



ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE PUERTOS
REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY

U15.09 – EXPLANADA PUERTO DE PAYSANDÚ – MEMORIA DE CÁLCULO DE PAVIMENTOS PORTUARIOS

3 de noviembre de 2015

Descripción breve

Memoria de cálculo de pavimentos portuarios de adoquines de hormigón y hormigón armado, mediante el método de la InterPave y la British Ports Association (BPA)



Versión	Detalle	Elaboró	Fecha	Aprobó
A	Versión Original	DN-NP	03.11.2015	-

Contenido

1	DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PORTUARIOS	4
1.1	INTRODUCCIÓN	4
1.2	DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE HORMIGÓN.....	4
1.2.1	<i>Cargas de Almacenamiento</i>	4
1.2.2	<i>Cargas de Manipulación</i>	5
1.2.3	<i>Diseño de la Fundación</i>	6
1.2.4	<i>Diseño Final</i>	6
1.3	DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO.....	7
1.3.1	<i>Parámetros de diseño</i>	7
1.3.2	<i>Resultados del diseño</i>	7

Tablas

Tabla 1.1:	Cargas de almacenamiento de contenedores	4
Tabla 1.2:	Carga estática por Rueda	5
Tabla 1.3:	Espesores de capas de fundación	6
Tabla 1.4:	Equivalencia de Materiales	7

1 DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PORTUARIOS

1.1 Introducción

En el dimensionamiento del pavimento de la explanada para el depósito de contenedores se ha seguido el manual de InterPave y la British Ports Association (BPA), *Heavy Duty Pavements: The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries - edition 4*.

El ámbito de aplicación de este manual es el proyecto y construcción de todos los firmes y pavimentos portuarios cualquiera sea su tipo o destino. Se incluyen dentro de los pavimentos portuarios, todas las superficies que han de soportar tráfico de rodadura no restringida y que se encuentran dentro de los límites de una autoridad portuaria, sin excluir de dichas superficies las comprendidas en concesiones privadas o instalaciones industriales específicas.

1.2 Diseño de Pavimentos de Adoquines de Hormigón.

El método de diseño se centra en el diseño de la base de suelo cemento bajo los adoquines de hormigón y supone que sobre esta base se colocan adoquines de al menos 8cm de espesor.

Para la determinación de las cargas de diseño a las que estará sometido el pavimento, primero se deben analizar por separado las cargas producidas por el almacenamiento (en este caso de contenedores) y las cargas producidas por los vehículos de operación (en este caso reach-stackers) y su acumulación a lo largo de la vida útil del pavimento que para este caso se definió en 25 años.

1.2.1 Cargas de Almacenamiento

Para el almacenamiento de contenedores se toma en cuenta la cantidad de contenedores apilados en altura y la forma de apilado de los mismos (aislados, en filas, o en bloques), esto se resume en la tabla 18 del manual (Pavement loads from stacking full containers):

Tabla 1.1: Cargas de almacenamiento de contenedores

Stacking Height	Reduction in Gross Weight (%)	Contact Stress (N/mm ²)	Load on Pavement (kN) for each stacking arrangement		
			Singly	Rows	Blocks
1	0	2.59	76.2	152.4	304.8
2	10	4.67	137.2	274.3	548.6
3	20	6.23	182.9	365.8	731.5
4	30	7.27	213.4	426.7	853.4
5	40	7.78	228.6	457.2	914.4
6	40	9.33	274.3	548.6	1097
7	40	10.90	320.0	640.0	1280
8	40	12.50	365.8	731.6	1463

Para el caso de la explanada del puerto de Paysandú se definió un apilado de hasta 5 contenedores en altura y su forma de apilado en bloques, por lo que la carga en el pavimento según la tabla anterior será de **914 kN**.

Para esta carga, el ábaco de diseño del manual¹ requiere un espesor de 55 cm de suelo cemento (tipo C8/10) bajo los adoquines de hormigón.

1.2.2 Cargas de Manipulación

Para las cargas de manipulación de contenedores se consideró un vehículo tipo reach-stacker de 70Ton.

Cargando el contenedor crítico de 40 pies, de 22 Ton, el peso total estático es de 91,84 Ton de los cuales 73,66 Ton son aplicadas por el eje delantero y 18,18 Ton por el eje trasero.

Por lo tanto, la carga estática aplicada por cada rueda del eje delantero es $73,66/4 = 18,41$ Ton.

Luego aplicando los efectos de proximidad de ruedas para un CBR de la subrasante = 20^2 y los efectos dinámicos de frenado, aceleración y esquinas, la carga final

Tabla 1.2: Carga estática por Rueda

Concepto	Valor
Carga estática calculada	18,41 Ton
Factor de Proximidad de ruedas ³	1,65
Factor de efectos dinámicos	1,70
SEWL	52 Ton

Por lo tanto la carga por rueda será de 520 kN.

Finalmente, a efectos del cálculo de las repeticiones de cargas esperadas, se proyectan las cargas por día a lo largo de los 25 años de la vida útil proyectada para el pavimento. Para el caso de la explanada se consideraron 25 repeticiones de carga por cada punto del pavimento por día, lo cual proyectado a 25 años da un total de repeticiones de **228.125**.

Para la carga y repeticiones calculadas, el ábaco de diseño del manual⁴ requiere un espesor de 50 cm de suelo cemento (tipo C8/10) bajo los adoquines de hormigón.

¹ Página 84 de Heavy Duty Pavements: The structural design of heavy-duty pavements for ports and other industries - edition 4.

² De acuerdo a los estudios de suelos realizados por GeoAmbiente para CDS ingenieros

³ Tabla 17 de Heavy Duty Pavements: The structural design of heavy-duty pavements for ports and other industries - edition 4

⁴ Página 85 de Heavy Duty Pavements: The structural design of heavy-duty pavements for ports and other industries - edition 4.

1.2.3 Diseño de la Fundación

Para el diseño de la fundación del pavimento (sub-base y capa de forma) el método se basa en el CBR de la explanada y de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 1.3: Espesores de capas de fundación

CBR de Subrasante	Capa de Forma (mm)	Sub-base (mm)
1%	900	150
2%	600	150
3%	400	150
4%	250	150
≥ 5%	No se requiere	150

Dado que el CBR encontrado en la explanada es mayor a 20, en este caso se requiere una capa de sub-base granular de 15cm de espesor.

1.2.4 Diseño Final

De acuerdo a los cálculos realizados el paquete requerido sería:

Estructura de Adoquines dada por el método BPA

ADOQUINES DE HORMIGÓN	d1= 8.0 cm
ARENA DE ASIENTO	d2= 3.0 cm
BASE CEMENTADA	d3= 55.0 cm
SUB-BASE GRANULAR	d4= 15.0 cm
	81 cm

Para adaptar el cálculo a las condiciones locales y de los pavimentos existentes en el puerto de Paysandú se calcularon espesores equivalentes:

Estructura de Adoquines propuesta por el método BPA

ADOQUINES DE HORMIGÓN	d1= 10.0 cm
ARENA DE ASIENTO	d2= 3.0 cm
BASE CEMENTADA	d3= 40.0 cm
SUB-BASE GRANULAR	d4= 60.0 cm
	113 cm

1.3 Diseño de Pavimento Rígido

A pedido de la ANP se realizó un diseño equivalente de un pavimento de hormigón en lugar del pavimento de adoquines de hormigón propuesto, a continuación se presenta el cálculo realizado.

1.3.1 Parámetros de diseño

Para el diseño del pavimento de hormigón se utilizaron las tablas de equivalencias de materiales del manual antes referido *Heavy Duty Pavements: The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries - edition 4*.

De esta forma de la tabla de equivalencia de materiales, respecto a la base cementada tipo (C8/10)⁵ se obtuvo:

Tabla 1.4: Equivalencia de Materiales

Material	Factor
Hormigón C32/40 según norma BS 8500-1	0.60
Hormigón C32/40 según norma BS 8500-1 con 20kg/m ³ de fibras de acero	0.55

1.3.2 Resultados del diseño

De acuerdo a la tabla anterior los espesores equivalentes requeridos serían:

Estructura de Hormigón dado por el método BPA

LOSA DE HORMIGÓN C32/40	d1= 33.0 cm
BASE CEMENTADA	d2= 15.0 cm
SUB-BASE GRANULAR	d3= 15.0 cm
	63 cm

Como alternativa se calculó el espesor de la losa en el caso de incluir fibras de acero de refuerzo:

Estructura de Hormigón alternativa por el método BPA

HORMIGÓN C32/40 C/FIBRAS	d1= 30.0 cm
BASE CEMENTADA	d2= 15.0 cm
SUB-BASE GRANULAR	d3= 15.0 cm
	60 cm

Cabe destacar que en ambos casos se agregó una base cementada, aunque el método de diseño no lo requiere, dada la alta probabilidad del efecto de “bombeo de finos”.

⁵ Tabla 13 de Heavy Duty Pavements: The structural design of heavy-duty pavements for ports and other industries - edition 4