA los suelos por debajo de la subrasante deben ser compactados para proveer una estabilidad adecuada y un soporte uniforme. En el caso de los pavimentos flexibles los requerimientos de compactación se muestran en la tabla 4.1.

Asimismo, los requerimientos de compactación para pavimentos rígidos en suelos cohesivos son los siguientes:

- Para suelos utilizados en las secciones de relleno, todo el suelo deberá ser compactado hasta el 90 % de la máxima densidad seca.
- Para suelos en las secciones de corte, desde la parte superior de la subrasante hasta por debajo de 6 pulgadas (150mm), se compactará al 90 por ciento de la densidad máxima.

Tabla 4.1: Requerimiento de compactación de la subrasante para pavimentos flexibles

DESIGN AIRCRAFT	GROSS WEIGHT (lbs)	NON-COHESIVE SOILS Depth of Compaction (In)				COHESIVE SOILS Depth of Compaction (In)			
		100%	95%	90%	85%	95%	90%	85%	80%
Single Wheel	30.000	8	8 - 18	18 - 32	32 - 44	6	6 - 9	9 - 12	12 - 17
	50.000	10	10 - 24	24 - 36	36 - 48	6	6 - 9	9 - 16	16 - 20
	75.000	12	12 - 30	30 - 40	40 - 52	6	6 - 12	12 - 19	19 - 25
Dual Wheel (incls. C-130)	50.000	12	12 - 28	28 - 38	38 - 50	6	6 - 10	10 - 17	17 - 22
	100.000	17	17 - 30	30 - 42	42 - 55	6	6 - 12	12 - 19	19 - 25
	150.000	19	19 - 32	32 - 46	46 - 60	7	7 - 14	14 - 21	21 - 28
	200.000	21	21 - 37	37 - 53	53 - 69	9	8 - 16	16 - 24	24 - 32
Dual Tand. (incls. 757, 767, A-300)	100.000	14	14 - 26	26 - 38	38 - 49	6	6 - 10	10 - 17	17 - 22
	200.000	17	17 - 30	30 - 43	43 - 56	6	6 - 12	12 - 18	18 - 26
	300.000	20	20 - 34	34 - 48	48 - 63	7	7 - 14	14 - 22	22 - 29
	400.000	23	23 - 41	41 - 59	59 - 76	9	7 - 18	18 - 27	27 - 36
DC - 10 L1011	400.000	21	21 - 36	36 - 55	55 - 70	8	8 - 15	15 - 20	20 - 28
	600.000	23	23 - 41	41 - 59	59 - 76	9	9 - 18	18 - 27	27 - 36
747	800.000	23	23 - 41	41 - 59	59 - 76	9	9 - 18	18 - 27	27 - 36

Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

La FAA indica que se debe evaluar al avión más pesado cuando se considere la profundidad de compactación, ya sea para pavimentos flexibles y rígidos. Como se mencionó anteriormente, de la lista de aviones analizados, el de mayor peso bruto es el B 747-400 (875,000 Lb o 396,900 Kg).

Análisis para pavimento flexible; De la tabla 4.1, para suelos cohesivos, y considerando al B 747-400 (875,000 lb) como el avión más pesado, se obtiene los requerimientos mínimos de compactación que se detallan a continuación:

Tabla 4.2: Valor de la densidad a ciertas profundidades

Porcentaje de la densidad máxima	%	95	90	85	80
Profundidad debajo del nivel de la subrasante	pulg	0 - 9	9 - 18	18 - 27	27 - 36

Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

De los datos proporcionados se conoce que el porcentaje de compactación por debajo de la subrasante a diferentes profundidades, es el siguiente:

Tabla 4.3: Valor de la densidad del suelo en estudio

Porcentaje de la densidad máxima	%	95	95	95	95
Profundidad debajo del nivel de la subrasante	pulg	0 - 9	9 - 18	18 - 27	27 - 36

Fuente: Resultado de estudios 1 - Ensayo de Proctor Modificado y densidad de la Subrasante

Se observa que los resultados de compactación, en todas las profundidades son satisfactorios. Esto quiere decir que no será necesario compactar el suelo de la subrasante.

Análisis para pavimento rígido; en este caso el terreno es un suelo llano y continuo, por lo que no se presentarán zonas de relleno. Sin embargo sí existirán zonas de corte en el área de movimiento del aeropuerto.

Como ya se sabe, el porcentaje de compactación hasta una profundidad de 36 pulg por debajo del nivel de la subrasante es de 95%. Este valor supera las 6 pulg que deben compactarse al 90% de la máxima densidad seca según la FAA, por lo tanto, el terreno no se compactará.

4.4. ENSAYO DE CBR

El ensayo de CBR mide la resistencia al corte de un suelo y ayuda a determinar la calidad del terreno para la subrasante.

De los datos proporcionados en el Resultado de Estudio 4.3, se ha tomado el mayor valor de CBR ($CBR_{0.1''}$ y $CBR_{0.2''}$ de penetración), obteniéndose un valor de $CBR_{0.2''}$ de 19%.

Por otro lado, se detallan ciertas condiciones que no presenta el suelo de la subrasante:

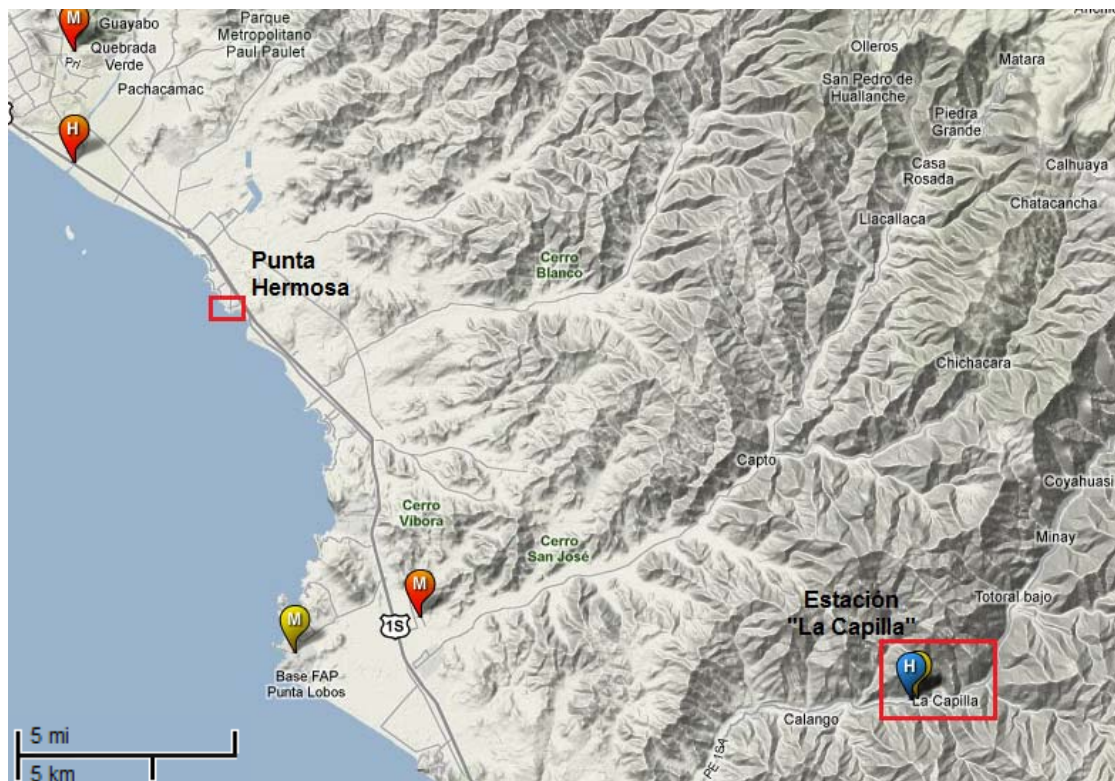
- Un drenaje pobre.
- Un drenaje de superficies adversas.
- Presencia de heladas.
- La necesidad de una plataforma de trabajo estable.



5. ESTUDIO PLUVIOMETRICO

El SENAMHI presenta un registro histórico de las precipitaciones que ha soportado el país, estos registros son tomados de diversas estaciones ubicadas en varios puntos del Perú. En la presente tesis consideraremos como fuente de datos la información recopilada de la estación “La Capilla”.

Figura 5. 1: Mapa de ubicación de la estación “La Capilla”



Fuente: Google earth

Cabe resaltar que la estación “La Capilla” es la que se encuentra más cerca de la zona en estudio (Punta Hermosa). El registro de precipitaciones de la estación “La Capilla”, se encuentran en el Anexo 3, ésta información indica la precipitación máxima en 24 horas (mm) durante cada mes desde el año 2006 al 2010. A partir de ésta información podemos obtener lo siguiente:

- Promedio mensual de la precipitación máxima en 24 horas.

5.1. ESTACIÓN “LA CAPILLA”

La estación “La Capilla” es de tipo convencional e hidrológica y se encuentra ubicada en la provincia de Cañete, distrito de Calango. La información recolectada corresponde a los años 2006 - 2010.

5.1.1. PROMEDIO MENSUAL DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.

En la siguiente tabla se encuentra registrada la precipitación máxima (mm) en 24 horas, de cada mes, de los años 2006 - 2010. De estos datos se obtiene la precipitación promedio mensual máxima en 24 horas.

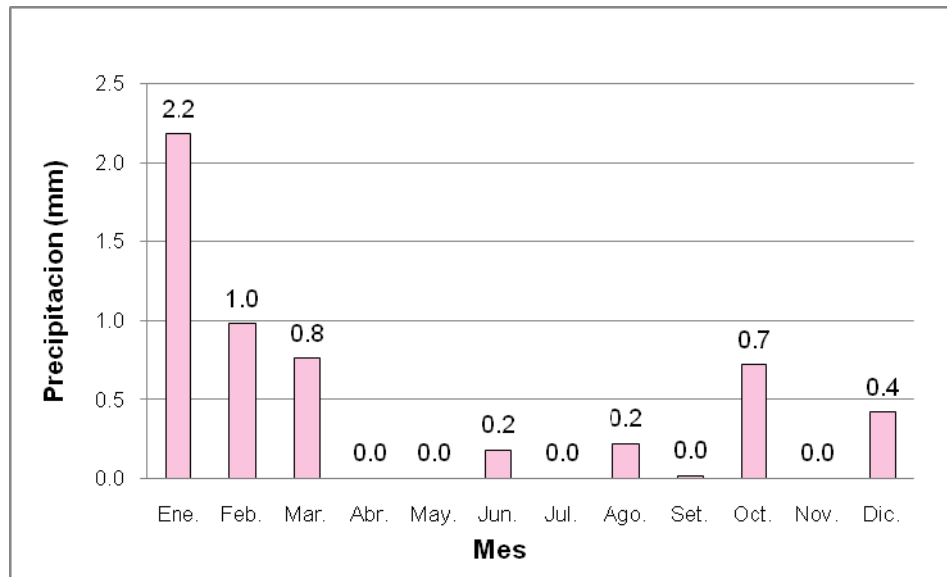
Tabla 5.1: Precipitación máxima en 24 horas

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
2006	3.8	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
2007	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	1.7	0.0	0.0
2008	1.9	0.5	0.5	0.0	0.0	0.9	0.0	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
2009	0.9	4.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0
2010	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
Prom. (mm)	2.2	1.0	0.8	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.7	0.0	0.4

Fuente: Propia

A continuación, en la figura 5.2, se muestra La precipitación promedio mensual máxima en 24 horas, correspondiente a la estación La Capilla.

Figura 5.2: Precipitación promedio mensual



Fuente: Propia

Cabe resaltar, que estos son valores se obtienen de una precipitación máxima en 24 horas más no de un total de precipitaciones.

5.2. CLIMA DE LA ZONA

El clima en el distrito de Punta Hermosa presenta condiciones de clima desértico, con escasas lluvias durante todo el año.

Por otro lado, la temperatura máxima registrada es de 28,8°C en los meses de enero a marzo, y en los meses de julio a septiembre una temperatura mínima de 13.0°C, dado esto, se puede decir que el clima es cálido durante la estación de verano. En invierno se ha registrado viento, el cual es ligeramente húmedo y está asociado a una ligera nubosidad en las mañanas.¹⁸

¹⁸ ALLENDE CCAHUANA, Teófilo. Cuenca del Río Lurín: Visión Geológico-Ambiental. *Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr.* (en línea). jul./dic. 2003, vol.6, no.12. Consulta: 11 Diciembre 2011, p.44-58. (http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-08882003000200007&lng=es&nrm=iso)

6. ESTUDIO DE CANTERAS Y FUENTES DE AGUA

6.1. CANTERAS

Se identificó la existencia de dos canteras: Loma Verde y Limatambo, las cuales se consideran como adecuadas en términos de cantidad, calidad y cercanía a los tramos de trabajo. Ambas canteras presentan volúmenes superiores a los requeridos, agregados cuyas características físico mecánicas son óptimas para las capas base y subbase respectivamente, y están ubicadas a una distancia no mayor a 15 Km. de la zona de trabajo. Se puede ver la ubicación de las canteras antes mencionadas en la siguiente figura.

Figura 6.1: Ubicación de canteras



Fuente: Google earth

6.1.1. CANTERA LOMA VERDE

- *Ubicación: Altura del Km 38 de la Panamericana Sur*
- *Acceso: 8000 m. del km. 38 de la Panamericana Sur.*
- *Volumen estimado: 195,000m³*
- *Limite Líquido: --*
- *Límite Plástico: --*
- *Índice de plasticidad: --*
- *%Pasa malla #4: 30.5%*
- *%Pasa malla #200: 3.2%*
- *Máxima densidad seca: 2.25g/cm³*
- *Óptimo contenido de humedad: 6.2%*
- *Clasificación SUCS: GW*
- *Utilidad del material: Material para base*
- *Explotación con: Tractor, cargador frontal*

Según la clasificación SUCS y los Resultados de Ensayo del 6.1 al 6.3 para la subbase, se conoce lo siguiente.

- ✓ Grano grueso: 50% o menos pasa la criba #20
- ✓ Mayor porcentaje de fracción gruesa retenida en la criba #4
- ✓ Menos de 5% pasa la criba #200
- ✓ Resultado: Gravas bien graduada GW
- ✓ Ensayo de CBR: 120%

Resultado de ensayo 6.1: Análisis granulométrico -Base

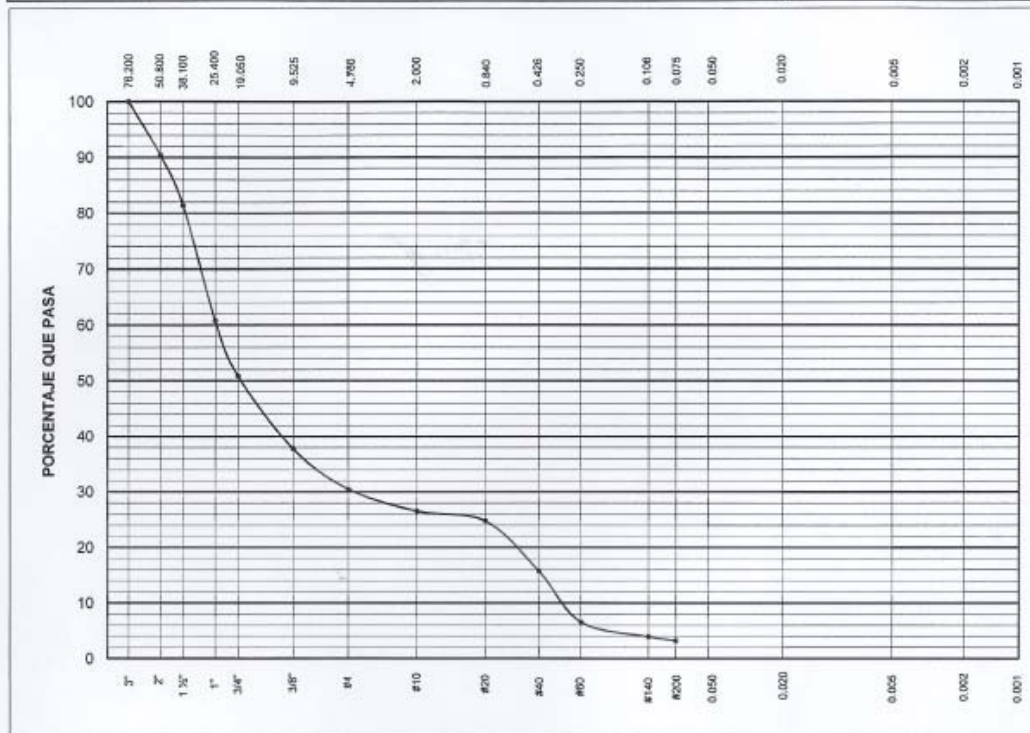
DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN
NTP 339.127, 339.128, 339.129, 339.131

Solicitante : ABIGAIL DELGADO - CANDY QUISPE	Expediente
Proyecto : TESIS: DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO	
Muestra : BASE	Fecha : 22-Feb-2012



Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa	Diámetro en mm	Porcentaje que pasa	CLASIFICACIÓN
3"	100.0	-----	-----	SUCS GW AASHTO A-1-a
2"	90.4	-----	-----	
1 1/2"	81.4	-----	-----	
1"	60.7	-----	-----	
3/4"	50.8	-----	-----	
3/8"	37.8	-----	-----	
#4	30.5	-----	-----	
#10	26.5	-----	-----	
#20	24.7	-----	-----	
#40	15.8	-----	-----	
#60	6.6	-----	-----	
#140	3.9	-----	-----	
#200	3.2	-----	-----	

MANUEL A. OLCESE FRANZERO
 Ingeniero Civil CIP 12969
 Jefe del Laboratorio

/2/GM/1 de 1

Av. Universitaria 1801, San Miguel . Teléfono 626 2000 Anexo 4651 . Fax 626 2837. Internet: suelos@pucp.edu.pe

Fuente: Datos proporcionados para la presente tesis

Resultado de ensayo 6.2: Ensayo de Proctor modificado - Base

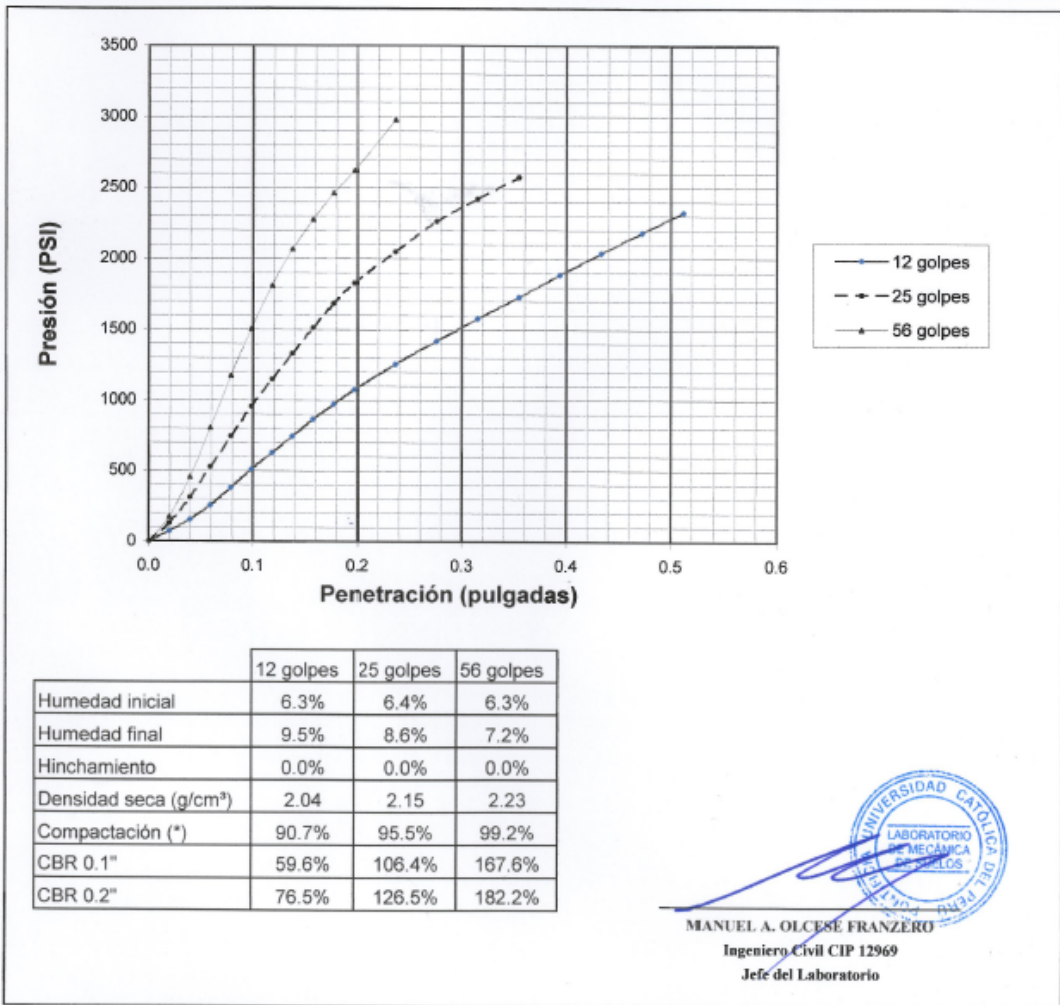
DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

ENSAYO C.B.R.
NTP 339.145

Solicitante : ABIGAIL DELGADO - CANDY QUISPE	Expediente :
Proyecto : TESIS: DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO	Fecha : 20-jun-2011
Muestra : BASE	Profundidad: -----



(*) Porcentaje respecto a la máxima densidad seca 2.25 g/cm³, en el ensayo de compactación PROCTOR MODIFICADO método 'C' (Humedad óptima = 6.2%) efectuado como parte del presente expediente.

//CBR/1 de 2

Resultado de ensayo 6.3: Ensayo de CBR - Base

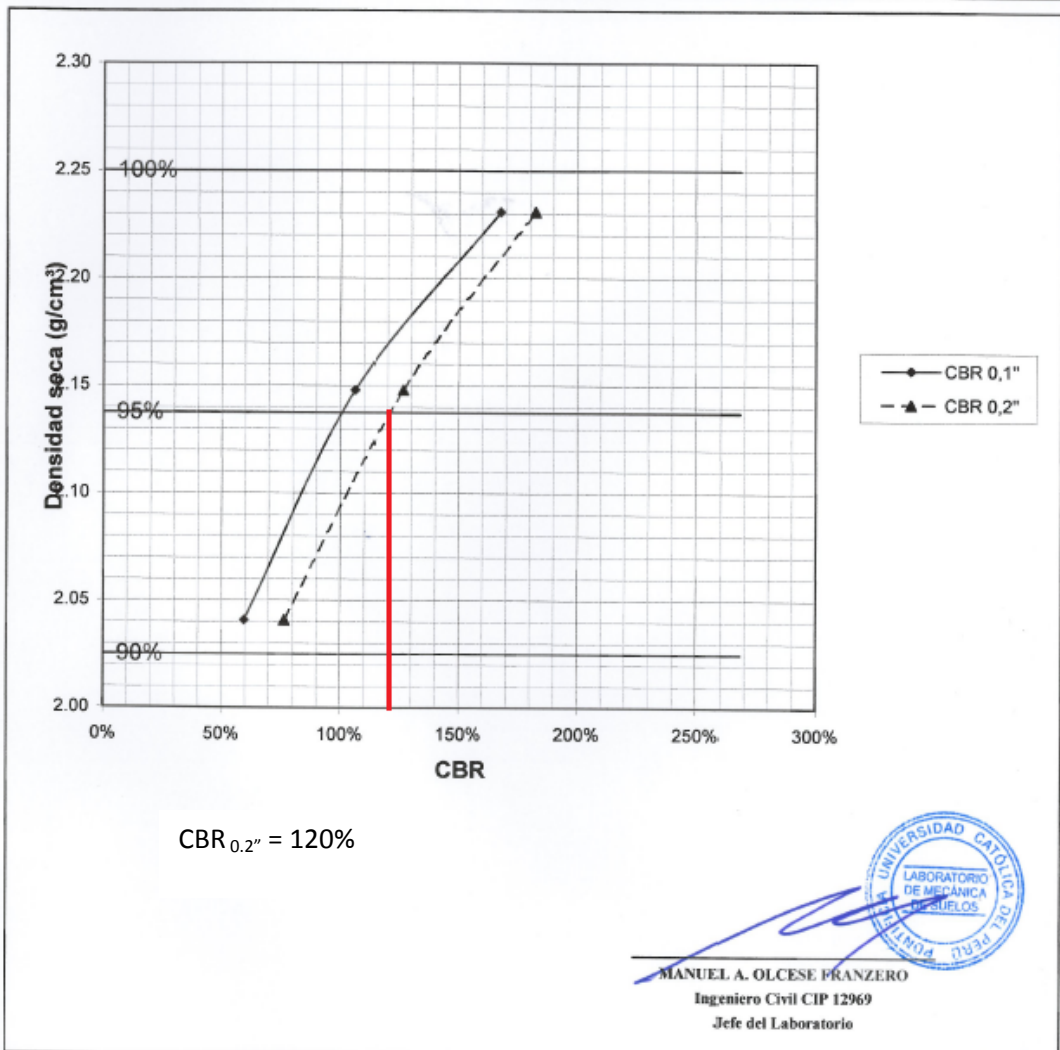
DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

ENSAYO C.B.R.
NTP 339.145

Solicitante : ABIGAIL DELGADO - CANDY QUISPE	Expediente :
Proyecto : TESIS: DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO	
Muestra : BASE Profundidad: -----	Fecha : 20-jun-2011



//CBR/2 de 2

Av. Universitaria 1801, San Miguel. Teléfono 626 2000 Anexo 4651. Fax 626 2837. Internet: suelos@pucp.edu.pe

Fuente: Datos proporcionados para la presente tesis

6.1.2. CANTERA LIMATAMBO

- *Ubicación: Altura del Km 38 de la Panamericana Sur*
- *Acceso: 3000 m. del km. 38 de la Panamericana Sur.*
- *Volumen estimado: 576,000m³*
- *Limite Líquido: NP*
- *Límite Plástico: NP*
- *Índice de plasticidad: --*
- *%Pasa malla #4: 64.70%*
- *%Pasa malla #200: 13.7%*
- *Máxima densidad seca: 2.21g/cm³*
- *Óptimo contenido de humedad: 6.0%*
- *Clasificación SUCS: SM*
- *Utilidad del material: Material subbase*
- *Explotación con: Tractor, cargador frontal*

Según la clasificación SUCS y los Resultados de Ensayo del 6.4 al 6.6 para la subbase, se conoce lo siguiente.

- ✓ Grano grueso: %pasa la malla 200 es el 50% o menos
- ✓ Mayor porcentaje de fracción gruesa pasa la criba #4
- ✓ Más del 12% pasa la criba #200
- ✓ Debajo de la línea A y la zona rayada en el gráfico de plasticidad
- ✓ Resultado: Arena limosa SM.
- ✓ Ensayo de CBR: 38%

Resultado de ensayo 6.4: Análisis granulométrico - Subbase

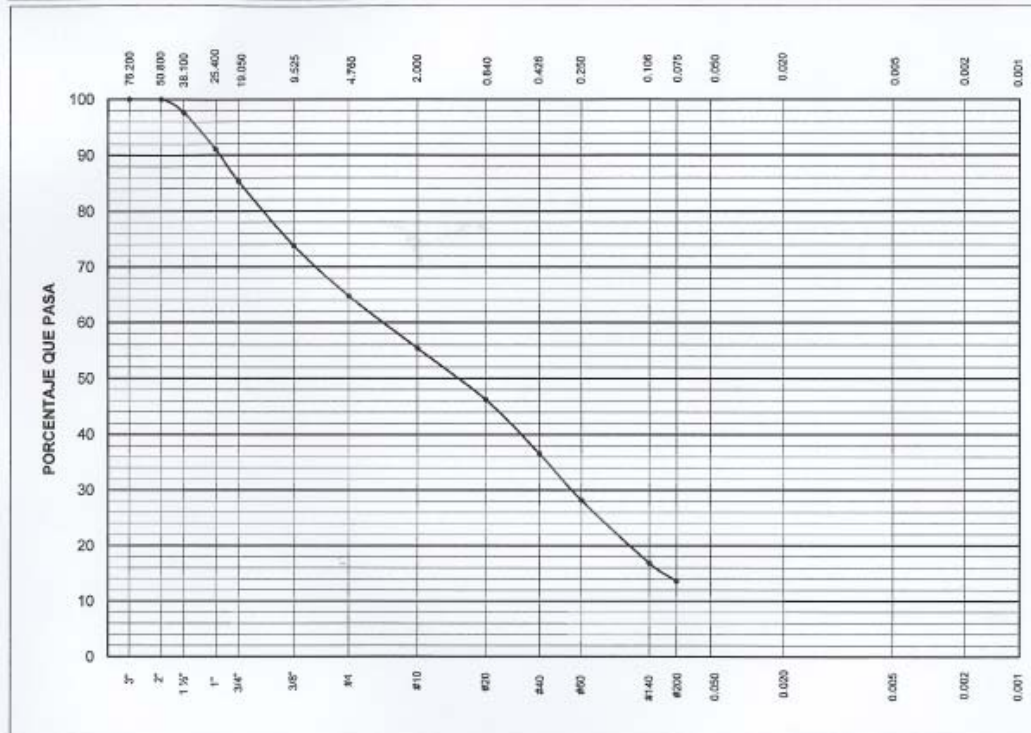
DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN
NTP 339.127, 339.128, 339.129, 339.131

Solicitante : ABIGAIL DELGADO - CANDY QUISPE	Expediente
Proyecto : TESIS: DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO	
Muestra : SUB BASE	Profundidad: ----- Fecha : 22-Feb-2012



Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa	Diámetro en mm	Porcentaje que pasa	LL = NP	-----	CLASIFICACIÓN	
3"	100.0	-----	-----	LP = NP	-----	SUCS	SM
2"	100.0	-----	-----	IP = ---	-----	AASHTO	A-1-b
1 1/2"	97.7	-----	-----				
1"	91.0	-----	-----				
3/4"	85.3	-----	-----				
3/8"	73.8	-----	-----				
#4	64.7	-----	-----				
#10	55.4	-----	-----				
#20	46.2	-----	-----				
#40	36.5	-----	-----				
#60	28.2	-----	-----				
#140	16.9	-----	-----				
#200	13.7	-----	-----				



MANUEL A. OLCÉSE FRANZERO
Ingeniero Civil CIP 12969
Jefe del Laboratorio

//GM/1 de 1

Av. Universitaria 1801, San Miguel, Teléfono 626 2000 Anexo 4651. Fax 626 2837. Internet: suelos@pucp.edu.pe

Fuente: Datos proporcionados para la presente tesis

Resultado de ensayo 6.5: Ensayo de Proctor modificado - Subbase

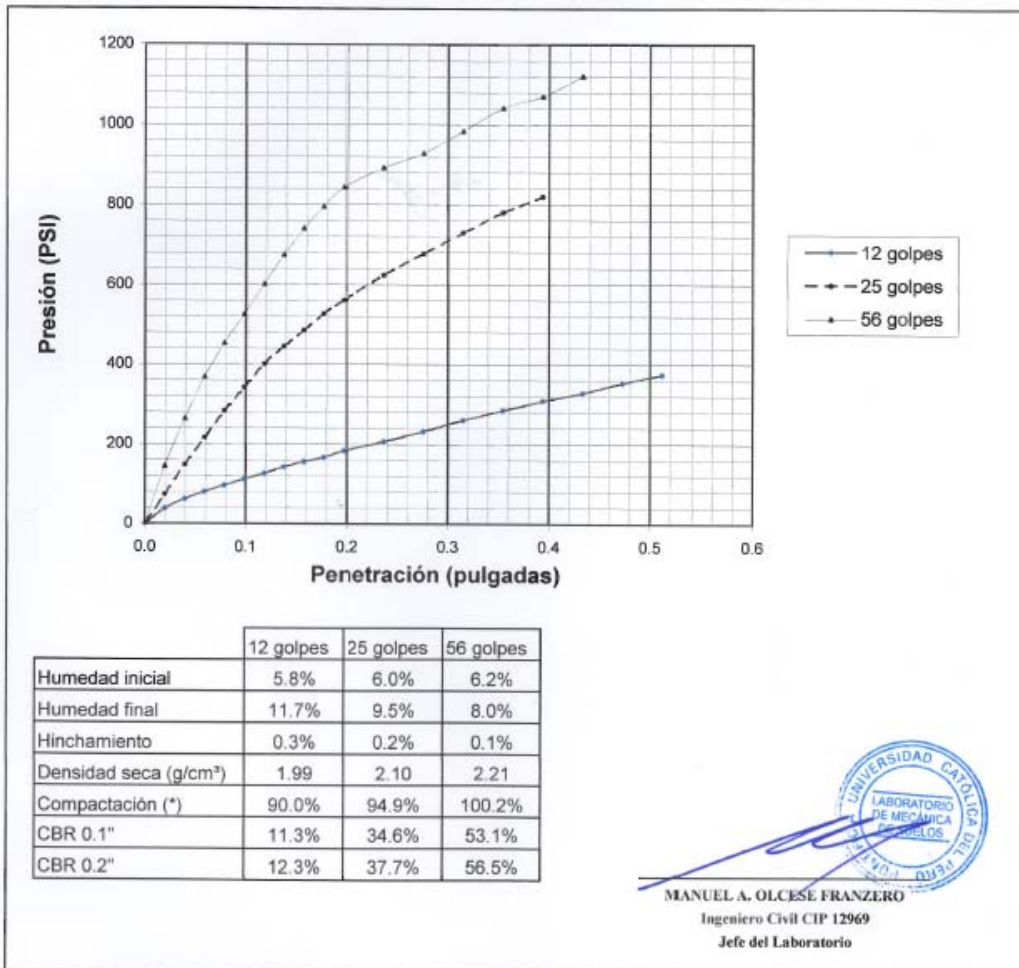
DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**ENSAYO C.B.R.
NTP 339.145**

Solicitante : ABIGAIL DELGADO - CANDY QUISPE	Expediente :
Proyecto : TESIS: DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO	Fecha : 20-jun-2011
Muestra : SUB BASE	Profundidad: -----



(*) Porcentaje respecto a la máxima densidad seca 2.21 g/cm³, en el ensayo de compactación PROCTOR MODIFICADO método 'C' (Humedad óptima = 6.0%) efectuado como parte del presente expediente.

//CBR/1 de 2

Av. Universitaria 1801, San Miguel, Teléfono 626 2000 Anexo 4651. Fax 626 2837. Internet: suelos@pucp.edu.pe

Fuente: Datos proporcionados para la presente tesis

Resultado de ensayo 6.6: Ensayo de CBR - Subbase

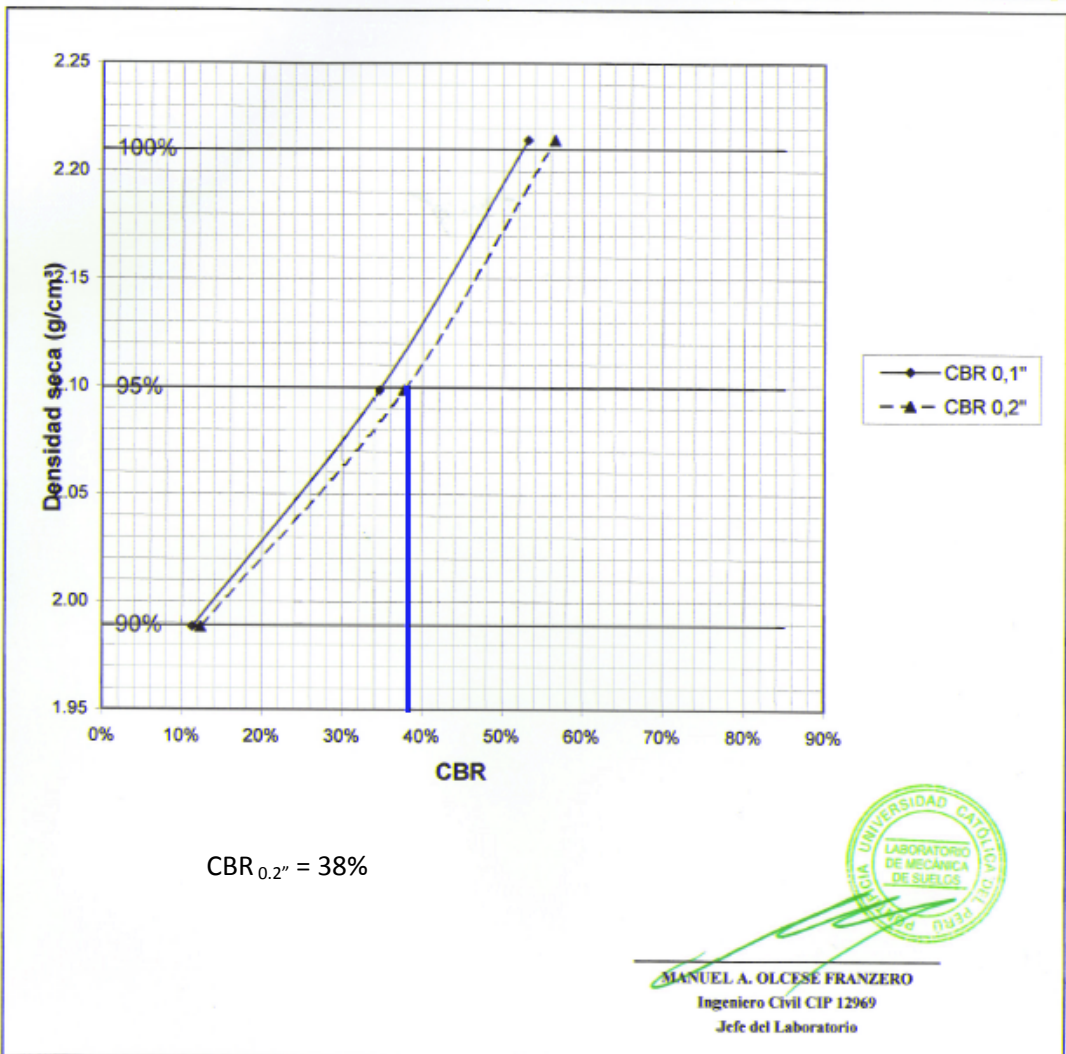
DEPARTAMENTO
DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

ENSAYO C.B.R.
NTP 339.145

Solicitante : ABIGAIL DELGADO - CANDY QUISPE	Expediente :
Proyecto : TESIS: DISEÑO DEL PAVIMENTO DE UN AEROPUERTO	
Muestra : SUB BASE Profundidad: -----	Fecha : 20-jun-2011



//CBR/2 de 2

Av. Universitaria 1801, San Miguel. Teléfono 626 2000 Anexo 4651. Fax 626 2837. Internet: suelos@pucp.edu.pe

Fuente: Datos proporcionados para la presente tesis

6.2. FUENTES DE AGUA

Para este proyecto se eligió al Río Lurín como el abastecedor de agua durante su construcción, ya que las muestras representativas cumplen las tolerancias exigidas por el MTC. Los resultados de estos ensayos se muestran en la tabla 6.1.

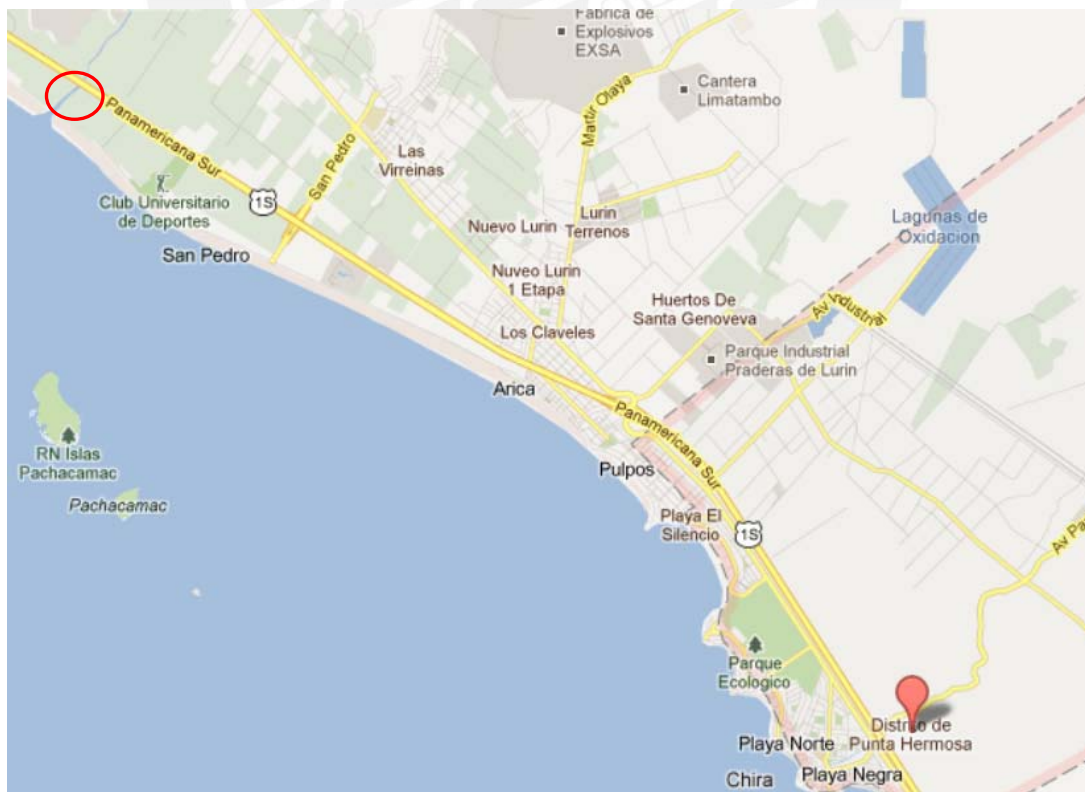
Cabe resaltar que El Río Lurín cruza la Panamericana Sur en el km. 30, por lo cual, la distancia hasta la zona de construcción del pavimento del aeropuerto será menor a 15 Km., tal y como se aprecia en la figura 6.2.

Tabla 6.1: Resultado de los análisis de agua según norma MTC E 716

ENSAYO	RESULTADOS	TOLERANCIAS
Sólidos en Suspensión (ppm)	3.200,0	5,000 máx.
Materia Orgánica (ppm)	1.4	3.00 máx.
Alcalinidad NaHCO ₃ (ppm)	630,0	1,000 máx.
Sulfatos como Ion Cl (ppm)	580,0	1,000 máx.
Ph	6.4	5.5 a 8.0

Fuente: Propia

Figura 6.2: Cruce del Río Lurín – Panamericana Sur (Km 30)



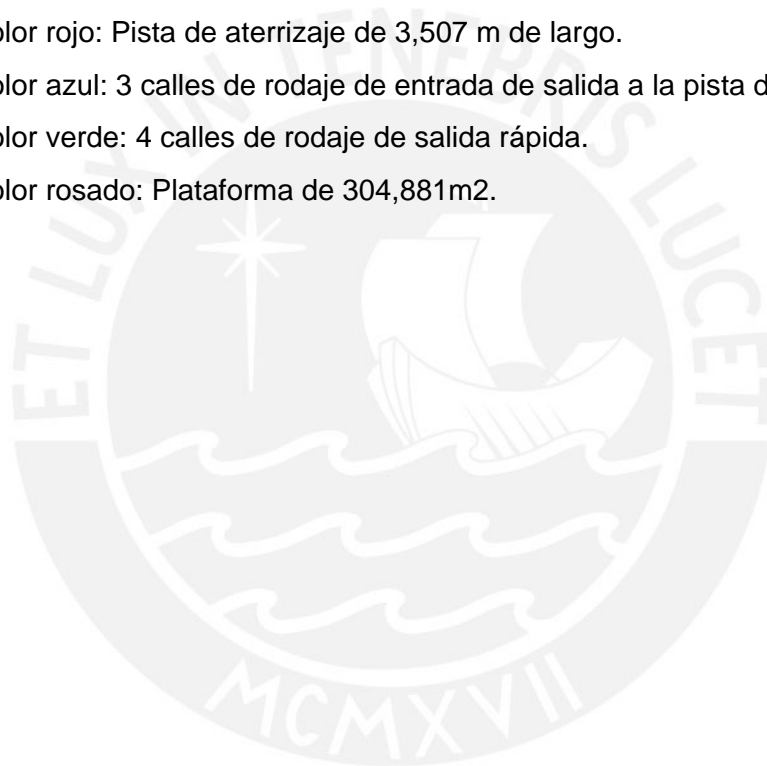
Fuente: Google earth

7. GEOMETRÍA DEL AREA DE MOVIMIENTO

Para el desarrollo de la presente tesis se empleará la configuración geométrica del área de movimiento del Aeropuerto Jorge Chávez (ver plano 1), el cual, *según la clasificación de la OACI, posee la categoría 4-E y está capacitado para recibir aviones de gran fuselaje como el B747, B777 ó el A340*¹⁹.

En el plano 2, se puede apreciar las zonas del área de movimiento del aeropuerto achuradas con diferentes colores:

- Color rojo: Pista de aterrizaje de 3,507 m de largo.
- Color azul: 3 calles de rodaje de entrada de salida a la pista de aterrizaje.
- Color verde: 4 calles de rodaje de salida rápida.
- Color rosado: Plataforma de 304,881m².



¹⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_Internacional_Jorge_Ch%C3%A1vez

8. DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE SEGÚN EL METODO DE LA FAA

8.1. RESUMENES DE LOS DATOS RECOLECTADOS

- Los datos referentes al tráfico que debe soportar el pavimento: tipos de aviones y el volumen de tráfico expresado como el número de aterrizaje anual (datos promedios del periodo 2012-2030). Ver tabla 8.1

Tabla 8.1: Salidas anuales promedio en el periodo de diseño (2010 – 2030)

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DE DESPEGUE		SALIDAS ANUALES PROMEDIO 2010-2030 (T_{prom})	TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL
	Kg	Lb		
AIRBUS A319-132	75.500	166.449	36.924	DUAL
AIRBUS A320-233	77.000	169.756	501	DUAL
AIRBUS A321-231	93.500	206.132	17.581	DUAL
AIRBUS A330-200	230.000	507.063	688	DUAL TANDEM
ANTONOV AN-26-100	25.000	55.116	5.108	DUAL
ANTONOV AN-32B	27.000	59.525	562	DUAL
BOEING B727-200	95.028	209.501	59	DUAL
BOEING B737-200	49.190	108.445	20.182	DUAL
BOEING B737-71Q	77.500	170.858	3.203	DUAL
BOEING B747-200	378.000	833.347	1.977	WIDE BODY
BOEING B747-400	397.000	875.235	1.210	WIDE BODY
BOEING B757-200	115.680	255.031	3.787	DUAL TANDEM
BOEING B767-200ER	179.170	395.002	496	DUAL TANDEM
BOEING B767-300F	186.880	412.000	470	DUAL TANDEM
BOEING B767-400	204.120	450.008	20.481	DUAL TANDEM
LOCKHEED HERCULES L-1011-200	209.000	460.766	167	DUAL TANDEM
MCDONNELL DOUGLAS DC-10	195.000	429.901	18	DUAL TANDEM
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.320	580.521	453	WIDE BODY
MCDONNELL DOUGLAS MD11	273.300	602.523	797	WIDE BODY
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286.000	630.522	334	WIDE BODY

Fuente: Propia

- Los datos referentes a los aviones, como son: la forma del tren de aterrizaje según la disposición de ruedas y el peso bruto de las aeronaves. Ver tabla 8.1.
- Los datos referentes a la calidad del terreno (CBR), para:
 - ✓ Capa Base: 120 %
 - ✓ Capa Subbase: 38%
 - ✓ Capa Subrasante: 19%

8.2. DETERMINACION DE LA AERONAVE DE CALCULO

Del listado de aeronaves mostrado en la tabla 8.3 se seleccionará la aeronave de diseño y será aquella que requiera un mayor espesor del pavimento utilizando los ábacos que la FAA publica para cada tipo de tren de aterrizaje (Anexo 1).

Por otro lado, para aquellas aeronaves que tengan salidas anuales mayores a 25,000, se deberá considerar el espesor del pavimento con el número de salidas anuales máximo mostrado en los ábacos (25,000); posteriormente, se le multiplicará el factor de corrección que le corresponda según la siguiente tabla.

Tabla 8.2: Factor de corrección para un volumen mayor a 25 000 salidas

Annual Departure Level	Percent of 25,000 Departure Thickness
50	104
100	108
150	110
200	112

Note:

The values given in table are based on extrapolation of research data and observations of in service pavements. Table was developed assuming a logarithmic relationship between percent of thickness and departures.

Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

Cabe mencionar que la aeronave de cálculo no será necesariamente la aeronave con mayor peso bruto.

A continuación se muestra los espesores de los pavimentos para las diferentes aeronaves analizadas.

Tabla 8.3: Determinación de la aeronave de cálculo

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DE DESPEGUE		SALIDAS ANUALES PROMEDIO 2010-2030 (T_{prom})	TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL	ESPESOR (pulg)	PORCENTAJE DE CORRECCION (%)	ESPESOR CORREGIDO (pulg)
	Kg	Lb					
AIRBUS A319-132	75.500	166.449	36.924	DUAL	16	102,95	16,5
AIRBUS A320-233	77.000	169.756	501	DUAL	13,5	-	13,5
AIRBUS A321-231	93.500	206.132	17.581	DUAL	19	-	19,0
AIRBUS A330-200	230.000	507.063	688	DUAL TANDEM	21	-	21,0
ANTONOV AN-26-100	25.000	55.116	5.108	DUAL	7,5	-	7,5
ANTONOV AN-32B	27.000	59.525	562	DUAL	7	-	7,0
BOEING B727-200	95.028	209.501	59	DUAL	15,5	-	15,5
BOEING B737-200	49.190	108.445	20.182	DUAL	13	-	13,0
BOEING B737-71Q	77.500	170.858	3.203	DUAL	15	-	15,0
BOEING B747-200	378.000	833.347	1.977	WIDE BODY	18,5	-	18,5
BOEING B747-400	397.000	875.235	1.210	WIDE BODY	20	-	20,0
BOEING B757-200	115.680	255.031	3.787	DUAL TANDEM	14,5	-	14,5
BOEING B767-200ER	179.170	395.002	496	DUAL TANDEM	17,5	-	17,5
BOEING B767-300F	186.880	412.000	470	DUAL TANDEM	18,5	-	18,5
BOEING B767-400	204.120	450.008	20.481	DUAL TANDEM	24,5	-	24,5
LOCKHEED HERCULES L-1011-200	209.000	460.766	167	DUAL TANDEM	20	-	20,0
MCDONNELL DOUGLAS DC-10	195.000	429.901	18	DUAL TANDEM	18,5	-	18,5
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.320	580.521	453	WIDE BODY	17	-	17,0
MCDONNELL DOUGLAS MD11	273.300	602.523	797	WIDE BODY	17,5	-	17,5
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286.000	630.522	334	WIDE BODY	18,5	-	18,5

Fuente: Propia

Como podemos ver en la tabla anterior, el B 767-400 corresponde a la aeronave de cálculo, ya que es la que exige el máximo espesor de pavimento flexible (24.5 pulg).

8.3. DETERMINACION DE LAS SALIDAS ANUALES EQUIVALENTES EN FUNCION A LA AERONAVE DE CALCULO

Las salidas anuales equivalentes se deben calcular en relación a las salidas anuales de la aeronave de cálculo.

El primer paso es multiplicar por un factor a todo el pronóstico de salidas anuales con el fin de uniformizar los trenes de aterrizaje al tren dual tandem que corresponde al de la aeronave de cálculo (B 767-400).

Tabla 8.4: Factores de conversión

To Convert From	To	Multiply Departures by
single Wheel	dual wheel	0,8
single Wheel	dual tandem	0,5
dual Wheel	dual tandem	0,6
double dual tándem	dual tandem	1,0
dual tándem	single wheel	2,0
dual tándem	dual wheel	1,7
dual Wheel	single wheel	1,3
double dual tándem	dual wheel	1,7

Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

Tabla 8.5: Salidas anuales promedio afectadas por el factor de conversión

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	SALIDAS ANUALES PROMEDIO 2010-2030 (T_{prom})	TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL	FACTOR DE CONVERSION	SALIDAS CON EL TREN DE LA AERONAVE DE CALCULO (R2)
AIRBUS A319-132	36.924	DUAL	0,6	22.154
AIRBUS A320-233	501	DUAL	0,6	301
AIRBUS A321-231	17.581	DUAL	0,6	10.549
AIRBUS A330-200	688	DUAL TANDEM	1	688
ANTONOV AN-26-100	5.108	DUAL	0,6	3.065
ANTONOV AN-32B	562	DUAL	0,6	337
BOEING B727-200	59	DUAL	0,6	36
BOEING B737-200	20.182	DUAL	0,6	12.109
BOEING B737-71Q	3.203	DUAL	0,6	1.922
BOEING B747-200	1.977	WIDE BODY	1	1.977
BOEING B747-400	1.210	WIDE BODY	1	1.210
BOEING B757-200	3.787	DUAL TANDEM	1	3.787
BOEING B767-200ER	496	DUAL TANDEM	1	496
BOEING B767-300F	470	DUAL TANDEM	1	470
BOEING B767-400	20.481	DUAL TANDEM	1	20.481
LOCKHEED HERCULES L-1011-200	167	DUAL TANDEM	1	167
MCDONNELL DOUGLAS DC-10	18	DUAL TANDEM	1	18
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	453	WIDE BODY	1	453
MCDONNELL DOUGLAS MD11	797	WIDE BODY	1	797
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	334	WIDE BODY	1	334

Fuente: Propia

Posteriormente, se debe calcular para cada uno de los aviones, la carga sobre cada rueda del tren principal, que aproximadamente soporta el 95% del peso de despegue o peso bruto.

Cabe mencionar que para un tren Dual el número de llantas es 4 y para un tren dual tandem es 8. Asimismo, hemos calculado la carga por rueda del avión de

diseño B 767–400, que tiene 450,008 Lb (204,120 Kg) de peso bruto y tren dual tándem, obteniéndose un valor de carga por rueda de $W_1 = 53,438$ Lb (24,239 Kg).

Finalmente, se hace la conversión a salidas anuales equivalentes de la aeronave de cálculo, usando la siguiente fórmula obtenida de la FAA AC 150/5320-6D (Ref. 3).

$$\log R_1 = \log R_2 \times \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{1/2}$$

Donde:

R1: Salidas anuales equivalentes del avión de diseño.

R2: Salidas con el tren de la aeronave de cálculo.

W2: Carga por rueda de los aviones

W1: Carga por rueda del avión de cálculo.

En la tabla 8.6 se muestra las salidas anuales equivalentes de todas las aeronaves en función al avión de diseño, también se observa que el total de salidas anuales equivalentes es 38,423.

Tabla 8.6: Determinación de las salidas anuales equivalentes del avión de diseño

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DE DESPEGUE		SALIDAS CON EL TREN DE LA AERONAVE DE CALCULO (R2)	CARGA POR LLANTA (W2)		SALIDAS ANUALES EQUIV. DEL AVION DE DISEÑO (R1)
	Kg	Lb		Kg	Lb	
AIRBUS A319-132	75.500	166.449	22.154	17.931	39.532	5.464
AIRBUS A320-233	77.000	169.756	301	18.288	40.317	142
AIRBUS A321-231	93.500	206.132	10.549	22.206	48.956	7.092
AIRBUS A330-200	230.000	507.063	688	27.313	60.214	1.028
ANTONOV AN-26-100	25.000	55.116	3.065	5.938	13.090	53
ANTONOV AN-32B	27.000	59.525	337	6.413	14.137	20
BOEING B727-200	95.028	209.501	36	22.569	49.756	31
BOEING B737-200	49.190	108.445	12.109	11.683	25.756	683
BOEING B737-71Q	77.500	170.858	1.922	18.406	40.579	727
BOEING B747-200	(*) 378.000	833.347	1.977	16.162	35.631	491
BOEING B747-400	(*) 397.000	875.235	1.210	16.162	35.631	329
BOEING B757-200	115.680	255.031	3.787	13.737	30.285	494
BOEING B767-200ER	179.170	395.002	496	21.276	46.907	336
BOEING B767-300F	186.880	412.000	470	22.192	48.925	360
BOEING B767-400	204.120	450.008	20.481	24.239	53.438	20.481
LOCKHEED HERCULES L-1011-200	209.000	460.766	167	24.819	54.716	177
MCDONNELL DOUGLAS DC-10	195.000	429.901	18	23.156	51.051	16
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	(*) 263.320	580.521	453	16.162	35.631	147
MCDONNELL DOUGLAS MD11	(*) 273.300	602.523	797	16.162	35.631	234
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	(*) 286.000	630.522	334	16.162	35.631	115
						38.423

Fuente: Propia

(*) Para el cálculo de las salidas anuales equivalentes, Las aeronaves de fuselaje ancho son consideradas según el AC 150/5320-6D como aeronaves con tren dual tándem (8 ruedas) y con un peso bruto de 300,000 lb (136,100 Kg), resultando así una carga de 35,625 lb (16,162 Kg) para cada llanta del tren principal.

8.4. CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA UNA ZONA CRITICA

Las zonas críticas en los aeropuertos están conformadas por la pista de aterrizaje, la plataforma, los apartaderos de espera y las calles de rodaje (con salida de 90°).

En estas zonas, los espesores de las capas base y subbase se calcularán empleando la tabla correspondiente a la aeronave de cálculo, y el espesor de la capa asfáltica se determinará empleando la tabla que corresponda a la aeronave de mayor peso bruto.

8.4.1. CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO ESTRUCTURAL CRITICO

Los datos de entrada que se requieren para el cálculo de espesores del pavimento estructural son los siguientes:

- Avión de cálculo: B 767–400 (Dual Tandem)
- Avión de mayor peso bruto: B 747–400 (Wide Body)
- Peso bruto del avión de cálculo: 450,008 lb (204,120 Kg)
- Número total de salidas anuales equivalentes: 38,423
- CBR de la subrasante: 19%
- CBR de la subbase o cimiento: 38%
- CBR de la base o firme: 120%

Según la FAA si el peso de la aeronave de cálculo es mayor a 100,000 lb (45,350 Kg), será necesario estabilizar la capa base y subbase. Sin embargo, la estabilización de las capas se puede obviar si los materiales son de buena calidad y si están dentro del límite del CBR permitido (CBR=100% mín. para la base y CBR=35% mín. para la subbase).

De los resultados del estudio de cantera, sabemos que los materiales son de buena calidad y el valor de CBR de la capa base es 120% y de la capa

subbase es 38%. Con estos resultados podemos hacer obviar la estabilización de capas.

A continuación se detallará el cálculo de espesores de todas las capas que conforman el pavimento flexible:

Espesor total del pavimento:

Como primer paso, en la figura 8.1 se registra el valor de CBR de la subrasante (19%) en la abscisa superior, luego se traza una proyección vertical hacia abajo hasta intersectar con la curva cuyo valor es el del peso bruto de la aeronave de cálculo (450,008 lb); de esta intersección se traza una proyección horizontal hasta intersectar con la curva de las salidas anuales equivalentes (38,423), como el valor de la salida anual equivalente supera a 25,000, se debe determinar el espesor del pavimento asumiendo el número de salida máximo mostrado en el ábaco (25,000), desde este punto se hace una proyección vertical hasta la abscisa inferior y se obtiene un espesor total de 24.5" (61.3 cm).

Como se calculó el espesor del pavimento con un total de salidas anuales equivalentes de 25,000, es necesario realizar la corrección del espesor utilizando la tabla 8.2 que para este caso corresponde un valor igual a 103.07%.

Figura 8.1: Curvas de diseño de un pavimento flexible con tren dual tandem

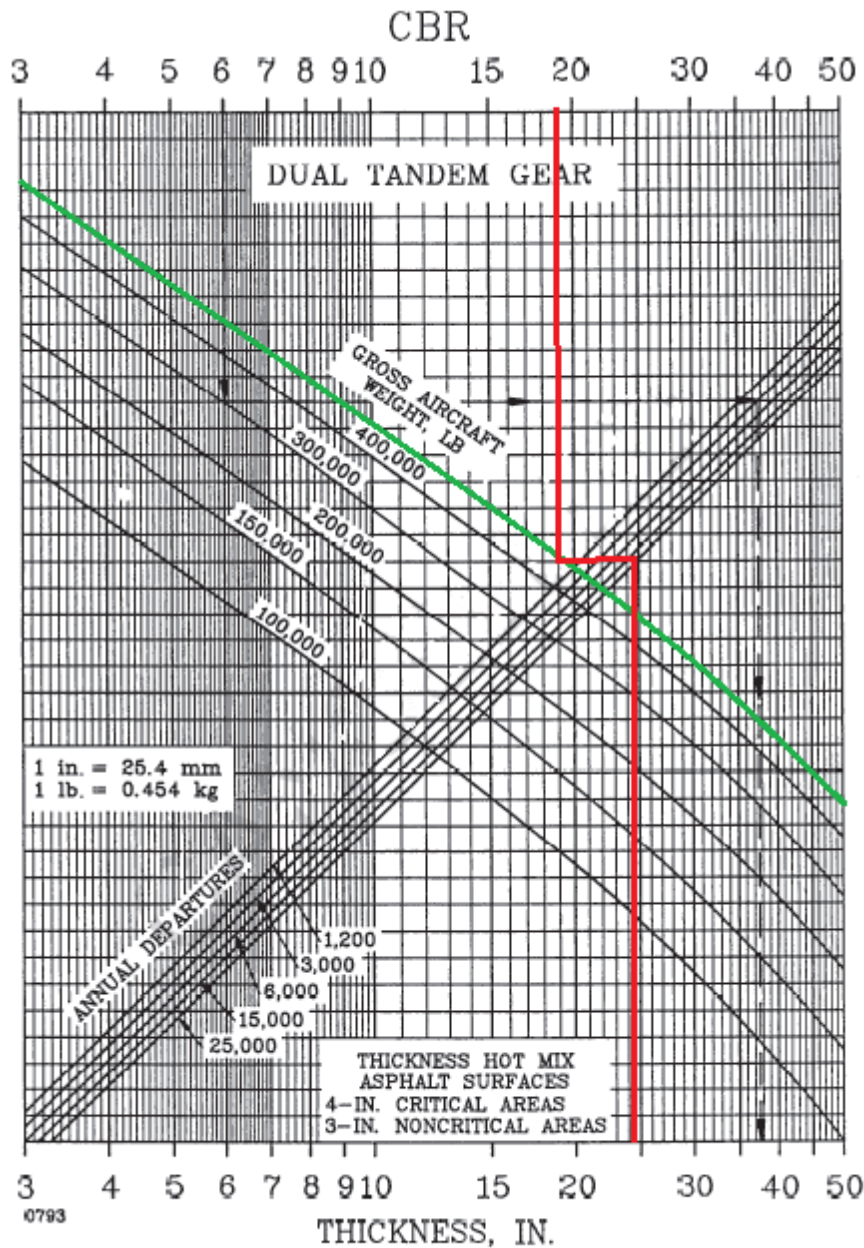


FIGURE 3-4 FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN CURVES, DUAL TANDEM GEAR

Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

El espesor total del pavimento corregido es $24.5'' \times 103.07\% = 25.3''$ (63.3 m), registrándose un aumento de $0.8''$ (2 cm).

Según la FAA, este incremento se debe considerar de la siguiente manera: $1''$ (2.5 cm) para la capa asfáltica y el valor restante debe incrementarse proporcionalmente a las capas base y subbase. Sin

embargo como el aumento es de 0.8", este valor solo se le agregará a la capa asfáltica.

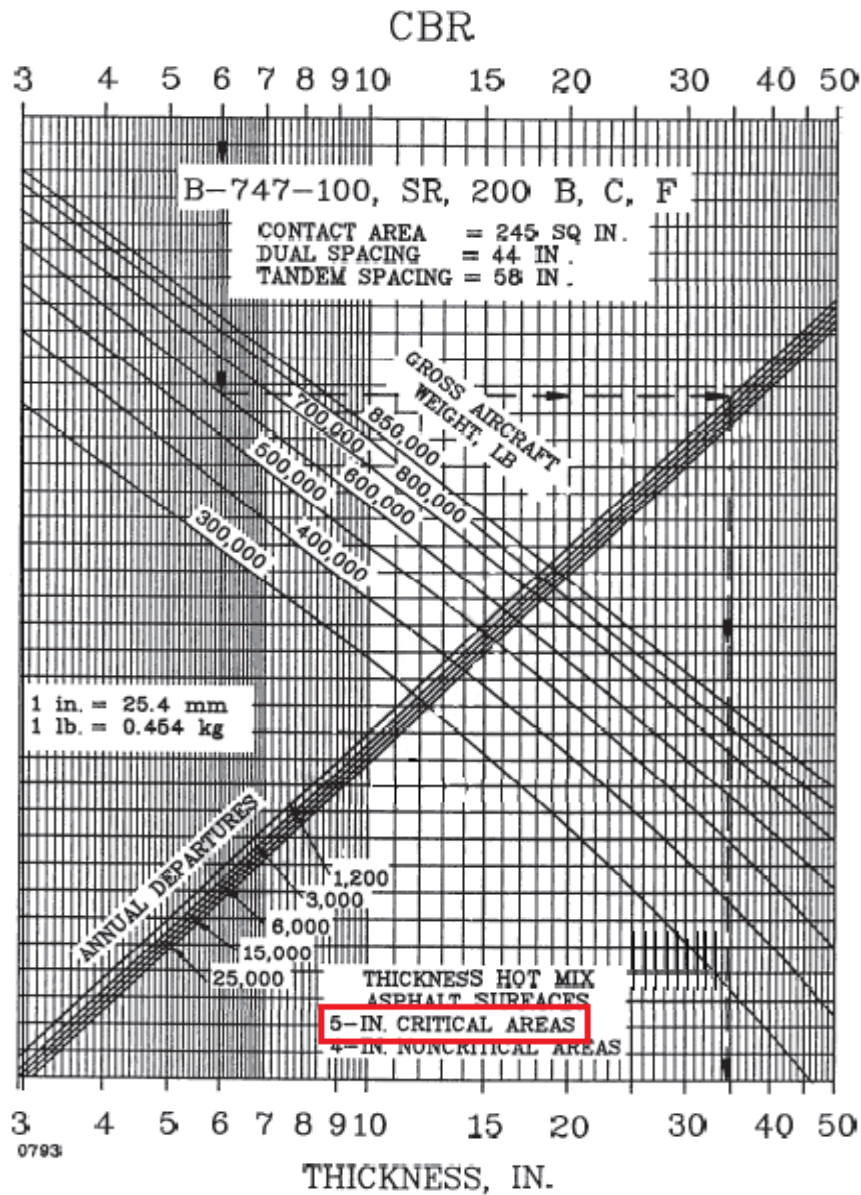
Espesor de la superficie asfáltica:

El espesor de la superficie asfáltica se determina directamente de la nota descrita en el ábaco de la aeronave de mayor peso de despegue, en nuestro caso el B 747-400.

Como se puede apreciar, en la figura 8.2 (ábaco perteneciente al B 747 – 400), el espesor de la capa asfáltica para zonas críticas debe ser de 5" (12.5 cm). A este valor se le añade 0.8" producto del espesor corregido, obteniendo como resultado un espesor de la superficie asfáltica total de 5.8" (14.5 cm).



Figura 8.2: Curvas de diseño de un pavimento flexible para B747-100, SR, 200B, C, F (Áreas críticas)



Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

Espeor de la capa subbase:

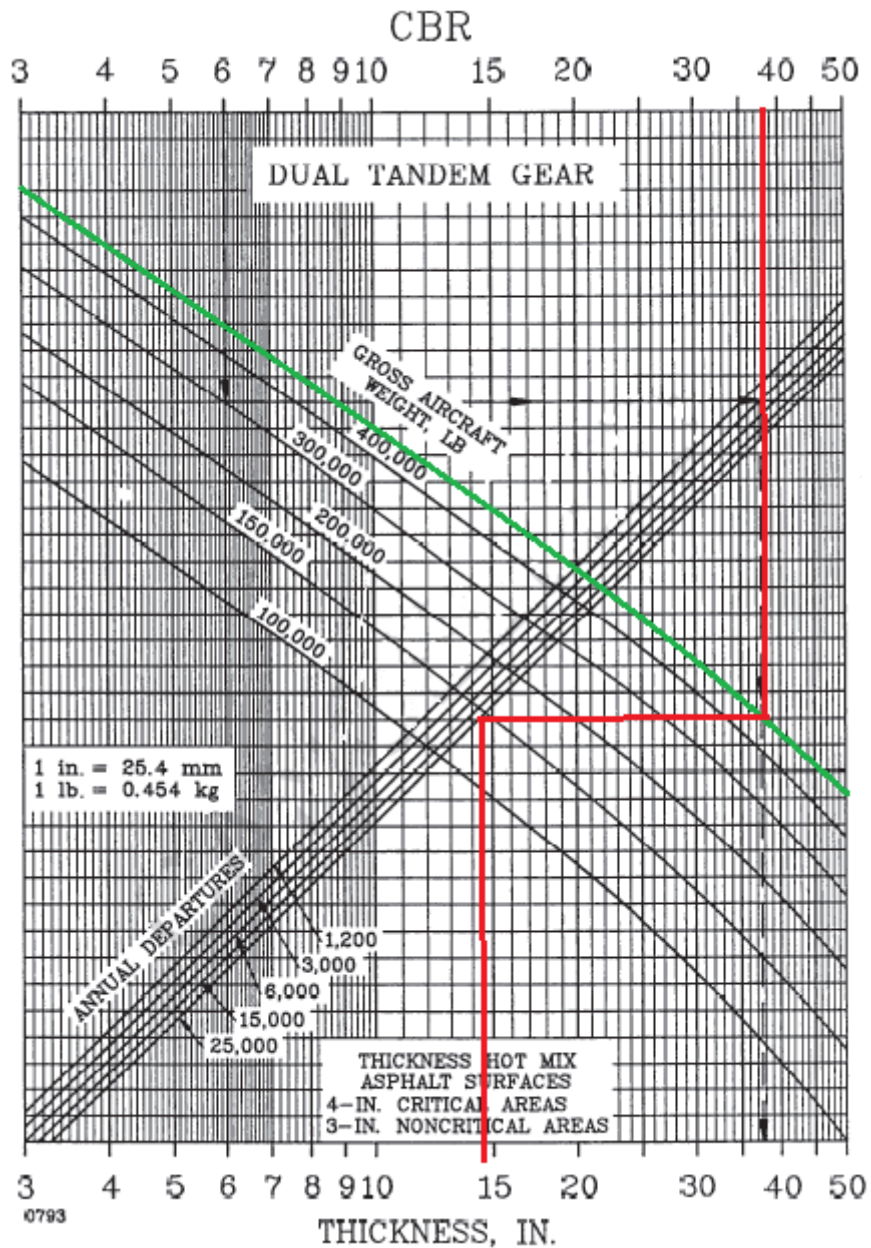
El procedimiento de cálculo del espesor de la capa subbase es similar al mostrado para el cálculo del espesor total del pavimento e incluso se utiliza el mismo nomograma que corresponde a la aeronave de cálculo, con la diferencia de que el valor del CBR con el cual se ingresa al ábaco debe ser el de la subbase.

Del estudio de cantera se sabe que el CBR de la subbase es 38%, con este dato obtenemos un espesor de 14.5" (36.3 cm), ver gráfico 8.4. No obstante, se debe corregir este valor multiplicándosele por 103.07%, debido a que el número de salidas anuales supera a 25,000. Así el valor corregido es 15" (37.5 cm) que corresponde a la suma de espesores de la capa base y de la capa de rodadura.

Por lo tanto, al extraer el valor corregido (15") al espesor total del pavimento (25.3") se obtiene el espesor de la capa subbase cuyo valor es 10.3" (25.8 cm).



Figura 8.3: Curvas de diseño de un pavimento flexible para tren dual tandem



Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

Espesor de la capa base:

De los cálculos efectuados anteriormente conocemos el valor corregido (15") que corresponde a la suma de espesores de la capa base y de la capa de asfáltica, además se conoce el espesor de la superficie asfáltica

(5.8”), por lo tanto, por diferencia de estos valores se obtendrá el espesor de la capa base, cuyo valor resulta 9.2” (23 cm).

El espesor para la capa base obtenida mediante cálculos se debe comparar con los valores mínimos exigidos por la FAA (tabla 8.7). En nuestro caso, para la aeronave de diseño B 767-400 de peso igual a 450,008 lb (204,120 Kg) y tren dual tándem, el espesor mínimo de la capa base debe ser de 8” (20 cm), el cual es menor al valor obtenido mediante cálculos, por lo tanto, el espesor de la capa base para la zona crítica será de 9.2” (23 cm), ya que según la FAA se debe considerar el mayor valor.

Tabla 8.7: Espesor mínimo de la capa base

Design Aircraft	Design Load Range		Minimum Base Course Thickness	
	lbs.	Kg	in.	mm
Single Wheel	30,000 - 50,000	13,600 - 22,700	4	100
	50,000 - 75,000	22,700 - 34,000	6	150
Dual Wheel	50,000 - 100,000	22,700 - 45,000	6	150
	100,000 - 200,000	45,000 - 90,700	8	200
Dual Tandem	100,000 - 250,000	45,000 - 113,400	6	150
	250,000 - 400,000	113,400 - 181,000	8	200
757 767	200,000 - 400,000	90,700 - 181,000	6	150
DC - 10 L 1011	400,000 - 600,000	181,000 - 272,000	8	200
B - 747	400,000 - 600,000	181,000 - 272,000	6	150
	600,000 - 850,000	272,000 - 385,700	8	200
C - 130	75,000 - 125,000	34,000 - 56,700	4	100
	125,000 - 175,000	56,700 - 79,400	6	150

Note: The calculated base course thicknesses should be compared with the minimum base course thicknesses listed above. The greater thickness, calculated or minimum, should be specified in the design section.

Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

A continuación, se muestra el resumen de los espesores de las capas del pavimento estructural flexible para zonas críticas.

Tabla 8.8: Espesor total del pavimento estructural crítico.

CAPA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	ESPESOR	
	Plg	cm
Capa de rodadura	5.8	14.5
Capa Base o Firme	9.2	23
Capa Subbase o Cimentación	10.3	25.8
Espesor Total del Pavimento	25.3	63.3

Fuente: Propia

8.4.2. CALCULO DEL ESPESOR DEL MARGEN CRITICO

El margen se encuentra adyacente a la pista estructural y según la FAA, el espesor de su capa base se va adelgazando a medida que se aleja de la pista, hasta alcanzar un valor mínimo de 0.7 veces el espesor de la capa base del pavimento estructural. En nuestro caso, el espesor de la capa base del pavimento estructural es de 9.2" (23 cm), por lo tanto, el borde adelgazado del margen es $0.7 \times 9.2" = 6.5"$ (16.3cm).

De la misma manera, el espesor de la capa asfáltica se va adelgazando hasta alcanzar un espesor mínimo de 2" (5 cm). En este caso el espesor de la capa de rodadura del pavimento estructural es 5.8" (14.5 cm), por lo que el borde adelgazado es el valor mínimo igual a 2" (5 cm).

El espesor de la capa subbase del pavimento estructural es de 10.3" (25.8 cm) y considerando que el espesor total del pavimento debe mantenerse constante, el espesor de la subbase del margen en el extremo alejado de la pista tendría un valor de 16.8" (42 cm).

Tabla 8.9: Espesor total del margen crítico

CAPA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	ESPESOR INICIAL		BORDE ADELGAZADO	
	Pulg	Cm	Pulg	Cm
Capa de rodadura	5.8	14.5	2	5
Capa Base o Firme	9.2	23	6.5	16.3
Capa Subbase o Cimentación	10.3	25.8	16.8	42
Espesor Total del Pavimento	25.3	63.3	25.3	63.3

Fuente: Propia

8.4.3. CALCULO DEL ESPESOR DE LA FRANJA NIVELADA CRITICA

La franja se encuentra adyacente al margen, es por eso que los espesores de las capas toman los mismos valores que el margen en su borde adelgazado y se mantienen constantes en toda la franja nivelada.

Tabla 8.10: Espesor total de la franja nivelada crítica

CAPA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	ESPESOR	
	Pulg	Cm
Capa de rodadura	2	5
Capa Base o Firme	6,5	16,3
Capa Subbase o Cimentación	16,8	42
Espesor Total del Pavimento	25,3	63,3

Fuente: propia

8.5. CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLENO CRITICO

Las zonas no críticas en los aeropuertos están conformadas por las calles de salida rápida.

Según la FAA los espesores de las capas base y subbase son iguales al 90% de los espesores de las mismas capas del pavimento estructural crítico. Además, el espesor de la capa asfáltica, al igual que para zonas críticas, se

obtendrá de la nota del ábaco que corresponda a la aeronave de mayor peso de despegue.

8.5.1. CALCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO ESTRUCTURAL NO CRITICO

A continuación, aplicaremos la reducción al 90% únicamente a la capa base ($9.2 \times 0.9 = 8.3$ "), la cual se compensará con el aumento del espesor de la capa subbase. Esto es para mantener constante el espesor total del pavimento.

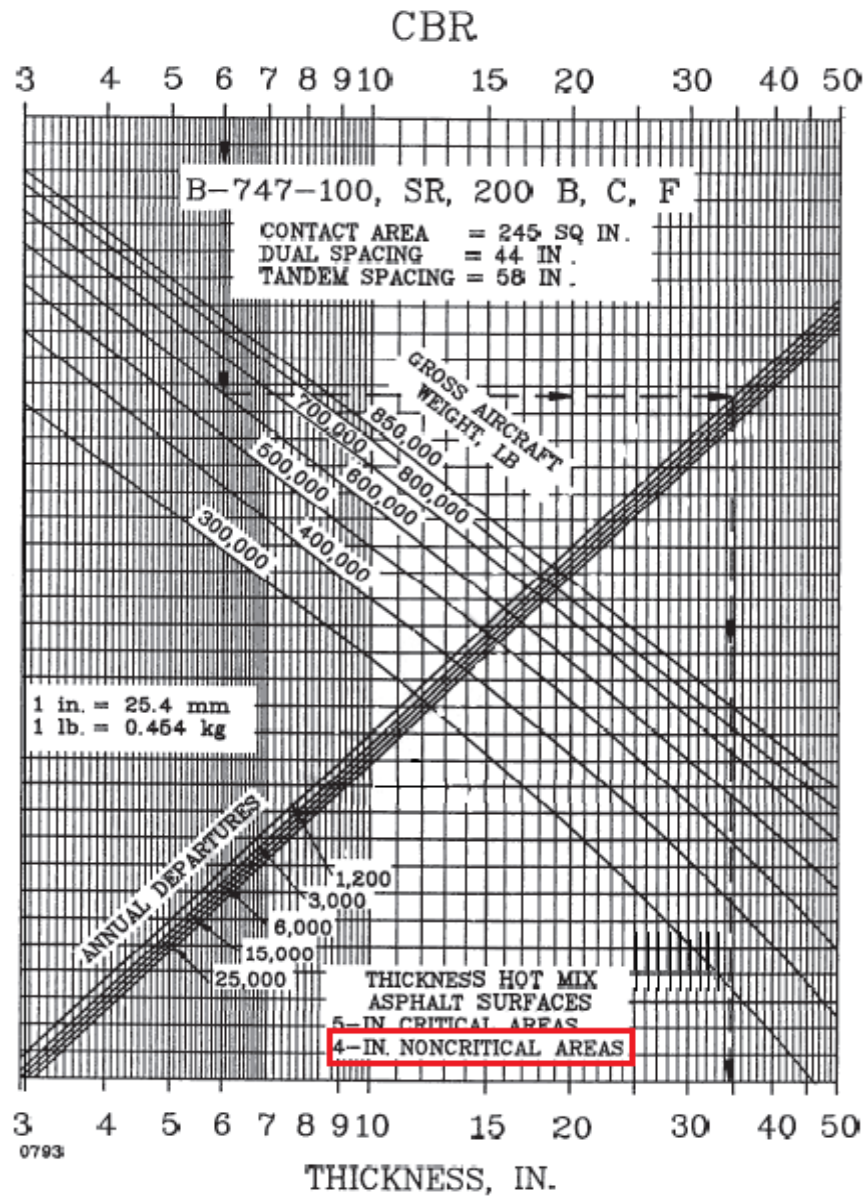
De la figura 8.4, que corresponde al avión más pesado (B 747-400), obtenemos un espesor de 4" (10 cm) para la capa asfáltica no crítica; a este espesor se le añade 0.8" (2 cm) debido a que se supera las 25,000 salidas anuales equivalentes. Es así que el espesor de la capa asfáltica es 4.8" (12 cm).

Tabla 8.11: Espesor total del pavimento estructural no crítico

CAPA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	ESPESOR	
	Plg	cm
Capa de rodadura	4,8	12
Capa Base o Firme	8,3	20,8
Capa Subbase o Cimentación	12,2	30,5
Espesor Total del Pavimento	25,3	63,3

Fuente: Propia

Figura 8.4: Curvas de diseño de un pavimento flexible para B747-100, SR, 200B, C, F
(áreas no críticas)



Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

8.5.2. CALCULO DEL ESPESOR DEL MARGEN NO CRITICO

El espesor de las capas del margen se determina de la misma forma que para las capas del margen crítico. De esta manera se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 8.12: Espesor total del margen

CAPA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	ESPESOR INICIAL		BORDE ADELGAZADO	
	Pulg	Cm	Pulg	Cm
Capa de rodadura	4,8	12	2	5
Capa Base o Firme	8,3	20,8	5,8	14,5
Capa Subbase o Cimentación	12,2	30,5	17,5	43,8
Espesor Total del Pavimento	25,3	63,3	25,3	63,3

Fuente: Propia

8.5.3. CALCULO DEL ESPESOR DE LA FRANJA NIVELADA NO CRITICA

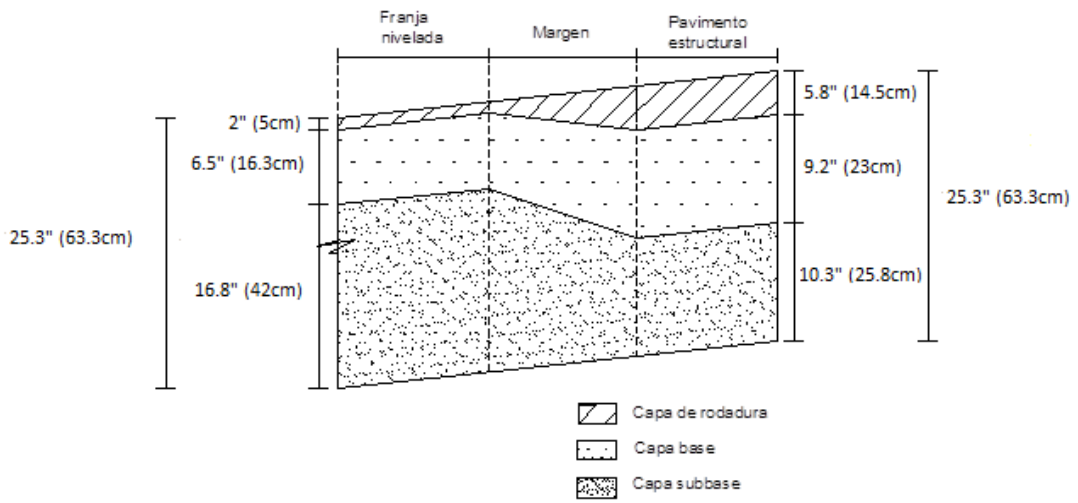
Los espesores de las capas de la franja, al igual que para zonas críticas, adoptan los espesores adelgazados del margen y se mantienen constantes en toda su extensión.

Tabla 8.13: Espesor total de la franja nivelada no crítica

CAPA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE	ESPESOR	
	Pulg	Cm
Capa de rodadura	2	5
Capa Base o Firme	5.8	14.5
Capa Subbase o Cimentación	17.5	43.8
Espesor Total del Pavimento	25.3	63.3

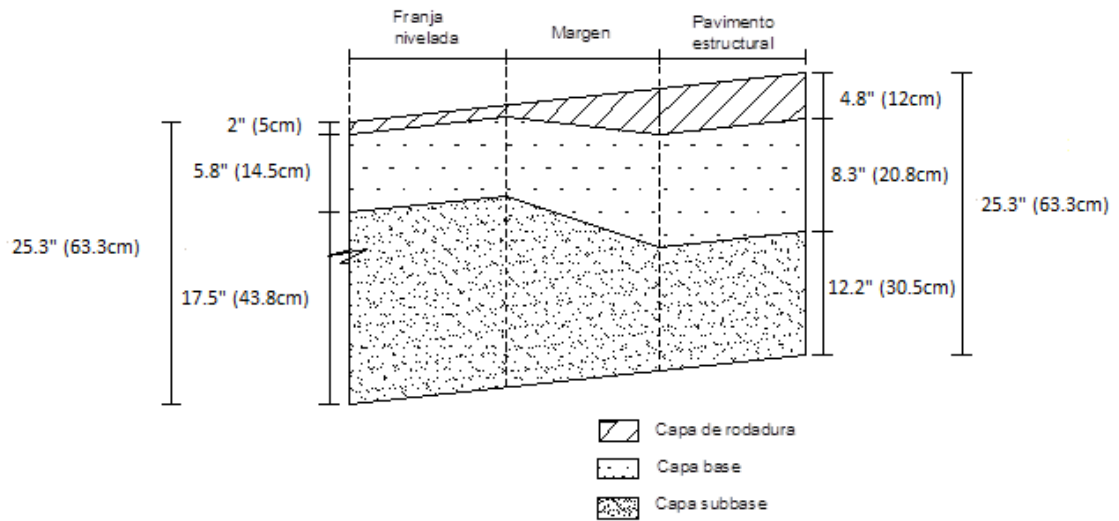
Fuente: Propia

Figura 8.5: Secciones transversales del pavimento flexible crítico



Fuente: Propia

Figura 8.6: Secciones transversales del pavimento flexible no crítico



Fuente: Propia

9. DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO SEGÚN EL MÉTODO DE LA FAA

Para obtener el diseño definitivo del pavimento rígido, se debe asumir distintos espesores para la capa subbase y analizar las propuestas económicas de cada diseño con el fin de obtener la alternativa más conveniente.

Es por ello que el análisis consiste en asignar espesores de 10", 12" y 14" para la capa subbase, considerando que estos valores son los rangos entre los que generalmente varían las capas subbase de los aeropuertos con características similares al descrito en la presente tesis.

Cuando las cargas de la aeronave se aplican sobre el borde de una junta, el ángulo que forma con el tren de aterrizaje ejerce influencia sobre la magnitud de la tensión en la losa. Para el caso de trenes de aterrizaje simple y dual, la tensión máxima se produce cuando el tren se coloca paralelo o perpendicular a la junta; y para los casos de tren dual tandem y de fuselaje ancho, la tensión máxima se produce cuando se forma un ángulo agudo con relación al borde de la junta.

Cabe mencionar que para determinar la aeronave de cálculo se deben hallar los espesores de las losas cuando se produzcan sus esfuerzos máximos y el que obtenga un mayor espesor de losa será la aeronave de cálculo.

9.1. RESUMENES DE LOS DATOS RECOLECTADOS

Algunos de estos datos son los mismos que se presentaron en el capítulo 8.

- Los datos referentes al tráfico que debe soportar el pavimento, los cuales se muestran en la tabla 8.1.
- Los datos referentes a los aviones (tren de aterrizaje y peso bruto), también mostrados en la tabla 8.1.
- Los datos referentes a la calidad del terreno (CBR), para:
 - ✓ Capa Subbase: 38%
 - ✓ Capa Subrasante: 19%

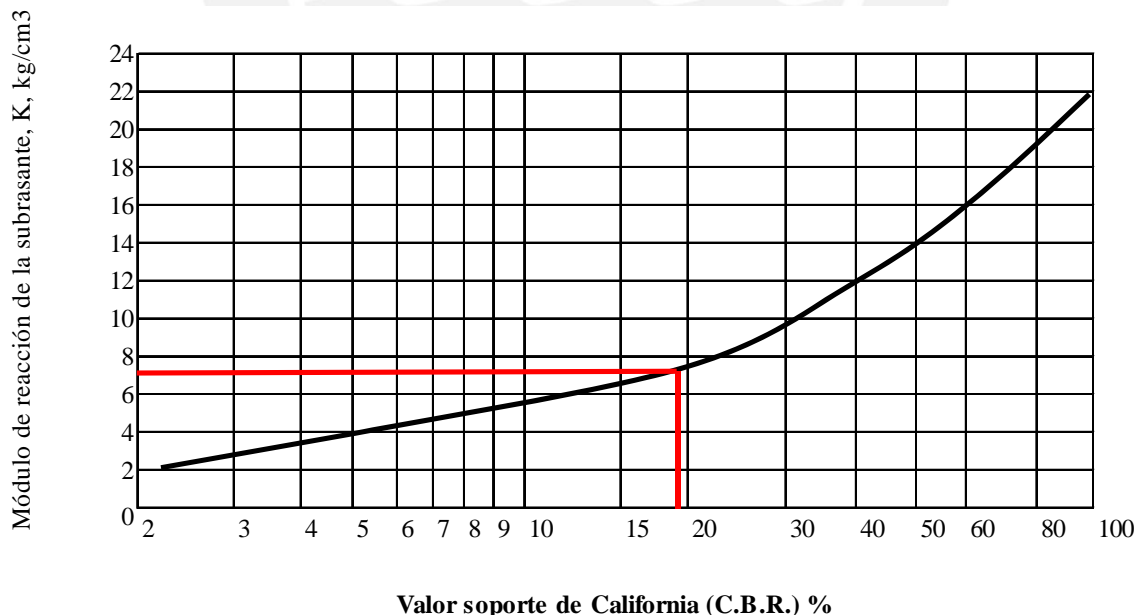
- La resistencia a la flexión del concreto, para la cual se empleará un valor de 55 Kg/cm^2 (782 psi) a los 90 días de edad, ya que con este esfuerzo se diseñó el aeropuerto Internacional Jorge Chávez.²⁰

9.2. DETERMINACION DE LA AERONAVE DE CALCULO PARA DISTINTOS ESPESORES DE CAPA SUBBASE

La aeronave de cálculo se determinará utilizando los ábacos de la FAA, y para ello será necesario conocer cuatro parámetros de entrada: resistencia del concreto a la flexión, módulo de reacción de la subbase, el peso bruto y las salidas anuales de las aeronaves. El módulo de reacción de la subbase se determinará para cada espesor de subbase determinado (10", 12" y 14"), hasta obtener la alternativa más económica.

Empleando la figura 9.1 se determina el módulo de reacción de la subrasante (K), el cual está en función a su valor de CBR (19%). En este caso obtenemos que el módulo de reacción de la subrasante es 7 Kg/cm^3 (263 PCI).

Figura 9.1: Relación entre CBR – K (módulo de reacción de la subrasante)



Fuente: OLCSE FRANZERO, Manuel. *Pavimentos – Apuntes del Curo*, PUCP. Lima: 2009.

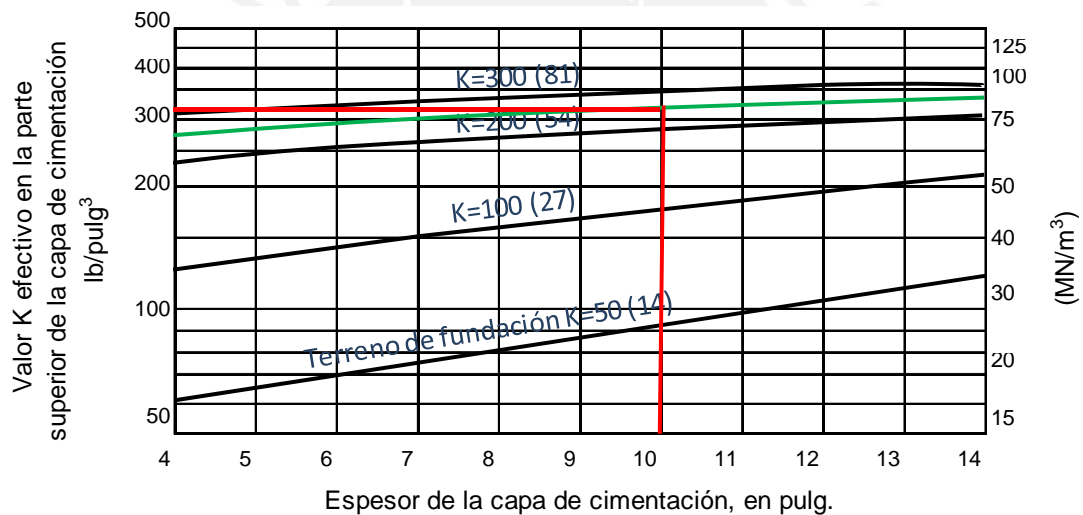
²⁰ http://www.powershow.com/view/27a45d-Y2NIY/Nuevas_Tecnologas_en_la_Construccin_de_Pavimentos_de_Concreto_flash_ppt_presentation_diapositiva_103.

9.2.1. ESPESOR DE LA SUBBASE ES IGUAL A 10”.

Una vez que tenemos el módulo de reacción de la subrasante (K), procedemos a calcular el módulo de reacción de la subbase (k), el cual se obtiene empleando la figura 9.2 que está en función del espesor de la capa subbase 10” (25 cm) y del módulo de reacción de la subrasante 7 Kg/cm³ (263 PCI).

Cabe mencionar que del estudio de canteras, se conoce que el material de la subbase es arena. Para este caso tenemos que el módulo de reacción de la subbase es 320 lb/pulg³ (320 pci).

Figura 9.2: Efecto de la capa de cimentación sobre el módulo de reacción del terreno de fundación



ARENA NATURAL Y GRAVA (PI<6)

Fuente: OACI. *Manual de Diseño de aeródromos - Parte III, Pavimentos*. Canadá: 1983.

Con los valores obtenidos, procedemos a determinar la aeronave de cálculo.

Tabla 9.1: Determinación de la aeronave de cálculo

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DE DESPEGUE		SALIDAS (2030)	TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL	ESPESOR (pulg)	PORCENTAJE DE CORRECCION (%)	ESPESOR CORREGIDO (pulg)
	Kg	Lb					
AIRBUS A319-132	75.500	166.449	36.924	DUAL	13,8	103,07	14,2
AIRBUS A320-233	77.000	169.756	501	DUAL	11,5	-	11,5
AIRBUS A321-231	93.500	206.132	17.581	DUAL	15,2	-	15,2
AIRBUS A330-200	230.000	507.063	688	DUAL TANDEM	15,0	-	15,0
ANTONOV AN-26-100	25.000	55.116	5.108	DUAL	6,0	-	6,0
ANTONOV AN-32B	27.000	59.525	562	DUAL	6,3	-	6,3
BOEING B727-200	95.028	209.501	59	DUAL	12,9	-	12,9
BOEING B737-200	49.190	108.445	20.182	DUAL	10,9	-	10,9
BOEING B737-71Q	77.500	170.858	3.203	DUAL	12,4	-	12,4
BOEING B747-200	378.000	833.347	1.977	WIDE BODY	12,4	-	12,4
BOEING B747-400	397.000	875.235	1.210	WIDE BODY	12,3	-	12,3
BOEING B757-200	115.680	255.031	3.787	DUAL TANDEM	11,2	-	11,2
BOEING B767-200ER	179.170	395.002	496	DUAL TANDEM	13,4	-	13,4
BOEING B767-300F	186.880	412.000	470	DUAL TANDEM	13,7	-	13,7
BOEING B767-400	204.120	450.008	20.481	DUAL TANDEM	16,8	-	16,8
LOCKHEED HERCULES L-1011-200	209.000	460.766	167	DUAL TANDEM	15,0	-	15,0
MCDONNELL DOUGLAS DC-10	195.000	429.901	18	DUAL TANDEM	13,5	-	13,5
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.320	580.521	453	WIDE BODY	11,6	-	11,6
MCDONNELL DOUGLAS MD11	273.300	602.523	797	WIDE BODY	12,3	-	12,3
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286.000	630.522	334	WIDE BODY	12,7	-	12,7

Fuente: Propia

Como podemos ver en la tabla anterior, el B 767 – 400 (Tren dual tandem) corresponde a la aeronave de cálculo, ya que es la que exige el espesor

máximo de losa de concreto (16.8pulg), la cual no es la aeronave con mayor peso de despegue.

Como la aeronave de cálculo obtenida es la misma que se halló en el diseño del pavimento flexible, entonces el procedimiento para determinar las salidas anuales equivalentes de todas las aeronaves, también será el mismo.

Con ello se sabe que el número de salidas anuales de las diferentes aeronaves es equivalente a 38,423 salidas anuales de la aeronave de cálculo B 767-400.

Para calcular el espesor de la losa del pavimento rígido, se utilizará la figura 9.3, la cual corresponde a la aeronave de cálculo (tren dual tandem), cuyo ángulo agudo que se forma entre el tren de aterrizaje y el borde de la junta genera el esfuerzo máximo. Los datos de entrada son los siguientes:

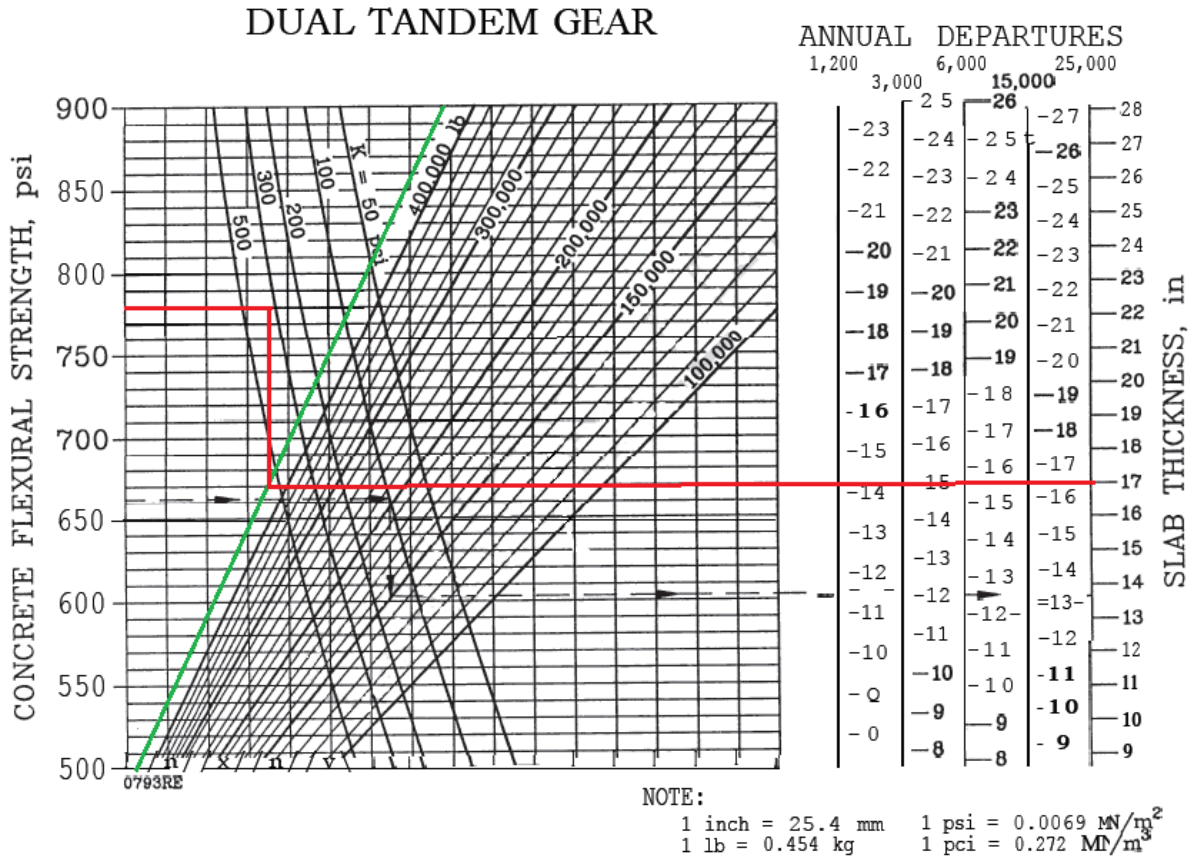
- Avión de cálculo: B 767-400 (Dual Tandem)
- Peso bruto del avión de cálculo: 450,008 lb (204,120 Kg)
- Número total de salidas anuales equivalentes: 38,423
- Resistencia del concreto a la flexión: 55 Kg/cm² (782 psi)
- Módulo de reacción de la subbase: 320 lb/pulg³ (320 pci).

A continuación se detalla el cálculo del espesor de la losa de concreto del pavimento rígido.

Como primer paso, en la abscisa del eje "Y" del lado izquierdo se registra el valor del esfuerzo a flexión del concreto (782 psi), luego se traza una proyección horizontal hacia la derecha, hasta intersectar con la curva que corresponde al módulo de reacción de la subbase (320 pci), de esta intersección se traza una proyección vertical hasta intersectar con la recta correspondiente al peso bruto de la aeronave (450,008 lb), finalmente, desde este punto se proyecta una horizontal a la derecha hasta intersectar con la recta de la salida anual equivalente (38,423), y finalmente se obtiene el espesor de la losa de concreto.

Como el total de salidas anuales equivalentes supera el límite establecido en el gráfico (25,000); se calcula el espesor de la losa considerando dicho límite, donde se obtiene un espesor de la losa igual a 17.0" (42.5 cm).

Figura 9.3: Curvas opcionales para el diseño de pavimento rígido, tren dual tandem



Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

Como el espesor de losa fue calculado para 25,000 salidas, será necesario aplicarle el porcentaje de corrección (103.07%) que se menciona en el Item 8.2, obteniéndose un espesor corregido de 17.5" (44 cm) de losa de concreto.

A continuación se muestra el resumen de los espesores de las capas del pavimento rígido:

Tabla 9.2: Espesor del pavimento rígido estructural, considerando subbase de 10"

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR	
	Pulg	cm
Capa de rodadura	17.5	44.0
Capa Subbase	10.0	25.0
Espesor Total del Pavimento	27.5	69.0

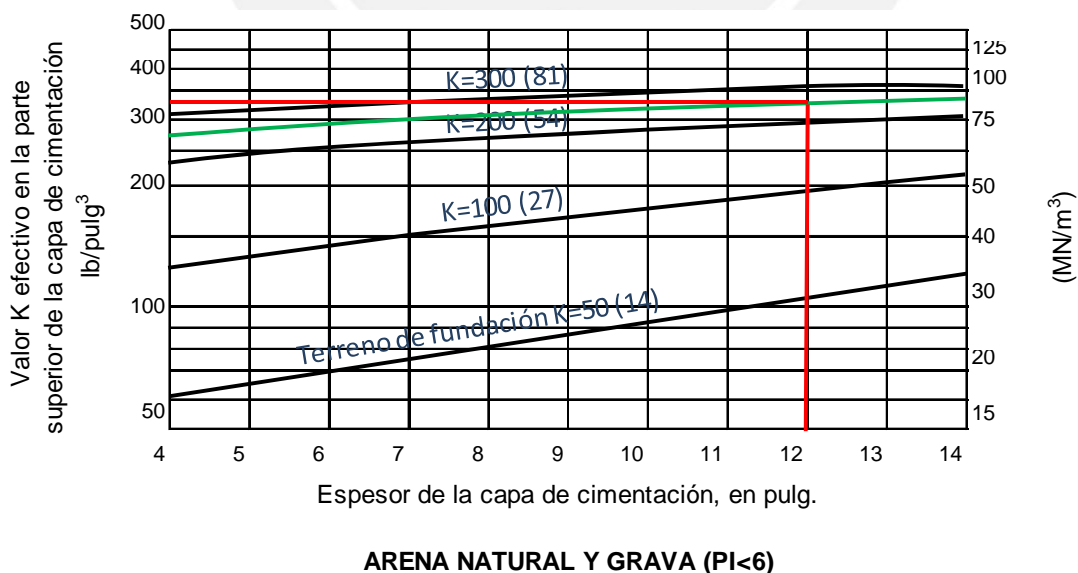
Fuente: Propia

Se repetirán los cálculos hechos hasta este punto, considerando un espesor de subbase de 12" (30 cm).

9.2.2. EL ESPESOR DE LA SUBBASE ES IGUAL A 12".

Como primer paso se calculará, el módulo de reacción de la subbase (k), en función del espesor de la capa subbase igual a 12" (30 cm) y del módulo de reacción de la subrasante 7 Kg/cm³ (263 PCI). Para este caso obtenemos que el módulo de reacción de la subbase es 325lb/pulg³ (325 pci).

Figura 9.4: Efecto de la capa de cimentación sobre el módulo de reacción del terreno de fundación.



Fuente: OACI. Manual de Diseño de aeródromos - Parte III, Pavimentos. Canadá: 1983.

Con los valores obtenidos, a continuación procedemos a determinar la aeronave de cálculo.

Tabla 9.3: Determinación de la aeronave de cálculo

MARCA Y MODELO DE AERONAVE	PESO DE DESPEGUE		SALIDAS (2030)	TREN DE ATERRIZAJE PRINCIPAL	ESPESOR (pulg)	PORCENTAJE DE CORRECCION (%)	ESPESOR CORREGIDO (pulg)
	Kg	Lb					
AIRBUS A319-132	75.500	166.449	36.924	DUAL	13,6	103,07	14,0
AIRBUS A320-233	77.000	169.756	501	DUAL	11,3	-	11,3
AIRBUS A321-231	93.500	206.132	17.581	DUAL	15,0	-	15,0
AIRBUS A330-200	230.000	507.063	688	DUAL TANDEM	14,8	-	14,8
ANTONOV AN-26-100	25.000	55.116	5.108	DUAL	5,8	-	5,8
ANTONOV AN-32B	27.000	59.525	562	DUAL	6,1	-	6,1
BOEING B727-200	95.028	209.501	59	DUAL	12,7	-	12,7
BOEING B737-200	49.190	108.445	20.182	DUAL	10,7	-	10,7
BOEING B737-71Q	77.500	170.858	3.203	DUAL	12,2	-	12,2
BOEING B747-200	378.000	833.347	1.977	WIDE BODY	12,2	-	12,2
BOEING B747-400	397.000	875.235	1.210	WIDE BODY	12,1	-	12,1
BOEING B757-200	115.680	255.031	3.787	DUAL TANDEM	11,0	-	11,0
BOEING B767-200ER	179.170	395.002	496	DUAL TANDEM	13,2	-	13,2
BOEING B767-300F	186.880	412.000	470	DUAL TANDEM	13,5	-	13,5
BOEING B767-400	204.120	450.008	20.481	DUAL TANDEM	16,6	-	16,6
LOCKHEED HERCULES L-1011-200	209.000	460.766	167	DUAL TANDEM	14,8	-	14,8
MCDONNELL DOUGLAS DC-10	195.000	429.901	18	DUAL TANDEM	13,3	-	13,3
MCDONNELL DOUGLAS DC-10-30F	263.320	580.521	453	WIDE BODY	11,4	-	11,4
MCDONNELL DOUGLAS MD11	273.300	602.523	797	WIDE BODY	12,1	-	12,1
MCDONNELL DOUGLAS MD11-F	286.000	630.522	334	WIDE BODY	12,5	-	12,5

Fuente: Propia

Como podemos ver en la tabla anterior, el B 767 – 400 (tren dual tandem) corresponde a la aeronave de cálculo, ya que es la que exige el espesor máximo de losa de concreto (16.6 pulg).

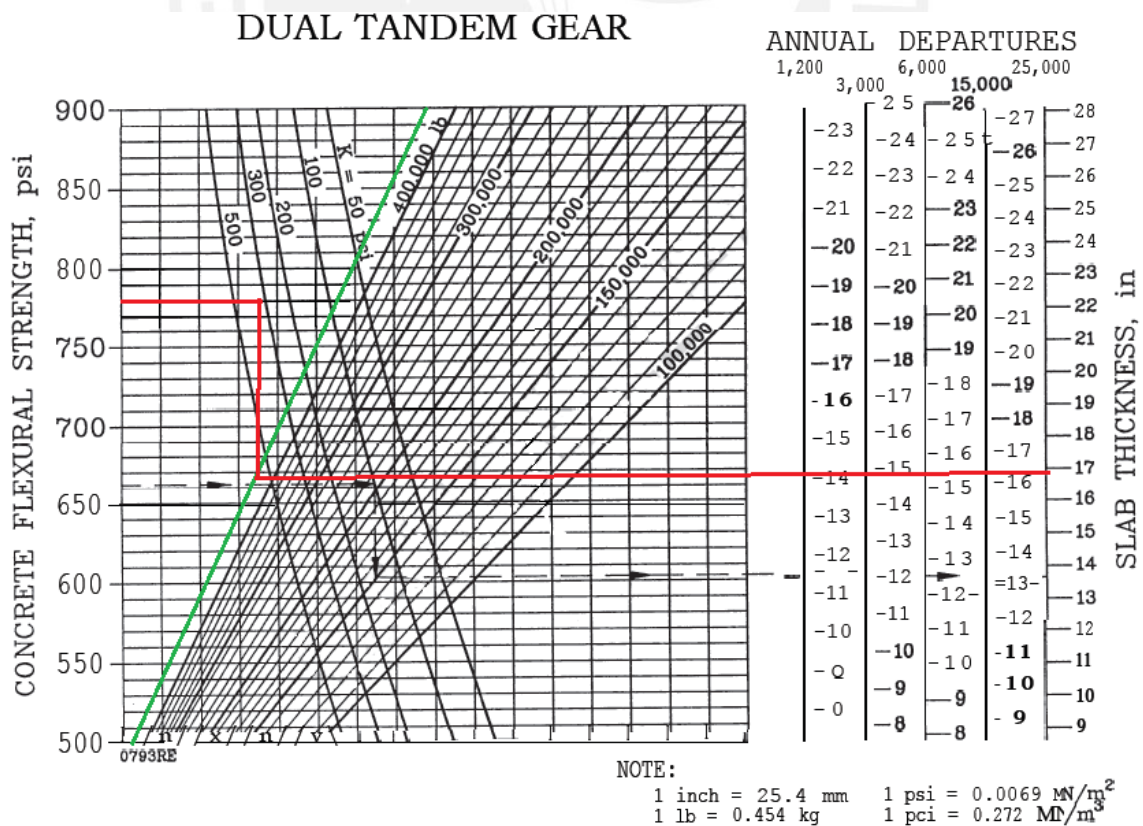
Como la aeronave de diseño obtenida es la misma que se halló para una subbase de 10 pulg de espesor, el número de salidas anuales equivalentes también será el mismo (38,423).

Los datos de entrada para calcular el espesor de la losa del pavimento rígido, son los siguientes:

- Avión de cálculo: B 767-400 (Dual Tandem)
- Peso bruto del avión de cálculo: 450,008 lb (204,120 Kg)
- Número total de salidas anuales equivalentes: 38,423
- Resistencia del concreto a la flexión: 55 Kg/cm² (782 psi)
- Módulo de reacción de la subbase: 325lb/pulg³ (325 pci).

Como resultado tenemos un espesor de la losa igual a 16.8" (42 cm) y al aplicarle el porcentaje de corrección (103.07%), se obtiene un espesor de losa de concreto igual a 17.3" (43 cm).

Figura 9.5: Curva opcional para diseño de pavimento rígido, tren dual tandem



Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

A continuación se muestra el resumen de los espesores de las capas del pavimento rígido:

Tabla 9.4: Espesores totales del pavimento rígido estructural, considerando subbase de 12"

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR	
	Pulg	cm
Capa de rodadura	17.3	43.0
Capa Subbase	12.0	30.0
Espesor Total del Pavimento	29.3	73.0

Fuente: Propia

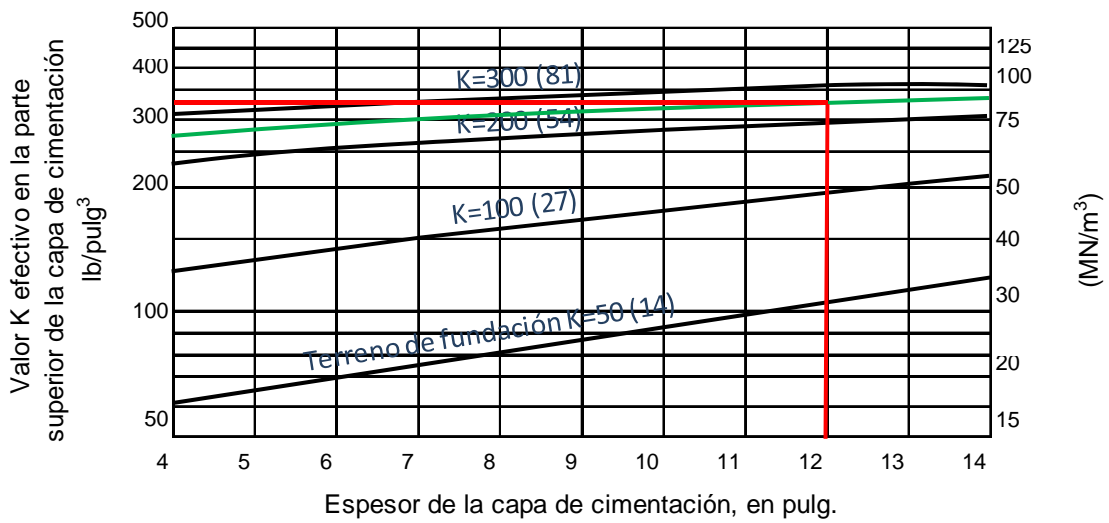
Se repetirán los cálculos hechos hasta este punto, considerando un espesor de subbase de 14" (35 cm).

9.2.3. EL ESPESOR DE LA SUBBASE ES IGUAL A 14".

Como primer paso se calculará, el módulo de reacción de la subbase (k), en función del espesor de la capa subbase igual a 14" (35 cm) y del módulo de reacción de la subrasante 7 Kg/cm^3 (263 PCI).

De la figura 9.6 obtenemos un valor de 325 lb/pulg^3 (325 pci) para el módulo de reacción de la subbase, el cual es el mismo que se halló cuando el espesor de la subbase era de 12", por lo tanto, la aeronave de diseño y el espesor de la losa de concreto también serán los mismos hallados en el caso anterior.

Figura 9.6: Efecto de la capa de cimentación sobre el módulo de reacción del terreno de fundación.



ARENA NATURAL Y GRAVA (PI<6)

Fuente: OACI. *Manual de Diseño de aeródromos - Parte III, Pavimentos*. Canadá: 1983.

A continuación se muestra el resumen de los espesores de las capas del pavimento rígido:

Tabla 9.5: Espesor total de pavimento estructural rígido, considerando subbase de 14"

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR	
	Pulg	cm
Capa de rodadura	17.3	43.0
Capa Subbase	14.0	35.0
Espesor Total del Pavimento	31.3	78.0

Fuente: Propia

9.3. COMPARACION ECONOMICA DE LOS TRES DISEÑOS

Considerando que el precio del material subbase de pavimento rígido es S/. 34.63/m³ y el precio de la losa de concreto es S/.377.60/m³ (²¹), se tiene que:

Tabla 9.6: Comparación económica entre los espesores de subbase (10", 12" y 14")

	ALTERNATIVAS		
	Subbase: 10"(25 cm) y losa: 17.5"(44 cm)	Subbase: 12"(30 cm) y losa: 17.3"(43 cm)	Subbase: 14"(35 cm) y losa: 17.3"(43 cm)
Precio de losa de concreto (Soles/ m ²)	166.1	162.4	162.4
Precio de subbase (Soles/ m ²)	8.7	10.4	12.1
Precio total pavimento (Soles/m ²)	175	173	174

Fuente: Propia

Por tanto, la solución más económica para la construcción del pavimento rígido es con un espesor de 12" (30 cm) de subbase, ya que el costo en un m² de pavimento cuesta S/. 173.00.

9.4. CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO RIGIDO PARA UNA ZONA CRITICA

Al igual que el pavimento flexible las zonas críticas están conformadas por la pista de aterrizaje, la plataforma, los apartaderos de espera y las calles de rodaje (con salida de 90°).

El espesor de la losa de concreto se calcula empleando las tablas que correspondan a la aeronave de cálculo y al ángulo que forman los trenes de aterrizaje con los bordes de las juntas.

El análisis se desarrollará usando los ábacos que correspondan a la aeronave de cálculo B 767–400 (Dual tandem) cuando el tren de aterrizaje interseca el

²¹ BECERRA, Mario. *Diseño de un Pavimento Rígido*. Lima: Diseño propio para Duravía, 2012.

borde de la junta formando un ángulo agudo (finales de pista de aterrizaje, intersecciones de pistas de aterrizaje calles de rodaje, a bajas velocidades, y en plataforma) y cuando el tren de aterrizaje cruza paralela o perpendicularmente al borde de junta (pista de aterrizaje y calle de rodaje). Cabe resaltar que se mantendrá el espesor total del pavimento rígido.

9.4.1. CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO ESTRUCTURAL CRITICO

Los datos de entrada que se requieren para el cálculo del espesor de la losa de concreto del pavimento estructural son los siguientes:

- Avión de cálculo: B 767–400 (Dual Tandem)
- Peso bruto del avión de cálculo: 450,008 lb (204,120 Kg)
- Número total de salidas anuales equivalentes: 38,423
- CBR de la subbase o cimiento: 38%
- Esfuerzo a flexión del concreto: 782 psi
- Módulo de reacción de la subbase: 325 pci (con un espesor de subbase igual a 12”).

Según la FAA, si el peso de la aeronave de cálculo es mayor a 100,00 lb (45,350 Kg), será necesario estabilizar la capa subbase. Sin embargo, al igual que el pavimento flexible, la estabilización de la capa se puede obviar ya que el material de subbase es de buena calidad y el valor del CBR es mayor al mínimo permitido (CBR=35% mínimo para la subbase).

A continuación se detalla el cálculo del espesor de la losa de concreto para los dos distintos casos, sabiendo que de los cálculos obtenidos en el punto 9.2 y 9.3, se conoce que el espesor de la capa subbase es 12” (30 cm).

Primer caso: Cuando el tren de aterrizaje interseca el borde de la junta formando un ángulo agudo.

El espesor de la losa de concreto ya fue calculado en el punto 9.3, cuando el espesor de la subbase tomaba un valor de 12 pulg.

Tabla 9.7: Espesor total del pavimento rígido, Tren de aterrizaje interseca a la junta formando un ángulo

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR	
	Pulg	cm
Capa de rodadura	17.3	43.0
Capa Subbase	12.0	30.0
Espesor Total del Pavimento	29.3	73.0

Fuente: Propia

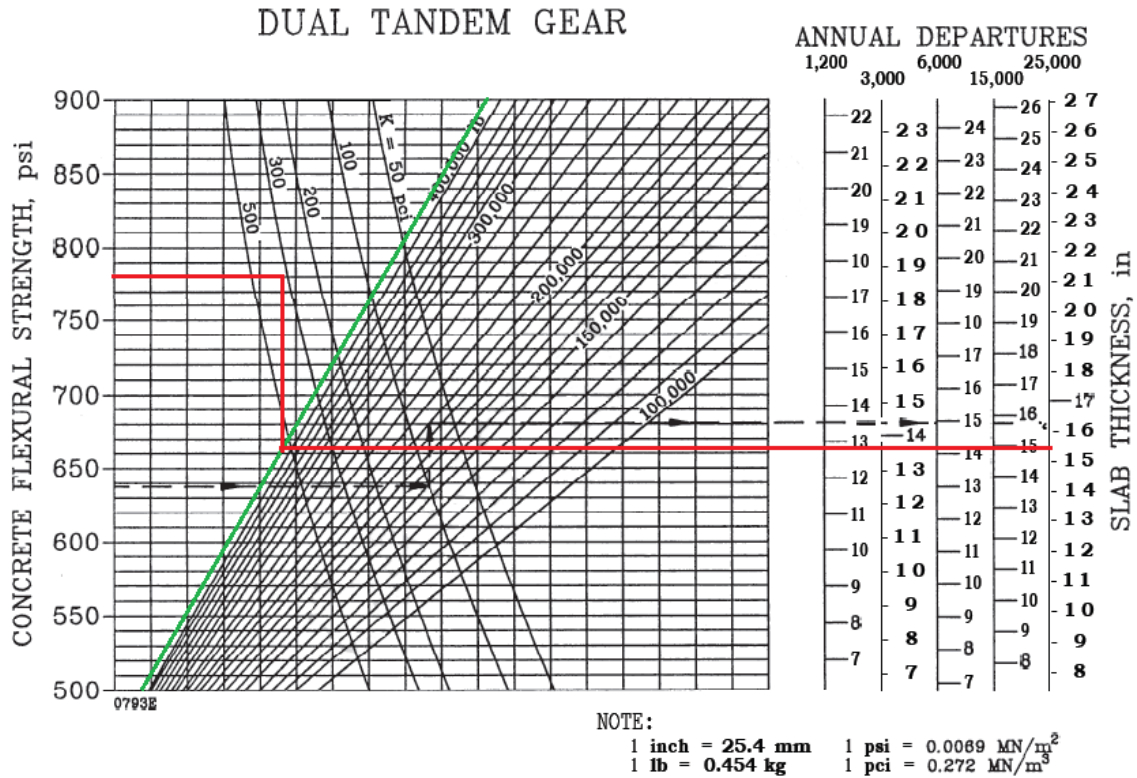
Estos espesores de las capas del pavimento rígido corresponden a los finales de pista de aterrizaje, intersecciones de calles de rodaje con pistas de aterrizaje, plataforma y aparcaderos.

Segundo caso: Cuando el tren de aterrizaje cruza paralela o perpendicularmente al borde de junta.

Ya que el total de salidas anuales equivalentes supera el límite establecido en el gráfico (25,000); entonces se calcula el espesor de la losa empleando este máximo valor, donde se obtiene un espesor de 15.5" (38.8 cm), figura 9.7.

Debido a que el espesor de losa de concreto fue calculado para 25,000 salidas, será necesario aplicarle el porcentaje de corrección (103.07%), donde obtenemos un espesor de losa de 16" (40 cm).

Figura 9.7: Curva para diseño de pavimento rígido, tren dual tandem



Fuente: FAA AC 150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Estados Unidos: 1995.

Tabla 9.8: Espesor total del pavimento rígido, tren de aterrizaje cruza la junta perpendicular o paralelamente

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR	
	Pulg	cm
Capa de rodadura	16.0	40.0
Capa Subbase	12.0	30.0
Espesor Total del Pavimento	28.0	70.0

Fuente: Propia

Con el fin de mantener constante el espesor total del pavimento, incrementaremos el espesor de la capa subbase en 13.3" (33.0 cm).

Tabla 9.9: Espesor total del pavimento rígido

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR	
	Pulg	cm
Capa de rodadura	16.0	40.0
Capa Subbase	13.3	33.0
Espesor Total del Pavimento	29.3	73.0

Fuente: Propia

Estos espesores de las capas del pavimento rígido corresponden a la pista de aterrizaje y calle de rodaje.

9.4.2. CALCULO DEL ESPESOR DEL MARGEN CRITICO

El margen se encuentra adyacente a la pista estructural y según la FAA el espesor de la losa de concreto se va adelgazando a medida que se aleja de la pista, hasta alcanzar un valor mínimo de 0.7 veces el espesor de la losa del pavimento estructural.

Así mismo, el espesor de la capa subbase debe ser ajustado para mantener el espesor total del pavimento igual a 29.3" (73 cm).

Primer caso: El espesor de la losa de concreto del pavimento estructural es de 17.3" (43 cm), entonces el borde adelgazado del margen debe ser de $0.7 \times 17.3 = 12.1$ " (30 cm).

El espesor de la capa subbase del pavimento estructural es de 12" (30 cm) y el espesor de la capa subbase del margen en el extremo alejado de la pista debe tener un valor de 17.3" (43 cm), para mantener el espesor total del pavimento.

Tabla 9.10: Calculo del espesor del margen crítico, considerando

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR INICIAL		BORDE ADELGAZADO	
	Pulg	Cm	Pulg	cm
Capa de rodadura	17.3	43	12.1	30
Capa Subbase	12.0	30	17.2	43
Espesor Total del Pavimento	29.3	73	29.3	73

Fuente: Propia

Segundo caso: El espesor de la losa de concreto es de 16" (40cm), entonces el borde adelgazado del margen sería de $0.7 \times 17.2 = 11.2$ " (28 cm).

El espesor de la capa subbase del pavimento estructural es de 13.3" (33 cm) y el espesor de la subbase del margen en el extremo alejado de la pista, debe tener un valor de 18.1" (45 cm), para mantener el espesor total del pavimento.

Tabla 9.11: Calculo del espesor del pavimento

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR INICIAL		BORDE ADELGAZADO	
	Pulg	Cm	Pulg	cm
Capa de rodadura	16.0	40	11.2	28
Capa Subbase	13.3	33	18.1	45
Espesor Total del Pavimento	29.3	73	29.3	73

Fuente: Propia

9.4.3. CALCULO DEL ESPESOR DE LA FRANJA NIVELADA CRITICA

La franja se encuentra adyacente al margen, es por eso que los espesores de las capas toman los mismos valores que el margen adelgazado y se mantienen constantes en toda la franja nivelada.

Primer caso:

Tabla 9.12: Espesor de la franja nivelada crítica

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR INICIAL	
	Pulg	cm
Capa de rodadura	12.1	30
Capa Subbase	17.2	43
Espesor Total del Pavimento	29.3	73

Fuente: Propia

Segundo caso:

Tabla 9.13: Espesor de la franja nivelada crítica

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR INICIAL	
	Pulg	cm
Capa de rodadura	11.2	28
Capa Subbase	18.1	45
Espesor Total del Pavimento	29.3	73

Fuente: Propia

9.5. CALCULO DEL ESPESOR DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO RIGIDO NO CRITICO

Al igual que el pavimento flexible, las zonas no críticas en los aeropuertos están conformadas por las calles de salida rápida. Por ello, el cálculo de espesores se determinará cuando el tren de aterrizaje cruce paralelo o perpendicularmente al borde de junta (segundo caso).

Según la FAA el espesor de la losa de concreto es igual al 90% del espesor de la misma capa del pavimento estructural crítico. Cabe resaltar que el espesor total del pavimento se mantendrá constante.

9.5.1. CALCULO DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO ESTRUCTURAL NO CRITICO

En el diseño aplicaremos la reducción del 90% a la losa de concreto estructural crítico, y aumentaremos del espesor de la capa subbase con el fin de mantener el espesor total del pavimento constante.

Segundo caso:

Tabla 9.14: Espesor del pavimento estructural no crítico

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR	
	Pulg	cm
Capa de rodadura	14.4	36
Capa Subbase	14.9	37
Espesor Total del Pavimento	29.3	73

Fuente: propia

Estos cálculos corresponden a zonas a lo largo de las calles de salida rápida.

9.5.2. CALCULO DEL ESPESOR DEL MARGEN NO CRITICO

El espesor de las capas del margen para zonas no críticas se determina de la misma forma que para zonas críticas. De esta manera se obtienen los siguientes resultados.

Segundo caso:

Tabla 9.15: Espesor del margen no crítico

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR INICIAL		BORDE ADELGAZADO	
	Pulg	Cm	Pulg	cm
Capa de rodadura	14.4	36	10.1	25
Capa Subbase	14.9	37	19.2	48
Espesor Total del Pavimento	29.3	73	29.3	73

Fuente: Propia

9.5.3. CALCULO DEL ESPESOR DE LA FRANJA NIVELADA NO CRITICA

Los espesores de las capas de la franja en zonas no críticas, al igual que para zonas críticas, adoptan los espesores de las capas del margen del borde adelgazado y se mantienen constantes en toda su extensión.

Segundo caso:

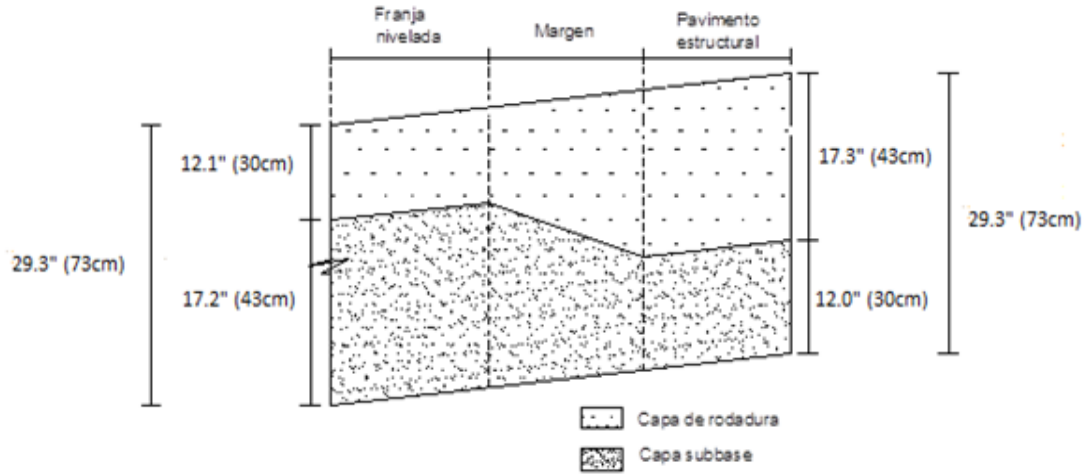
Tabla 9.16: Espesor de la franja nivelada no crítica

CAPA DEL PAVIMENTO RÍGIDO	ESPESOR	
	Pulg	cm
Capa de rodadura	10.1	25
Capa Subbase	19.2	48
Espesor Total del Pavimento	29.3	73

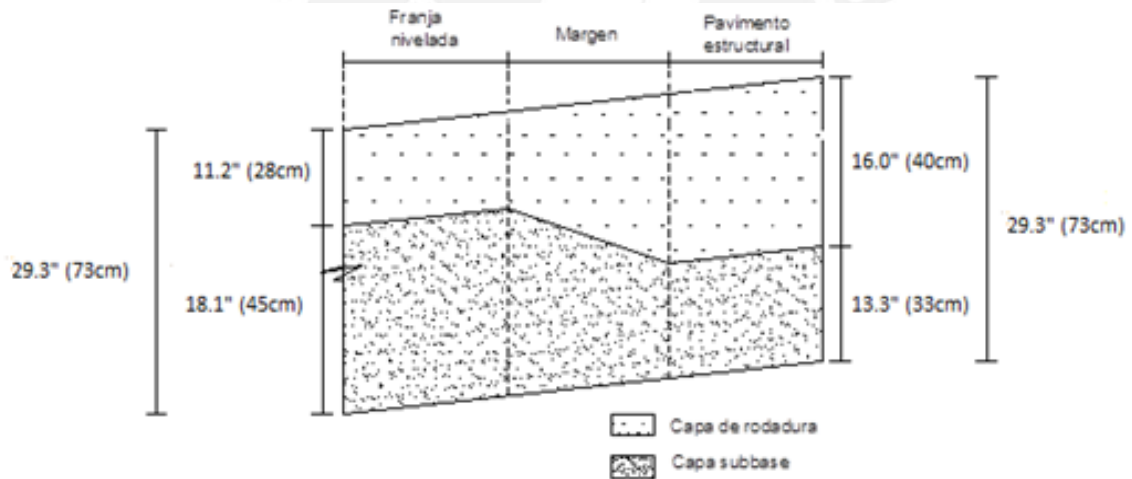
Fuente: Propia

Figura 9.8: Secciones transversales del pavimento rígido crítico

Caso 1: Crítico - Tren de aterrizaje cruza formando un ángulo con las juntas

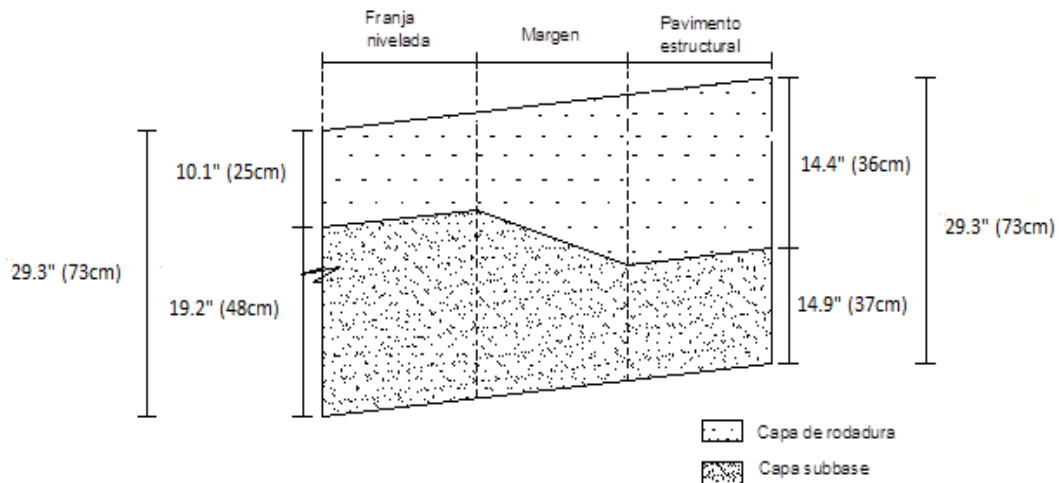


Caso 2: Crítico - Tren de aterrizaje cruza perpendicularmente las juntas



Fuente: Propia

Figura 9.9: Secciones transversales del pavimento rígido no crítico



Fuente: Propia

9.6. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE JUNTAS

Todas las consideraciones que se han tomado en cuenta para el diseño de juntas en la presente tesis, son recomendaciones dadas por la FAA y han sido expuestas en el capítulo 2.

9.6.1. TIPOS DE JUNTAS A EMPLEAR

Juntas de expansión.

Se emplearán las juntas de expansión tipo A, provistas de dowels, en las intersecciones de pavimentos, a fin de transferir cargas.

Juntas de construcción

Se emplearán las juntas longitudinales de construcción tipo E, provista de barras de amarre, en la pista de aterrizaje y en las calles de rodaje.

Asimismo, se emplearán las juntas longitudinales de construcción tipo D, provisto de dowels, en la plataforma.

Juntas de contracción

Se emplearán las juntas transversales de contracción tipo F, provistas de dowels, en todas las juntas transversales, así como también en la plataforma.

9.6.2. ESPACIADO DE JUNTAS

- Los paños del pavimento serán los más cuadrados posibles, ya que en el pavimento rígido no se usará refuerzo de acero en el concreto.
- Además, el espaciado (pies) no debe exceder de dos veces el espesor de la losa (pulgadas), y como el espesor de la losa del pavimento estructural crítico es 17.2 pulg (43 cm), entonces el espaciado será menor a 34.4 pies (10.5 m).
- Otra consideración importante en pavimentos no reforzados es que la relación entre el largo y ancho del paño no debe exceder en 1.25.
- Asimismo, en la tabla 2.2, se muestra los espaciamientos sobre una base sin estabilizar, donde el espaciamiento para juntas transversales y longitudinales debe ser como máximo 7.6 m, para losas de espesor mayor a 12 pulg como es el caso de la presente tesis.

9.6.3. ACERO EN LAS JUNTAS (BARRAS Y DOWELS)

Barras de amarre o de unión

- Diámetro: 5/8 pulg (16 mm)
- Longitud: 30 pulg (75 cm)
- Separación entre barras: 30 pulg (75 cm)

Dowels

Las dimensiones y espaciamientos de los dowels se obtienen de la tabla 2.4, y conociendo que el espesor de la losa de concreto es 17.2 pulg, obtenemos lo siguiente:

- Diámetro: 1 1/2 pulg (40 mm)
- Longitud: 20 pulg (50 cm)
- Separación entre barras: 18 pulg (45 cm)

9.6.4. RELLENOS Y SELLADORES DE JUNTAS

Se inicia con el corte después de aproximadamente 4 a 6 horas de vaciado el concreto (dependiendo del clima), cuando el concreto tiene cierto grado de endurecimiento y las contracciones son menores a las que causan el

agrietamiento, este corte inicial generará un plano de debilidad donde se iniciará el agrietamiento.

Posteriormente, se procederá a sellar todo tipo de juntas para evitar el ingreso del agua u otro agente externo. En las juntas de expansión se usarán rellenos compresibles y sobre estos se aplican los selladores.

9.6.5. DISTRIBUCION DE JUNTAS

A manera de ejemplo, de la figura 9.10 a la 9.13, se muestran los detalles de los diseños de juntas de algunas zonas de la pista de aterrizaje, éstas áreas se han identificado el plano 3.



Figura 9.10: Detalle de juntas-Zona "A"



Figura 9.11: Detalle de juntas-Zona “B”



Figura 9.12: Detalle de juntas-Zona “C”



Figura 9.13: Detalle de juntas-Zona “D”



10. ANÁLISIS ECONÓMICO

En el presente capítulo se realizará el análisis económico del pavimento rígido, el cual, a pesar de su alto costo de construcción, fue elegido ya que presenta diversas ventajas frente a un pavimento flexible tal como se detalla a continuación:

- **Construcción**

El pavimento de concreto requiere aproximadamente 50% menos de material granular.

El avance de construcción del pavimento rígido por día es de aproximadamente un carril de 1 Km; por otro lado, en pavimentos flexibles se tienen avances diarios menores o iguales.

El pavimento rígido tiene un mejor drenaje superficial que el pavimento flexible.

- **Mantenimiento**

El pavimento asfáltico requiere un mantenimiento desde los 2 a 5 años, mientras que el pavimento de concreto lo requiere a partir de los 10 años.

El mantenimiento de 1 Km de pavimento rígido se realiza en 3 días, mientras que en un pavimento flexible se realiza en 4 días más.

Los costos de mantenimiento del pavimento rígido son hasta 45% menores que el de un pavimento asfáltico.

- **Resistencia**

La capa de rodadura en un pavimento rígido aumenta su resistencia en el tiempo y resiste derrame de gasolina y diesel.

- **Rehabilitación**

Un pavimento flexible requiere un mantenimiento constante, mientras que un pavimento rígido lo requiere después de su vida útil.

Además, el pavimento rígido posee los siguientes beneficios:

- Debido a su textura rugosa, la capa de rodadura de un pavimento rígido presenta una mejor adherencia entre el neumático y el pavimento.

- Conserva la textura superficial por un mayor tiempo.
- Se reducen las emisiones de dióxido de carbono y otras.
- Requiere de 3 a 5 veces menos energía en su construcción, mantenimiento y rehabilitación.
- Es 100% reciclable.
- Posee una superficie rígida indeformable, lo cual conlleva a una menor probabilidad de acuaplaneo.

10.1. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

De la tabla 10.1 a la 10.11 se muestran el cálculo detallado de los precios unitarios a emplear en el presupuesto de construcción del pavimento rígido.

PARTIDA: 1.00 MOVIMIENTO DE TIERRAS

Tabla 10.1: Subpartida 1.01

Partida:	1.01	Corte a nivel de subrasante				
Rendimiento:	m³/día	M.O.: 300.00	E.Q.: 300.00	Costo unitario directo por: m³	4.75	
Descripción del Recurso						
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
Mano de Obra						
Capataz	hh	0.10	0.0027	19.46	0.05	
Peón	hh	1.00	0.0267	11.73	0.31	
					0.36	
Equipos						
Herramientas	%MO		5%	0.36	0.02	
Tractor Oruga 140-160	hm	1.00	0.0267	163.60	4.36	
					4.38	

Fuente: Propia

Tabla 10.2: Subpartida 1.02

Partida:	1.02	Perfilado y compactación de subrasante			
Rendimiento:	m²/día	M.O.: 2500.00	E.Q.: 2500.00	Costo unitario directo por: m²	0.78
Descripción del Recurso					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.50	0.0016	19.46	0.03
Peón	hh	4.00	0.0128	11.73	0.15
					0.18
Equipos					
Herramientas	%MO		5%	0.18	0.01
Rodillo liso vib. Auto 10-12 tn-101-135HP	hm	1.00	0.0032	70.20	0.22
Motoniveladora 125 HP	hm	1.00	0.0032	115.20	0.37
					0.60

Fuente: Propia

Tabla 10.3: Subpartida 1.03

Partida:	1.03	Eliminación de material de corte y/o demolición			
Rendimiento:	m³/día	M.O.: 300.00	E.Q.: 300.00	Costo unitario directo por: m³	19.99
Descripción del Recurso					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.10	0.0027	19.46	0.05
					0.05
Equipos					
Herramientas	%MO		5%	0.05	0.00
Camión volquete 6x4 10 m ³ 330 HP	hm	4.00	0.1067	146.80	15.66
Carg. Fron. Sob. Llant 125-155HP, 3 Yd ³	hm	1.00	0.0267	160.28	4.27
					19.94

Fuente: Propia

PARTIDA: 2.00 PAVIMENTOS

Tabla 10.4: Subpartida 2.01

Partida:	2.01	Subbase granular			
Rendimiento:	m³/día	M.O.: 175.00	E.Q.: 175.00	Costo unitario directo por: m³	34.63
Descripción del Recurso					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.10	0.0046	19.43	0.09
Oficial	hh	1.00	0.0457	13.01	0.59
Peón	hh	4.00	0.1829	11.73	2.14
					2.83
Equipos					
Herramientas	%MO		5%	2.83	0.14
Camión cisterna 2000 gln.	hm	1.00	0.0457	75.00	3.43
Motoniveladora 145-150 HP	hm	1.00	0.0457	115.20	5.27
Rodillo liso vib. Auto 10-12 tn-101-135HP	hm	1.00	0.0457	70.20	3.21
					12.05
Materiales					
Material de subbase	m ³		1.03	19.00	19.57
Agua	m ³		0.10	1.83	0.19
					19.76

Fuente: Propia

Tabla 10.5: Subpartida 2.02

Partida:	2.02	Concreto + Pavimentadora			
Rendimiento:	m³/día	M.O.: 200.00	E.Q.: 200.00	Costo unitario directo por: m³	377.60
Descripción del Recurso					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Equipos					
Pavimentadora	m ³		1.00	23.60	23.60
					23.60
Materiales					
Concreto Mr=55 kg/cm ²	m ³	1.00	1.00	354.00	354.00
					354.00

Fuente: Propia

Tabla 10.6: Subpartida 2.03

Partida:	2.03	Alisado, acabado y curado			
Rendimiento:	m³/día	M.O.: 250.00	E.Q.: 250.00	Costo unitario directo por: m³	3.04
Descripción del Recurso					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra					
Acabadores	hh	3.00	0.0960	14.97	1.44
Supervisor de campo	hh	0.50	0.0160	14.97	0.24
Ayudantes	hh	2.00	0.0640	11.73	0.75
Ayudante curador (mochilero)	hh	1.00	0.0320	11.73	0.38
					2.80
Materiales					
Aditivo curador	gln		0.05	4.80	0.24
					0.24

Fuente: Propia

Tabla 10.7: Subpartida 2.04

Partida:	2.04	Barras de amarre Ø 5/8" x 0.75 m @ 0.75 m			
Rendimiento:	Kg/día	M.O.: 500.00	E.Q.: 500.00	Costo unitario directo por: Kg	2.95
Descripción del Recurso					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra					
Peón	hh	1.00	0.0160	11.73	0.19
					0.19
Equipos					
Herramientas	%MO		5%	0.19	0.01
					0.01
Materiales					
Fierro corrugado Ø 5/8"	Kg		1.00	2.76	2.76
					2.76

Fuente: Propia

Tabla 10.8: Subpartida 2.05

Partida:	2.05	Dowels Ø 1 ½" x 0.50 m @ 0.45 m			
Rendimiento:	Kg/día	M.O.: 280.00	E.Q.: 280.00	Costo unitario directo por: Kg	3.52
Descripción del Recurso					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra					
Capataz	hh	0.01	0.0003	19.43	0.01
Oficial	hh	1.00	0.0286	13.01	0.37
					0.38
Equipos					
Herramientas	%MO		5%	0.38	0.02
Cizalla	hm	1.00	0.0286	1.55	0.04
					0.06
Materiales					
Fierro liso Ø 1 ½"	Kg		1.00	3.08	3.08
					3.08

Fuente: Propia

Tabla 10.9: Subpartida 2.06

Partida:	2.06	Corte de juntas					
Rendimiento:	ml/día	M.O.:	250.00	E.Q.:	250.00	Costo unitario directo por: ml	1.52
Descripción del Recurso							
		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
Mano de Obra							
Capataz		hh	0.10	0.0032	19.43	0.06	
Operario		hh	1.00	0.0320	14.97	0.48	
						0.54	
Equipos							
Herramientas		%MO		5%	0.54	0.03	
Cortadora		hm	1.00	0.0320	4.69	0.15	
Disco		ml	1.00	1.0000	0.78	0.78	
						0.96	
Materiales							
Agua		m ³		0.01	1.83	0.02	
						0.02	

Fuente: Propia

Tabla 10.10: Subpartida 2.07

Partida:	2.07	Sellado de juntas			
Rendimiento:	ml/día	M.O.: 1000.00	E.Q.: 1000.00	Costo unitario directo por:	ml 4.33
Descripción del Recurso					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra					
Operario	hh	8.00	0.0640	14.97	0.96
Peón	hh	2.00	0.0160	11.73	0.19
					1.15
Equipos					
Herramientas	%MO		5%	0.96	0.05
Compresora	hm	1.00	0.0080	12.00	0.10
					0.14
Materiales					
Sonomec 1 (Sellador de poliuretano elastomérico)	ml		1.00	2.55	2.55
Imprimación Epóxi. No1 baja viscosidad)	ml		1.00	0.07	0.07
BackerRod. 3/8"	ml		1.00	0.42	0.42
					3.04

Fuente: Propia

Tabla 10.11: Subpartida 2.08

Partida:	2.08	Canastilla para dowels			
Rendimiento:	ml/día	M.O.: 40.00	E.Q.: 40.00	Costo unitario directo por: ml	11.33
Descripción del Recurso					
	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de Obra					
Operario	hh	1.00	0.2000	14.97	2.99
Oficial	hh	1.00	0.2000	13.01	2.60
					5.60
Equipos					
Herramientas	%MO		5%	5.60	0.28
Cizalla	hm	1.00	0.2000	1.55	0.31
					0.59
Materiales					
Fierro 5/16"	Kg		0.9649	5.01	4.83
Fierro 3/16"	Kg		0.0608	5.04	0.31
					5.14

Fuente: Propia

10.2. PRESUPUESTO DE CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO

A manera de ejemplo determinaremos el costo total directo de la construcción del pavimento estructural de la pista de aterrizaje, con paños cuadrados de 7.4 m, en base a los precios unitarios de las partidas: movimiento de tierras y pavimentos. A continuación se muestran los metrados realizados:

Tabla 10.12: Espesor de la pista de aterrizaje (Pav. Estructural)

Capa de la pista de aterrizaje	Espesor (mm)
Concreto	400
Subbase de agregado granular	330
Total	730

Fuente: Propia

Tabla 10.13: Dimensiones de la pista de aterrizaje (Pav. Estructural)

Descripción	Longitud (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	Recorrido de la pavimentadora (Km)	Concreto (m ³)
Pista de aterrizaje	3,500	44.40	155,400	21	62,160

Fuente: Propia

Tabla 10.14: Metrado de corte, sello y acero en juntas de la pista de aterrizaje

Descripción	Unidad	Metrado
Barras de amarre long. 5/8" x 0.75m @ 0.75m	Kg	27,119.19
Dowels trans. 11/2" x 0.50 m @ 0.45m	Kg	206,279.72
Corte y sello de juntas	ml	38,455.60
Canastilla	ml	20,955.60

Fuente: Propia

Con los precios unitarios obtenidos y el metrado realizado, se determina el presupuesto total de la construcción del pavimento estructural de la pista de aterrizaje que se detalla en la tabla 10.15.

Tabla 10.15: Presupuesto de construcción de la pista de aterrizaje

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	METRADO	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
1.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
1.01	Corte a nivel de subrasante	m ³	113,442.00	4.75	538,349.75
1.02	Perfilado y compactación de subrasante	m ²	155,400.00	0.78	121,775.17
1.03	Eliminación de material de corte y/o demolición	m ³	147,474.60	19.99	2,947,617.30
2.00	PAVIMENTOS				
2.01	Subbase granular	m ³	51,282.00	34.63	1,776,018.43
2.02	Concreto + Pavimentadora	m ³	62,160.00	377.60	23,471,616.00
2.03	Alisado, acabado y curado	m ³	62,160.00	3.04	189,135.48
2.04	Barras de amarre Ø 5/8" x 0.75 m @ 0.75 m	Kg	27,119.19	2.95	80,074.35
2.05	Dowels Ø 1 ½" x 0.50 m @ 0.45 m	Kg	206,279.72	3.52	726,190.16
2.06	Corte de juntas	ml	38,455.60	1.52	58,323.95
2.07	Sellado de juntas	ml	38,455.60	4.33	166,499.83
2.08	Canastilla para dowels	ml	20,955.60	11.33	237,348.56
COSTO TOTAL DIRECTO					30,312,948.98
COSTO X ML (CARRIL 7,4M DE ANCHO)					1,443.47

Fuente: Propia

El costo total de construcción de la pista de aterrizaje de 3,500 m, es S/.32,312,948.98, con precios referidos a enero - febrero de 2012.

Cada costo de subpartida representa un porcentaje del costo total directo, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10.16: Comparación de cada partida respecto al total

ITEM	DESCRIPCION	%
1.00	MOVIMIENTO DE TIERRAS	
1.01	Corte a nivel de subrasante	1.78%
1.02	Perfilado y compactación de subrasante	0.40%
1.03	Eliminación de material de corte y/o demolición	9.72%
2.00	PAVIMENTOS	
2.01	Subbase granular	5.86%
2.02	Concreto + Pavimentadora	77.43%
2.03	Alisado, acabado y curado	0.62%
2.04	Barras de amarre Ø 5/8" x 0.75 m @ 0.75 m	0.26%
2.05	Dowels Ø 1 ½" x 0.50 m @ 0.45 m	2.40%
2.06	Corte de juntas	0.19%
2.07	Sellado de juntas	0.55%
2.08	Canastilla para dowels	0.78%

Fuente: Propia

Como se puede apreciar, el costo del concreto más la pavimentadora representan el 77.43% del costo total directo, asimismo, la eliminación de material de corte y/o demolición el 9.72%, la subbase granular el 5.86% y los dowels el 2.40%.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se detallan las conclusiones obtenidas después del análisis para el diseño requerido.

- De los resultados obtenidos en el estudio de tráfico se puede observar que el valor de las salidas anuales promedio en un periodo de 20 años (114,999) es aproximadamente el doble de la cantidad de salidas registradas en el año 2010 (52,348), este resultado refleja el gran incremento que se está dando por el uso de este medio de transportes y comprueba la necesidad de ampliar el aeropuerto Jorge Chávez o construir otro aeropuerto alternativo como se ha propuesto en la presente tesis, con el fin de dar un buen servicio al público.
- El estudio de tráfico realizado se hizo en base a los aviones que existen en el mercado y que vienen llegando a suelo peruano desde hace varios años. Probablemente, con la rápida evolución del diseño de aviones, en el año 2030 se tendrán modelos más sofisticados capaces de volar mayores distancias en menos tiempo y con más capacidad de carga; por lo que sería recomendable evaluar las características de estos aviones, y en base a estas, verificar si el pavimento diseñado es capaz de soportar los esfuerzos a los que se le solicite.
- De los resultados de los estudios de suelos se concluye que no será necesario compactar el material, ya que cumple los requisitos dados. A pesar de ello, se recomienda compactar el suelo al 95% de la máxima densidad seca hasta una profundidad de 12 pulg (0.30 m) por debajo de la subrasante.
- Como el suelo de la subrasante es un material estable, sin presencia de heladas y que posee un buen drenaje, no fue necesario realizar el diseño considerando algún tipo de estabilización.
- De la información pluviométrica, se puede observar que la zona donde se ubicará el aeropuerto presenta una precipitación relativamente baja, la cual

aumenta levemente durante los primeros meses del año; sin embargo, como el clima es un factor sobre el que no se tiene algún tipo de control, sería recomendable que se realice un estudio más profundo considerando las precipitaciones extraordinarias que ha ocurrido en la zona.

- Es muy importante realizar un buen sistema de drenaje para el pavimento diseñado, ya que la capacidad de evacuación de lluvias que posea influirá en el desempeño del pavimento durante su vida útil. Como se mencionó anteriormente, a pesar de no ser una zona en la que se presenten fuertes precipitaciones, podría darse el caso de una avenida extraordinaria que lleve al colapso al sistema de drenaje. Esto podría reblandecer las cimentaciones y erosionar los taludes, de esta manera podría causar grandes daños al pavimento con reparaciones muy costosas; además, la acumulación de agua en la pista podría poner en peligro a los aviones que aterricen por el fenómeno del acuaplaneo.
- Considerando la alternativa elegida (Pavimento Rígido), el volumen de material para subbase (SM) que se requerirá en este proyecto es de 546,000 m³, el cual se determinó con la siguiente fórmula:

$$W_c = \frac{K_r(W_1 + W_2)}{C_m} = \frac{1.4 (39000)}{0.1} = 546000$$

Donde:

W_c : Volumen total (m³)

W_1 : Volumen total necesario para la construcción de obras principales (m³)

W_2 : Volumen total necesario para otros usos (mezclas de hormigón, caminos de acceso, etc.) (m³)

K_r : Coeficiente de reserva, sus valores oscilan entre 1.2 y 1.4.

C_m : Coeficiente de esponjamiento.

Por lo tanto, la cantera Limatambo, cuyo volumen estimado es de 576,000m³, se encuentra en condiciones de abastecer al proyecto.

- En el desarrollo del diseño se comprobó lo que menciona el manual de la FAA, la aeronave de cálculo no es necesariamente la aeronave de mayor

peso bruto. Esto se debe a que el peso no es el único valor que influye en la elección, sino también el número de salidas, el tipo de tren de aterrizaje, etc.

- Se eligió al Pavimento Rígido como la mejor alternativa por las diversas ventajas que presenta frente al Pavimento Flexible. Entre estas ventajas resaltan la durabilidad, el costo a lo largo de la vida útil, la resistencia que posee frente a los derrames de combustible de avión, y sobre todo es mucho más amigable con el medio ambiente que la otra alternativa.



12. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

LOPEZ-PEDRAZA, Francisco.

1970 *Aeropuertos*. Tercera edición. España: Paraninfo.

HORONJEFF, R.

1975 *Planificación y Diseño de Aeropuertos*. Traducción de Carlos Ceballos. Segunda edición americana. Estados Unidos: McGraw-Hill.

ASHFORD N. y WRIGHT P.

1992 *Airport Engineering*. Traducción propia. Tercera edición. Estados Unidos: JhonWiley&Sons.

OLCESE, Manuel.

2009 *Pavimentos – Apuntes del Curso*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

VIVAR, Germán.

1991 *Diseño y Construcción de Pavimentos*. Primera edición. Miraflores: Colegio de Ingenieros del Perú.

MONTEJO, Alonso.

2006 *Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño*. Tercera edición. Colombia: Universidad Católica de Colombia.

CRESPO, C

2008 *Vías de Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos*. Cuarta edición. México: Limusa.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION

1995 AC N°150/5320-6D. *Airport Pavement Design and Evaluation*. Traducción propia. Estados Unidos.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION

1989 AC N°150/5300-13. *Airport Design*. Traducción propia. Estados Unidos.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACIÓN CIVIL

2006 *Manual de Diseño de aeródromos - Parte 1, Pistas*. Tercera edición. Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional, 2006.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACIÓN CIVIL

2005 *Manual de Diseño de aeródromos - Parte 2, Calles de Rodaje, Plataformas y apartaderos de espera*. Cuarta edición. Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE AVIACIÓN CIVIL

1983 *Manual de Diseño de aeródromos – Parte 3, Pavimentos*. Segunda edición. Canadá: Organización de Aviación Civil Internacional.

LIMA AIRPORT PARTNERS

2009 Lima Airport Partners. *Memoria Anual 2009*. Lima: LAP.

MUENCH, Stephen; MAHONEY, Joe; PIERCE, Linda.

2011 *Pavement types - Rigid Pavement*. (En línea). Pavement Tools Consortium. Consulta: 06 de Mayo del 2011 <<http://training.ce.washington.edu/PGI/>>

MUÑOZ, Miguel

Sistemas Funcionales. (En línea). Manual de Vuelo. Consulta: 24 de Mayo del 2011 <<http://www.manualvuelo.com/SIF/SIF39.html>>

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Dirección General de Aeronáutica Civil*. (en línea) Portal de estadísticas del MTC. Consulta: 17 de Junio del 2011. <https://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/aereo/estadistica/docs/nueva_version_2010/paginas/presentacion.htm>

ALLENDE, Teófilo.

2003 Cuenca del Río Lurín: Visión Geológico-Ambiental. *Rev. Inst. investig. Fac. minas metalcienc. geogr.* (en línea). jul./dic. 2003, vol.6, no.12. Consulta: 11 Diciembre 2011, p.44-58. <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-08882003000200007&lng=es&nrm=iso>

WIKIPEDIA

<http://es.wikipedia.org/wiki/Aeropuerto_Internacional_Jorge_Ch%C3%A1vez>

TECNOLOGÍA EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

<http://www.powershow.com/view/27a45d-Y2NIY/Nuevas_Tecnologas_en_la_Construccion_de_Pavimentos_de_Concreto_flash_pt_presentation diapositiva 103>