

INFORME FINAL “DISEÑO DE PAVIMENTO”

PROYECTO:
“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE APERTURA BOULEVARD
DIEGO DE HOLGUÍN SANTA TECLA, (TRAMO I)”

CONTRATISTA



ASOSIO TEMPORAL
CONSTRUCTORA MECO S.A. – CAABSA CONSTRUCTORA S.A. DE C.V.



SUPERVISION



Proyectos, Asesoría y Control de Calidad, S.A.



PLANEAMIENTO ARQUITECTURA, S.A. DE C.V.
INGENIEROS-ARQUITECTOS-PLANIFICADORES-ECONOMISTAS-CONSULTORES

INDICE

INTRODUCCIÓN.	1
I. VARIABLES DE DISEÑO.	3
a) EL PERÍODO DE DISEÑO.	3
b) TRÁFICO.....	3
c) CONFIABILIDAD (R), y DESVIACIÓN ESTÁNDAR (So).....	10
d) EFECTOS AMBIENTALES.....	10
II. CRITERIOS DE COMPORTAMIENTO.	11
a) SERVICIABILIDAD	11
III. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE SOPORTE PARA EL DISEÑO	12
a) MÓDULO DE RESILIENCIA EFECTIVO.	12
IV. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO.....	13
a) COEFICIENTE DE DRENAJE.....	13
b) TRANSFERENCIA DE CARGA (J).....	16
c) PÉRDIDA DE SOPORTE	17
d) MODULO EFECTIVO DE REACCIÓN DE LA SUB-RASANTE (k).	17
e) CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO.....	18
f) MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO.....	19
g) MODULO DE ELASTICIDAD, ES.	20
V. MEMORIA DE CALCULO.	22
VI. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS AL DISEÑO.	31
VI. CONCLUSIONES.	38
VII. RECOMENDACIONES.	39
ANEXOS	40

INTRODUCCIÓN.

Los pavimentos de concreto hidráulico se han venido construyendo a nivel mundial desde 1865, la alternativa de proyección y construcción se han transformado a medida que los tiempos evolucionan, el conocimiento en los materiales óptimos, la gran escalada de la ingeniería mecánica acompañada del entendimiento de las teorías de la mecánica de suelos y materiales encaminan el mejor comportamiento de los pavimentos que se construyen con cemento como materia prima en sus mezclas; todas estas combinaciones consolidaron a los pavimentos de concreto hidráulico como las estructuras de mayor duración con buenos niveles de conservación y óptimos niveles de inversión medidas a largo plazo. El Salvador no ha sido ajeno a esta evolución, conocemos en nuestro país pavimentos de concreto hidráulico de más de 35 años de operación, pavimentos que por su lógico deterioro se han visto obligados a ser rehabilitados con diversas técnicas. Sin embargo, Los procedimientos de diseño y construcción empleados en pavimentos de concreto hidráulico han evolucionado con la experiencia, la práctica, las pruebas de campo y la aplicación de las consideraciones teóricas. El alto costo de los cierres por mantenimiento y rehabilitación de pavimentos en las carreteras tiene un impacto significativo en las economías locales y regionales, además de las innecesarias demoras para los viajeros.

Un pavimento de concreto bien diseñado y construido resistirá las cargas vehiculares anticipadas en las condiciones climáticas propias del lugar durante el periodo de tiempo deseado con actividades mínimas de mantenimiento y reparación.

El desempeño deseable de un pavimento de concreto puede obtenerse al asegurarse que se minimicen los casos de deterioro que pueden desarrollarse. Los deterioros que pueden desarrollarse en pavimentos de concreto incluyen los siguientes:

- Fisuración (en esquinas, longitudinal, transversal, relacionada con la durabilidad o los materiales)
- Relacionados con las juntas (desprendimiento, bombeo, daños en el sellado de juntas)
- Defectos en la superficie (descascarado, protuberancia, fisuración en bloque).

Para minimizar el desarrollo de deterioros en el pavimento de concreto se debe:

1. Seleccionar el espesor adecuado de pavimento
2. Proporcionar un adecuado soporte fundacional que incluya una base no erosionable y con drenaje libre.
3. Efectuar una adecuada distribución e instalación de las juntas
4. Diseñar e instalar una adecuada transferencia de carga en las juntas
5. Seleccionar componentes apropiados para el concreto
6. Asegurar una consolidación adecuada del concreto
7. Proporcionar una terminación correcta a la superficie del concreto
8. Mantener el sellador de juntas en buenas condiciones

Otro aspecto importante en la construcción de pavimentos de concreto es minimizar la probabilidad de deterioro temprano, que en general ocurre como fisuración y desprendimiento.

Esto se logra mediante el uso de principios de diseño sólidos y mediante la implementación de técnicas constructivas adecuadas.

En el presente documento se presentan los criterios y consideraciones que corresponden al Diseño Final de Pavimento Hidráulico del Proyecto "Diseño y Construcción de la Apertura Boulevard Diego de Holguín, Santa Tecla (Tramo I), diseño que ha sido desarrollado atendiendo las condiciones técnicas del proyecto bajo la metodología AASHTO 93.

Han sido considerados los lineamientos establecidos en la Condiciones Técnicas del proyecto, referente a las condiciones de servicibilidad de la vía terminada y Modulo de Ruptura, teniendo presente siempre el diseño de una estructura satisfactoria que satisfaga las necesidades de su demanda para el periodo de diseño desarrollado de 25 años; que también se ajuste a las prácticas constructivas del país.

I. VARIABLES DE DISEÑO.

En esta sección se describen las variables de diseño de Pavimento Hidráulico que se requieren para hacer uso de la Guía AASHTO 93 para el Diseño de Estructuras de Pavimentos. Las variables son aquellas que deben considerarse dentro del diseño y construcción de cualquier pavimento y son:

- El Período de Diseño
- El Tráfico
- La Confiabilidad en el Diseño y Desviación Estándar
- Los Efectos Ambientales.

a) EL PERÍODO DE DISEÑO.

El período de diseño es el tiempo transcurrido, en el cual una estructura nueva o rehabilitada se deteriora desde su serviciabilidad inicial hasta su serviciabilidad final. Para este proyecto se ha considerado un período de diseño de 25 años, considerando su año de puesta en operación el 2007 y su año de finalización el 2032.

b) TRÁFICO

Las solicitaciones de carga en un pavimento está definida por el ESAL de Diseño; en donde el ESAL (Equivalent simple axial load) es la conversión de las cargas esperadas y acumulativas durante el período de análisis, a un Número de Repeticiones de Cargas Equivalente de un Eje Simple de Ruedas Duales de Carga Standard de 18,000 lb.

1) Boulevard Diego de Holguín (Corredor principal)

La proyección de la demanda obtenidas del estudio de tránsito del proyecto se presenta en los cuadros siguientes, estos cuadros nos presentan los valores de TPDA, la composición del mismo y los ejes equivalentes respectivos para la sección 110 y 120 respectivamente.

Año	TPDA	Livianos	Pesados					EEQ / AÑO	EEQ. Acumulados	EEQ. Carril diseño
			Total Pesados	Buses	C2	C3	T3S2			
2005	25,300	22,886	2,414	145	1,526	115	628	1,721,680	0	0
2006	26,862	24,314	2,547	153	1,611	121	662	1,817,363	0	0
2007	28,520	25,832	2,688	161	1,700	128	699	1,918,368	1,918,368	671,429
2008	30,280	27,444	2,837	170	1,794	135	738	2,024,989	3,943,357	1,380,175
2009	32,150	29,156	2,993	180	1,893	142	778	2,137,540	6,080,896	2,128,314
2010	34,134	30,975	3,159	190	1,998	150	821	2,256,350	8,337,246	2,918,036
2011	34,880	31,626	3,254	195	2,058	155	846	2,323,227	10,660,473	3,731,166
2012	35,641	32,290	3,351	201	2,119	160	871	2,392,092	13,052,565	4,568,398
2013	36,420	32,968	3,452	207	2,183	164	897	2,463,006	15,515,572	5,430,450
2014	37,216	33,660	3,555	213	2,248	169	924	2,536,030	18,051,602	6,318,061
2015	38,029	34,367	3,662	220	2,316	174	952	2,611,227	20,662,829	7,231,990
2016	38,843	35,089	3,754	225	2,374	179	976	2,676,106	23,338,934	8,168,627
2017	39,673	35,826	3,848	231	2,433	183	1,000	2,742,599	26,081,533	9,128,537
2018	40,522	36,578	3,944	237	2,494	188	1,025	2,810,745	28,892,278	10,112,297
2019	41,389	37,346	4,042	243	2,556	192	1,051	2,880,587	31,772,865	11,120,503
2020	42,274	38,131	4,143	249	2,620	197	1,077	2,952,165	34,725,030	12,153,760
2021	43,178	38,931	4,247	255	2,686	202	1,104	3,025,524	37,750,554	13,212,694
2022	44,102	39,749	4,353	261	2,753	207	1,132	3,100,707	40,851,261	14,297,941
2023	45,046	40,584	4,462	268	2,822	212	1,160	3,177,761	44,029,021	15,410,157
2024	46,010	41,436	4,574	274	2,892	218	1,189	3,256,731	47,285,752	16,550,013
2025	46,994	42,306	4,688	281	2,965	223	1,219	3,337,665	50,623,417	17,718,196
2026	48,000	43,195	4,805	288	3,039	229	1,249	3,420,612	54,044,029	18,915,410
2027	49,027	44,102	4,925	296	3,115	234	1,281	3,505,623	57,549,652	20,142,378
2028	50,076	45,028	5,048	303	3,193	240	1,313	3,592,749	61,142,401	21,399,840
2029	51,148	45,973	5,175	310	3,272	246	1,345	3,682,041	64,824,442	22,688,555
2030	52,243	46,939	5,304	318	3,354	252	1,379	3,773,555	68,597,998	24,009,299
2031	53,361	47,925	5,436	326	3,438	259	1,413	3,867,346	72,465,344	25,362,870
2032	54,503	48,931	5,572	334	3,524	265	1,449	3,963,470	76,428,814	26,750,085
ACULUMADO		936,733	101,223	6,073	64,014	4,818	26,318	Factor dir.	Factor carril	
FACT. CRECIMIENTO		40.9	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9	0.5	0.7	
FACTOR CAMION		0.008	-	1.65	1.48	1.88	2.9			

Pronóstico de la demanda vehicular, sección 110 Blv. Diego de Holguín.

Pronóstico de la demanda vehicular en TPDA y ESALs para Sección 120: 2 + 900 - 4+600 Boulevard Diego de Holguín

Año	TPDA	Livianos	Pesados					EEQ / AÑO	EEQ. Acumulados	EEQ. Carril diseño
			Total Pesados	Buses	C2	C3	T3S2			
2005	35,678	32,274	3,404	204	2,152	162	885	2,427,909	0	0
2006	37,880	34,288	3,592	216	2,272	171	934	2,562,841	0	0
2007	40,218	36,428	3,791	227	2,397	180	986	2,705,277	2,705,277	946,847
2008	42,701	38,701	4,000	240	2,530	190	1,040	2,855,635	5,560,912	1,946,319
2009	45,337	41,116	4,221	253	2,670	201	1,098	3,014,353	8,575,265	3,001,343
2010	48,136	43,681	4,455	267	2,817	212	1,158	3,181,900	11,757,165	4,115,008
2011	49,187	44,599	4,588	275	2,902	218	1,193	3,276,209	15,033,374	5,261,681
2012	50,261	45,535	4,726	284	2,989	225	1,229	3,373,323	18,406,697	6,442,344
2013	51,359	46,492	4,868	292	3,078	232	1,266	3,473,326	21,880,023	7,658,008
2014	52,482	47,468	5,014	301	3,171	239	1,304	3,576,304	25,456,326	8,909,714
2015	53,629	48,465	5,164	310	3,266	246	1,343	3,682,346	29,138,672	10,198,535
2016	54,776	49,483	5,293	318	3,348	252	1,376	3,773,838	32,912,510	11,519,379
2017	55,947	50,522	5,426	326	3,431	258	1,411	3,867,606	36,780,116	12,873,041
2018	57,144	51,583	5,561	334	3,517	265	1,446	3,963,706	40,743,822	14,260,338
2019	58,366	52,666	5,700	342	3,605	271	1,482	4,062,196	44,806,019	15,682,107
2020	59,615	53,772	5,843	351	3,695	278	1,519	4,163,136	48,969,155	17,139,204
2021	60,890	54,901	5,989	359	3,787	285	1,557	4,266,586	53,235,741	18,632,509
2022	62,193	56,054	6,139	368	3,882	292	1,596	4,372,610	57,608,351	20,162,923
2023	63,523	57,231	6,292	378	3,979	300	1,636	4,481,270	62,089,621	21,731,368
2024	64,882	58,433	6,450	387	4,079	307	1,677	4,592,634	66,682,255	23,338,789
2025	66,271	59,660	6,611	397	4,181	315	1,719	4,706,767	71,389,022	24,986,158
2026	67,689	60,913	6,776	407	4,285	323	1,762	4,823,739	76,212,762	26,674,467
2027	69,138	62,192	6,945	417	4,392	331	1,806	4,943,621	81,156,383	28,404,734
2028	70,617	63,498	7,119	427	4,502	339	1,851	5,066,486	86,222,869	30,178,004
2029	72,129	64,832	7,297	438	4,615	347	1,897	5,192,406	91,415,275	31,995,346
2030	73,673	66,193	7,480	449	4,730	356	1,945	5,321,459	96,736,733	33,857,857
2031	75,250	67,583	7,666	460	4,848	365	1,993	5,453,722	102,190,456	35,766,660
2032	76,860	69,002	7,858	471	4,969	374	2,043	5,589,276	107,779,732	37,722,906
ACUMULADO		1,320,978	142,745	8,565	90,272	6,795	37,114	Factor dir.	Factor carril	
FACT. CRECIMIENTO		40.9	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9	0.5	0.7	
FACTOR CAMION		0.008	-	1.65	1.48	1.88	2.9			

Pronóstico de la demanda vehicular, sección 120 Blv. Diego de Holguín.

2) Accesos Trompeta 1

Los accesos y salidas de este intercambiador serán diseñados para la rampa mas cargada la cual corresponde a la rampa que del Norte conduce al Oeste, los flujos y Esals de diseño correspondientes a este acceso son presentados en el cuadro siguiente:

Pronóstico de la demanda vehicular en TPDA y ESALs para Rampa Noroeste CA01-Interconexión calle Real

Año	TPDA	Livianos	Pesados					EEQ / AÑO	EEQ. Acumulados	EEQ. Carril diseño
			Total Pesados	Buses	C2	C3	T3S2			
2005	13,267	12,001	1,266	76	800	60	329	902,805	0	0
2006	14,086	12,750	1,336	80	845	64	347	952,978	0	0
2007	14,955	13,545	1,409	85	891	67	366	1,005,942	1,005,942	704,160
2008	15,878	14,391	1,487	89	941	71	387	1,061,852	2,067,794	1,447,456
2009	16,858	15,289	1,570	94	993	75	408	1,120,871	3,188,665	2,232,065
2010	17,899	16,243	1,656	99	1,048	79	431	1,183,172	4,371,837	3,060,286
2011	18,290	16,584	1,706	102	1,079	81	444	1,218,240	5,590,077	3,913,054
2012	18,689	16,932	1,757	105	1,111	84	457	1,254,351	6,844,428	4,791,100
2013	19,098	17,288	1,810	109	1,145	86	471	1,291,537	8,135,965	5,695,176
2014	19,515	17,651	1,864	112	1,179	89	485	1,329,829	9,465,794	6,626,056
2015	19,942	18,021	1,920	115	1,214	91	499	1,369,260	10,835,054	7,584,538
2016	20,368	18,400	1,968	118	1,245	94	512	1,403,281	12,238,335	8,566,834
2017	20,804	18,786	2,018	121	1,276	96	525	1,438,148	13,676,482	9,573,538
2018	21,249	19,181	2,068	124	1,308	98	538	1,473,882	15,150,365	10,605,255
2019	21,703	19,584	2,120	127	1,340	101	551	1,510,505	16,660,870	11,662,609
2020	22,167	19,995	2,173	130	1,374	103	565	1,548,039	18,208,909	12,746,236
2021	22,642	20,415	2,227	134	1,408	106	579	1,586,507	19,795,415	13,856,791
2022	23,126	20,843	2,283	137	1,444	109	593	1,625,931	21,421,346	14,994,942
2023	23,621	21,281	2,340	140	1,480	111	608	1,666,336	23,087,682	16,161,377
2024	24,126	21,728	2,398	144	1,517	114	624	1,707,745	24,795,427	17,356,799
2025	24,642	22,184	2,458	147	1,555	117	639	1,750,185	26,545,612	18,581,929
2026	25,170	22,650	2,520	151	1,593	120	655	1,793,681	28,339,293	19,837,505
2027	25,708	23,126	2,583	155	1,633	123	671	1,838,258	30,177,551	21,124,286
2028	26,259	23,611	2,647	159	1,674	126	688	1,883,945	32,061,496	22,443,047
2029	26,821	24,107	2,713	163	1,716	129	705	1,930,767	33,992,263	23,794,584
2030	27,395	24,614	2,781	167	1,759	132	723	1,978,755	35,971,018	25,179,713
2031	27,981	25,130	2,851	171	1,803	136	741	2,027,936	37,998,955	26,599,268
2032	28,580	25,658	2,922	175	1,848	139	760	2,078,341	40,077,296	28,054,107
ACULUMADO		491,198	53,079	3,185	33,567	2,527	13,801	Factor dir.	Factor carril	
FACT. CRECIMIENTO		40.9	41.9	41.9	41.9	41.9	41.9	1	0.7	
FACTOR CAMION		0.008	-	1.65	1.48	1.88	2.9			

3) Redondeles 1 y 2

Para el caso de los redondeles 1 y 2, y accesos y rampas que conectan con estos redondeles se considerará para el calculo de ESALS de Diseño, el acceso mas cargado el cual corresponde a la salida sur del redondel 2.

El trafico correspondiente a este acceso se presenta en el cuadro siguiente:

Pronóstico de la demanda vehicular en TPDA y ESALS para Acceso Sur Completo

Año	TPDA	Livianos	Pesados					EEQ / AÑO	EEQ. Acumulados	EEQ. Carril diseño
			Total Pesados	Buses	C2	C3	T3S2			
2005	6,978	6,312	666	0	576	43	47	408,510	0	0
2006	7,408	6,706	702	0	608	46	49	431,232	0	0
2007	7,866	7,124	741	0	641	48	52	455,218	455,218	455,218
2008	8,351	7,569	782	0	677	51	55	480,539	935,757	935,757
2009	8,867	8,041	826	0	714	54	58	507,270	1,443,027	1,443,027
2010	9,414	8,543	871	0	754	57	61	535,489	1,978,515	1,978,515
2011	9,620	8,722	897	0	776	58	63	551,329	2,529,844	2,529,844
2012	9,830	8,906	924	0	799	60	65	567,639	3,097,483	3,097,483
2013	10,045	9,093	952	0	823	62	67	584,434	3,681,918	3,681,918
2014	10,264	9,284	981	0	848	64	69	601,729	4,283,646	4,283,646
2015	10,489	9,479	1,010	0	874	66	71	619,536	4,903,183	4,903,183
2016	10,713	9,678	1,035	0	895	67	72	634,914	5,538,097	5,538,097
2017	10,942	9,881	1,061	0	918	69	74	650,674	6,188,771	6,188,771
2018	11,176	10,088	1,088	0	941	71	76	666,825	6,855,596	6,855,596
2019	11,415	10,300	1,115	0	964	73	78	683,378	7,538,974	7,538,974
2020	11,659	10,517	1,143	0	988	74	80	700,342	8,239,317	8,239,317
2021	11,909	10,737	1,171	0	1,013	76	82	717,728	8,957,045	8,957,045
2022	12,163	10,963	1,201	0	1,038	78	84	735,546	9,692,591	9,692,591
2023	12,424	11,193	1,231	0	1,064	80	86	753,806	10,446,397	10,446,397
2024	12,689	11,428	1,261	0	1,091	82	88	772,521	11,218,918	11,218,918
2025	12,961	11,668	1,293	0	1,118	84	91	791,700	12,010,619	12,010,619
2026	13,238	11,913	1,325	0	1,146	86	93	811,357	12,821,975	12,821,975
2027	13,522	12,163	1,358	0	1,175	88	95	831,501	13,653,477	13,653,477
2028	13,811	12,419	1,392	0	1,204	91	97	852,147	14,505,624	14,505,624
2029	14,107	12,680	1,427	0	1,234	93	100	873,306	15,378,929	15,378,929
2030	14,409	12,946	1,463	0	1,265	95	102	894,990	16,273,919	16,273,919
2031	14,717	13,218	1,499	0	1,297	98	105	917,214	17,191,133	17,191,133
2032	15,032	13,495	1,537	0	1,329	100	108	939,990	18,131,122	18,131,122
ACULUMADO		258,352	27,918	0	24,146	1,817	1,954	Factor dir.	Factor carril	
FACT. CRECIMIENTO		40.9	41.9		41.9	41.9	41.9	1	1	
FACTOR CAMION		0.008	-	1.65	1.48	1.88	2.9			

4) Accesos Trompeta 2

La mayor demanda vehicular en esta trompeta ocurre en la rampa 3, la cual acomodará los volúmenes vehiculares que desde la 7ª Av., se incorporaran al Blvd. con rumbo hacia San Salvador.

El trafico correspondiente a este acceso se presenta en el cuadro a continuación:

Pronóstico de la demanda vehicular en TPDA y ESALs para Rampa Sureste

Año	TPDA	Livianos	Pesados					EEQ / AÑO	EEQ. Acumulados	EEQ. Carril diseño
			Total Pesados	Buses	C2	C3	T3S2			
2005	9,100	8,232	868	0	751	57	61	532,755	0	0
2006	9,662	8,746	916	0	792	60	64	562,387	0	0
2007	10,258	9,291	967	0	836	63	68	593,668	593,668	593,668
2008	10,891	9,871	1,020	0	882	66	71	626,690	1,220,358	1,220,358
2009	11,564	10,487	1,077	0	931	70	75	661,551	1,881,909	1,881,909
2010	12,278	11,141	1,136	0	983	74	80	698,352	2,580,261	2,580,261
2011	12,546	11,375	1,170	0	1,012	76	82	719,010	3,299,271	3,299,271
2012	12,820	11,614	1,205	0	1,043	78	84	740,281	4,039,552	4,039,552
2013	13,100	11,858	1,242	0	1,074	81	87	762,184	4,801,737	4,801,737
2014	13,386	12,107	1,279	0	1,106	83	90	784,738	5,586,475	5,586,475
2015	13,679	12,361	1,317	0	1,139	86	92	807,962	6,394,437	6,394,437
2016	13,971	12,621	1,350	0	1,168	88	95	828,017	7,222,454	7,222,454
2017	14,270	12,886	1,384	0	1,197	90	97	848,570	8,071,024	8,071,024
2018	14,575	13,157	1,418	0	1,227	92	99	869,634	8,940,658	8,940,658
2019	14,887	13,433	1,454	0	1,258	95	102	891,221	9,831,879	9,831,879
2020	15,205	13,715	1,490	0	1,289	97	104	913,345	10,745,224	10,745,224
2021	15,531	14,003	1,528	0	1,321	99	107	936,018	11,681,242	11,681,242
2022	15,863	14,297	1,566	0	1,354	102	110	959,255	12,640,497	12,640,497
2023	16,202	14,597	1,605	0	1,388	104	112	983,069	13,623,566	13,623,566
2024	16,549	14,904	1,645	0	1,423	107	115	1,007,475	14,631,041	14,631,041
2025	16,903	15,217	1,686	0	1,458	110	118	1,032,488	15,663,530	15,663,530
2026	17,265	15,536	1,728	0	1,495	113	121	1,058,123	16,721,652	16,721,652
2027	17,634	15,863	1,772	0	1,532	115	124	1,084,394	17,806,047	17,806,047
2028	18,012	16,196	1,816	0	1,570	118	127	1,111,319	18,917,366	18,917,366
2029	18,397	16,536	1,861	0	1,610	121	130	1,138,913	20,056,278	20,056,278
2030	18,791	16,883	1,908	0	1,650	124	134	1,167,192	21,223,471	21,223,471
2031	19,193	17,238	1,955	0	1,691	127	137	1,196,175	22,419,646	22,419,646
2032	19,604	17,600	2,004	0	1,734	130	140	1,225,878	23,645,524	23,645,524
ACULUMADO		336,928	36,408	0	31,490	2,370	2,549	Factor dir.	Factor carril	
FACT. CRECIMIENTO		40.9	41.9		41.9	41.9	41.9	1	1	
FACTOR CAMION		0.008	-	1.65	1.48	1.88	2.9			

PESOS DE EJES POR TIPO DE VEHICULOS:

Tipo de Vehículo	Tipo de eje del tractor				Tipo de eje del semiremolque			Total Toneladas
	Eje Simple Direccional	Eje de tracción			Eje de arrastre			
		Eje Simple	Doble rueda	Triple rueda	Eje Simple	Doble rueda	Triple rueda	
Autos (*)	2.2	2.2						
Pick Ups (*)	2.2	5.5						
MicroBus (*)	5.5	11.00						
AutoBus (*)	11.00	22.00						
C2	5.00	10.00						15.00
C3	5.00		16.50					21.60
C4	5.00			20.00				25.00
T2-S1	5.00	9.00			9.00			23.00
T2-S2	5.00	9.00				16.00		30.00
T2-S3	5.00	9.00					20.00	34.00
T3-S1	5.00		16.00		9.00			30.00
T3-S2	5.00		16.00			16.00		37.00
T3-S3	5.00		16.00				20.00	41.00
Otros	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	Variable

Fuente: Acuerdo Centroamericano sobre Circulación por Carreteras, SIECA, 2000.

Resolución 02-01 COMITRAN XXIII.

(*) Pesos obtenidos del Estudio de Factibilidad Técnica – Económica y Diseño Geométrico Final del Anillo Periférico del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS). (DELCAN)

ESAL DE DISEÑO:

1) Boulevard Diego de Holguín (Corredor principal)

Los valores de ESAL proyectados resultantes a partir del tráfico actual son inferiores al estipulado en las condiciones técnicas del proyecto, por lo cual el diseño se realizara para el ESAL mínimo especificado de 49.7 millones por las condiciones técnicas.

2) Accesos Trompetas 1.

Estos acceso serán diseñados para una ESALS de 28,054,107 (Ver sección de tráfico).

3) Redondeles 1 y 2

Los redondeles y accesos a estos serán diseñados para un ESAL de 18,131,122 (Ver sección de tráfico).

4) Accesos Trompeta 2

El ESAL de Diseño para los acceso de este intercambiador será de 23,645,524 (Ver sección de tráfico).

c) CONFIABILIDAD (R), y DESVIACIÓN ESTÁNDAR (So)

Esta variable considera el nivel de probabilidad que tiene la estructura de pavimento diseñada para durar su periodo previsto, tomándose en cuenta las posibles variaciones del tráfico así como el tipo de vía. Se estableció en 90 % la confiabilidad, según lo establecido en la Condiciones Técnicas del Proyecto.

Desviación Estándar (So).

Esta variable prevé la Variación Total en la Predicción del Comportamiento del Pavimento y las Estimaciones del Tráfico. Se estableció en 0.35, tomando en cuenta que es lo establecido en la guía de diseño en función del tipo de pavimento.

d) EFECTOS AMBIENTALES

El ambiente puede afectar el comportamiento en varias formas. Los cambios de temperatura y humedad pueden afectar la resistencia, durabilidad y capacidad de carga del pavimento y los suelos de sub-rasante. Otros efectos como el envejecimiento, sequedad y el deterioro de los materiales debido al intemperismo son considerados en la Guía AASHTO 93 en términos de su influencia inherente en los modelos de predicción de comportamiento adoptados. Con la finalidad de disminuir en lo posible los efectos ambientales en las estructuras de pavimento propuestas, se ha considerado que los materiales de la subbase, sean estabilizados con cemento.

II. CRITERIOS DE COMPORTAMIENTO.

a) SERVICIABILIDAD

La filosofía de diseño básica de la guía AASHTO es el concepto de Serviciabilidad – Comportamiento, que permite diseñar un pavimento para un volumen total de tráfico específico y un mínimo nivel de Serviciabilidad deseado al final del periodo de diseño. Los índices inicial y final deberán estar acordes con la función de la Estructura de pavimento diseñada y la calidad de construcción.

Para el caso del Índice de Serviciabilidad Inicial (PSI inicial) a considerarse en el diseño, se definirá de acuerdo a lo indicado a continuación:

El índice de serviciabilidad inicial fue calculado conforme a lo establecido en las Condiciones Técnicas del Proyecto bajo la siguiente fórmula:

$$\text{Pavimento hidráulico: } p = 7.10 - 2.19 \times (\text{IRI})^{0.5}$$

Donde

p: Índice de Serviciabilidad inicial

IRI: Índice de Regularidad Internacional (m/km)

La tabla siguiente muestra los índices de serviciabilidad inicial establecidos para los diferentes tramos del proyecto, y su equivalencia a valores de Índice de Serviciabilidad Inicial (IRI) en mt/ km.

Tramo	PSI	IRI (mt / km)
Boulevard Diego de Holguín tramo I:	3.64	2.5
Intercambiadores (Trompeta 1 y 2) y Redondeles (Redondel 1 y 2).	3.64	2.5

El índice de serviciabilidad final será de 2.5

III. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE SOPORTE PARA EL DISEÑO

a) MÓDULO DE RESILIENCIA EFECTIVO.

Actualmente los métodos utilizados más comúnmente para el diseño de pavimentos, como el método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) consideran que la propiedad fundamental para caracterizar los materiales que constituyen la subrasante de un pavimento de una carretera es el parámetro denominado *Módulo de Resiliencia*.

Cuando los materiales que conforman la sección estructural de un pavimento se ven sometidos a un gran número de aplicaciones de carga, es decir son afectados por esfuerzos de fatiga, debido a repetidas sollicitaciones, estos materiales empiezan a fracturarse o bien a acumular deformaciones dependiendo de su rigidez inicial, y esta es la principal causa del deterioro observado en la superficie de los pavimentos. De hecho, podemos mencionar que dichos agrietamientos y deformaciones aparecen para esfuerzos muy por debajo de los que se supone debería resistir el material por si mismo.

Debido al paso de los vehículos por la superficie de rodamiento de un pavimento, esta empieza a distribuir los esfuerzos hacia las capas inferiores, las cuales, por esta razón se ven sujetas a esfuerzos cíclicos de compresión σ_c y luego de tensión σ_t los cuales van provocando deformaciones en toda la estructura del pavimento.

No obstante a lo anterior, la Guía de Diseño AASHTO (1993), permite calcular El Modulo de Resiliencia de la sub-rasante a partir del CBR de Diseño obtenido de la Campaña Geotécnica. Para este proyecto, el Mr se ha calculado bajo la siguiente correlación:

- $Mr^2 = 2,555(CBR)^{0.64}$; (Ver Anexos)
Mr en psi.

² TRL: Transport Research Laboratory; y 2002 Design Guide (Pavement Analysis and Design System)

Este es uno de los parámetros básicos que servirán para calcular el Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (K)

Para el diseño de espesores de la estructura de pavimento se considerará un CBR de diseño de 20 %; condición que debe ser asegurada, durante la ejecución de la obra en campo.

IV. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO.

Las consideraciones de diseño del método de la Guía AASHTO para pavimentos rígidos son las siguientes:

El comportamiento del pavimento debe ser:

- Funcional
- Estructural

El primero de ellos se refiere a la seguridad y comodidad con que el pavimento sirve al usuario, es decir la comodidad con que el usuario circula y la seguridad que le ofrece la superficie de rodamiento.

El comportamiento estructural se refiere a sus características físicas que muestra como: agrietamientos, alisamientos, fisuramientos por fatiga, entre otros.

a) COEFICIENTE DE DRENAJE.

Un buen diseño de pavimento persigue que la base, sub-base y subrasante, estén lo más protegidos de la acción del agua; para ello existen tres maneras de lograr controlar o reducir los problemas causados por el agua.

1. Sellar correctamente el pavimento y no permitir la entrada del agua a la distintas capas.

El diseño propuesto provee lo siguiente:

- Materiales apropiados y técnicas especiales para sellado de juntas.
 - Membranas impermeables: sub-base imprimada con emulsión asfáltica.
 - Uso de capa impermeable: sub-base de suelo cemento imprimada con emulsión asfáltica.
2. Usar materiales que sean insensibles a la humedad y que no provoquen daños relacionados con la humedad.
Para ello el presente diseño considera:
 - Materiales estabilizados con cemento y sub-base imprimada con emulsión asfáltica.
 3. Proveer un drenaje adecuado para remover efectivamente todo tipo de humedad que pueda afectar el pavimento.

Los valores de Coeficiente de Drenaje dependen además de la calidad del drenaje que tendrá el proyecto y del porcentaje de tiempo durante el año, en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Es por ello que para el presente diseño se eligió una subbase estabilizada con suelo cemento, protegida con un imprimado asfáltico, este tipo de sub-bases no erosionables son muy efectivas en minimizar problemas de bombeo y fallas de las losas, minimizando además la infiltración de agua en la subrasante.

Otro aspecto importante de mencionar es que el suelo cemento por su buen desempeño a esfuerzos de compresión, y su resistencia a la humedad, no perdiendo resistencia incluso cuando se alcanzan grados de saturación, es un material de mejor calidad que las bases granulares convencionales consideradas en la guía AASTHO para el análisis de coeficiente de drenaje.

Por otra parte, la estación lluviosa en nuestro país se caracteriza por lluvias convectivas (de alta intensidad y corta duración). Anualmente condiciones permanentes de lluvia durante un período determinado (temporal), que pueden hacer llegar la estructura de pavimento a límites próximos o alcanzar la saturación, serían aproximadamente un 4 % del período de servicio del proyecto, calculado según la siguiente fórmula:

$$T_{\text{saturación}} = \text{No de días de lluvia ininterrumpida} / 365.$$

Se han considerado tres temporales por año de cinco días c/u = 15 días.

En la práctica esta condición por el tipo de subrasante y el tipo de subbase nunca llegaría a presentarse; sin embargo conservadoramente se ha tomado en cuenta.

La guía AASHTO 93 recomienda los siguientes coeficientes de drenaje Cd, para estructuras de Concreto Hidráulico:

Calidad del drenaje	P = % del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO 1,993

Tabla 2. Coeficientes de Drenaje, Cd, Recomendados para Pavimentos Rígidos.

Tomando en cuenta todo lo anterior se considera:

- Tipo de Drenaje (Excelente)
- Subrasante (Capacidad de Soporte en condiciones saturadas, CBR >= 20 %)
- Sub-base (estabilizada con cemento imprimada con asfalto; no susceptible a pérdida de soporte al saturarse)

- Tiempo en que el pavimento estará expuesto a niveles próximos a la saturación (aproximadamente 4 %).

Haciendo uso de la tabla 2 se establece el valor de $C_d = 1.15$, que es el menor valor para las condiciones antes mencionadas.

Finalmente es importante destacar que al no existir nivel freático superficial y con la subbase estabilizada con cemento imprimada con asfalto, la posibilidad de que la humedad llegue a la subrasante, es prácticamente nula.

b) TRANSFERENCIA DE CARGA (J).

El Coeficiente de Transferencia de Carga, J, es el factor usado en el Diseño de Pavimento rígido para medir la habilidad de la estructura de pavimento para distribuir las cargas en las discontinuidades (juntas).

En la tabla siguiente se tabulan los valores recomendados por AASHTO y modificados y actualizados por la Asociación del Cemento Pórtland, PCA, como se muestra a continuación:

E 18's (millions)	Doweled & Mesh Reinforced		Aggregate Interlock		Continuously Reinforced		Pavment Class
	Edge	Support	Edge	Support	Edge	Support	
	No	Yes	No	Yes	No	Yes	
Up to 0.30	3.2	2.7	3.2	2.8			Local Streets & Roads
0.30 to 1	3.2	2.7	3.4	3.0			
1 to 3	3.2	2.7	3.6	3.1			
3 to 10	3.2	2.7	3.8	3.2	2.9	2.5	Arterials and Highways
10 to 30	3.2	2.7	4.1	3.4	3.0	2.6	
Over 30	3.2	2.7	4.3	3.6	3.1	2.6	

Por las características propias del proyecto, en función de las condiciones de confinamiento lateral, número de ejes equivalentes, y tipo de transferencia de carga (pasajuntas) el valor considerado será de 2.7.

c) PÉRDIDA DE SOPORTE

Este factor, LS, por sus siglas en Inglés, es incluido en el diseño de pavimento rígido como una medida de la pérdida potencial de soporte por erosión, en la sub-base y movimientos diferenciales verticales del suelo y es usado para corregir el valor K efectivo basado en la erosión potencial del material de base y sub-base.

El valor de pérdida de soporte ha sido también desarrollado para modelar los efectos de las condiciones de drenaje, en el comportamiento del pavimento. Un drenaje adecuado garantiza que no se produzca una pérdida de soporte bajo el pavimento.

Además, la ecuación de diseño AASHTO, considera las fallas en las estructuras de pavimentos debido a pérdida de soporte, por lo cual se deberá tener mucha cautela al aplicar valores de pérdida de soporte mayores a cero.

La determinación del valor de pérdida de soporte de la sub-rasante se lleva a cabo mediante un ensayo que considera su condición saturada, para nuestro caso tiene un comportamiento satisfactorio (CBR = 20 %).

El material a utilizarse en la Construcción de la Sub-base será suelo cemento imprimada con asfalto y el proyecto tendrá un sistema adecuado de drenaje, por consiguiente se ha considerado un valor de pérdida de soporte igual a cero.

d) MODULO EFECTIVO DE REACCIÓN DE LA SUB-RASANTE (k).

Este valor esta directamente relacionado al Modulo de Resiliencia de la Sub-rasante (M_r); y es calculado a partir de:

- CBR de Diseño y M_r de Diseño (Establecido en la sección III. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE SOPORTE PARA EL DISEÑO)
- Espesor y Modulo de Elasticidad de la sub-base a colocar

- Perdida de soporte de la sub-rasante (Ver sección IV. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DEL PAVIMENTO).
- Profundidad de lecho rocoso

e) CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO

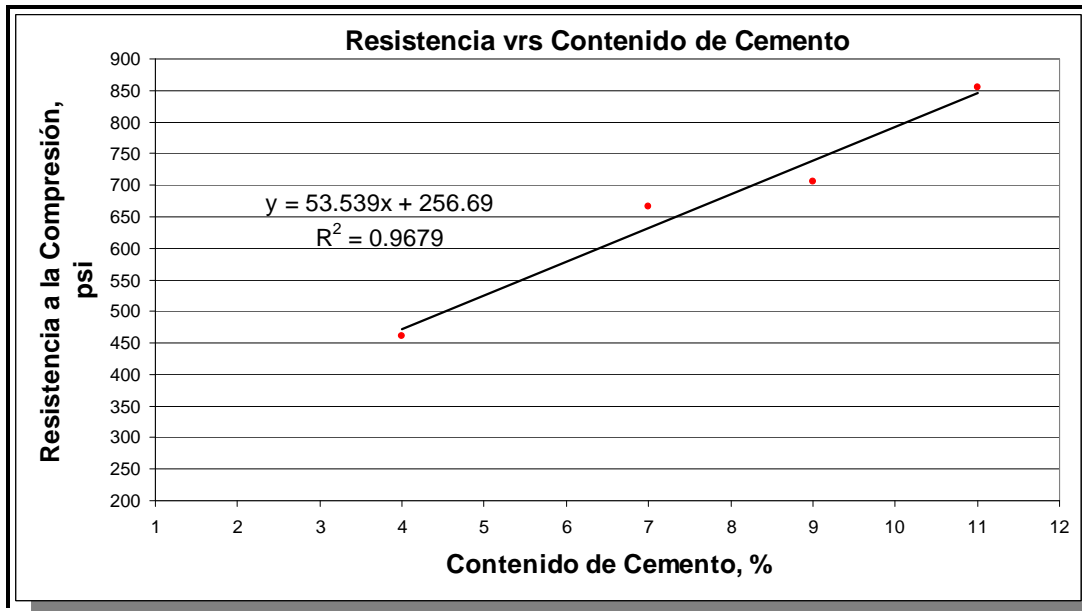
Modulo de Elasticidad de la Sub-Base

Según información proporcionada por el Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), el valor de Modulo de Elasticidad Dinámico del suelo cemento para un contenido del 4% es del orden de 1,300,000 psi, que corresponde a una resistencia a la compresión sin confinar de 32 Kg/cm².

Modulo de Elasticidad Dinámico de Muestras de Suelo Cemento al 4 %.

Centro de Investigaciones ISCYC											
VELOCIDAD DE PULSO A TRAVEZ DEL CONCRETO ASTM C-597 V METER (PULSO ULTRASONICO)											
PROYECTO :								REF. _____			
TIPO DE ESPECIMEN :		Cilindro 4" x 8"									
TIPO DE MATERIAL :		Suelo - Cemento (Arena Limosa)									
EDAD:		7 días									
FECHA DE ENSAYO:											
LABORATORISTAS:								REVISO: _____			
HOJA DE LABORATORIO											
Especimen No.	Masa lb	Volumen pie ³	Peso Volumetrico (lb/pie ³)	Distancia entre transductores, (pulg)	DISTANCIA			TIEMPO (Micro seg)	Velocidad (ft/s)	Módulo de Elasticidad Dinámico (E) psi	Poisson Dinamico μ
					pie	m	km				
1	6.549	0.05772	113.5	8.03	0.67	0.204	--	89	7501	1.377E+06	0.060
2	6.492	0.05772	112.5	8.03	0.67	0.204	--	91	7321	1.300E+06	0.060
3	6.516	0.05772	112.9	8.03	0.67	0.204	--	94	7118	1.231E+06	0.060
Observaciones: Contenido de Cemento = 4%											

Resistencia a la Compresión en Especímenes de Suelo Cemento.



Fuente: Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC)

Para el cálculo de espesores, para el presente proyecto se considera un valor de 700,000 psi para el Módulo de Elasticidad Estático de la sub-base de suelo cemento a utilizar, y que deben tener una resistencia a la compresión sin confinar de los especímenes ensayados a los 7 días de 28 kg/cm².

f) MODULO DE RUPTURA DEL CONCRETO

El valor que se utilizara corresponde a la resistencia a la flexión del Concreto y deberá ser el valor medio obtenido a los 28 días utilizando una viga simple con carga en los tercios del claro según AASHTO T97 / ASTM C78. Para el caso del proyecto, se usara un modulo de ruptura igual a 45 kg/cm² (640 psi).

g) MODULO DE ELASTICIDAD, Es.

El Módulo de Elasticidad para cualquier tipo de material puede ser estimado usando la correlación recomendada por el Instituto Americano del Concreto, ACI para Concreto de Cemento Pórtland de Peso Normal.

$$E_s = 57,000(f'c)^{0.5}$$

Donde:

E_s = Modulo de Elasticidad de Concreto (en psi) y

$f'c$ = Resistencia a la Compresión de Diseño, como se determina en AASHTO T22, T140 o ASTM C 39.

No obstante, la Guía AASHTO recomienda estimar E_s , en función del Modulo de Ruptura, de acuerdo a lo siguiente:

<i>Modulo de Elasticidad (PSI)</i>	<i>Modulo de Ruptura, (PSI)</i>
3,400,000	500
3,700,000	550
4,100,000	600
4,400,000	650
4,700,000	700
5,100,000	750
5,400.000	800

En vista de que el Valor del Módulo de Ruptura considerado es 640 psi y retomando dichas recomendaciones, el valor obtenido es de $E_c = 4,320,000$ psi.

V. MEMORIA DE CALCULO.

El cálculo de espesores se llevo a cabo mediante la utilización del Software Pavement Design and Analysis System (DARwin 3.01); presentándose a continuación los resultados obtenidos.

1) BOULEVARD DIEGO DE HOLGUÍN TRAMO I.

Como se mencionó con anterioridad los valores de ESAL para los diferentes tramos en el Blvd. Diego de Holguín Tramo I, son inferiores al estipulado en las condiciones técnicas del proyecto, por lo cual el diseño se realizara para el ESAL mínimo especificado de 49.7 millones.

A continuación se presentas los resultados de espesores:

Calculo de Modulo de Reacción de la Sub-rasante:

The screenshot displays the 'Layer Information' dialog box in the DARwin 3.01 software. It contains a table for input data and several input fields for layer properties. Red dashed arrows point from specific fields to labels: 'Datos de Entrada' points to the table, and 'Resultado' points to the 'Effective Modulus of Subgrade Reaction' field.

Period	Seasons	Roadbed Soil Resilient Modulus (psi)	Base Elastic Modulus (psi)
1	1	17,380	700,000

Layer Information

Base Type
25 de SC y CBR de Subrasante= 20%

Base Thickness: 9.84 in

Depth to Bedrock: 20 ft

Projected Slab Thickness: 10.63 in

Loss of Support: 0

Effective Modulus of Subgrade Reaction: 1,806 psi/in

Buttons: OK, Cancel, Clear

Calculo Espesores de Estructura de Pavimento:

Description:		
Espesores de Pavimento Blvd. Diego de Holguín Tramo I.		
18-kip ESALs Over Initial Performance Period	49,700,000	← Datos de Entrada
Initial Serviceability	3.64	← Datos de Entrada
Terminal Serviceability	2.5	← Datos de Entrada
28-day Mean PCC Modulus of Rupture	640	psi ← Datos de Entrada
28-day Mean Elastic Modulus of Slab	4,320,000	psi ← Datos de Entrada
Mean Effective k-value	1,806	psi/in ← Datos de Entrada
Reliability Level (%)	90	← Datos de Entrada
Overall Standard Deviation	0.35	← Datos de Entrada
Load Transfer Coefficient, J	2.7	← Datos de Entrada
Overall Drainage Coefficient, Cd	1.15	← Datos de Entrada
Calculated Design Thickness	10.04	in ← Resultado

Estructura de Pavimento Boulevard Diego de Holguín tramo I:

25.5 Cm de Concreto Hidráulico MR = 45 kg / cm ²
25 Cm de Suelo cemento. q _u (7 días) = 28 kg/cm ²
Sub-rasante CBR=20 %

2) ACCESOS INTERCAMBIADOR 1.

Calculo de Modulo de Reacción de la Sub-rasante:

The screenshot shows a software window with a table and a form. The table contains input data for a calculation. The form below the table contains parameters for layer information and a calculated result. Red dashed arrows point from the 'Datos de Entrada' box to the input fields in the table and form, and from the 'Resultado' box to the calculated value.

Period	Seasons	Roadbed Soil Resilient Modulus (psi)	Base Elastic Modulus (psi)
1	1	17,380	700,000

Layer Information

Base Type
20 cm de SC y CBR de Subrasante= 20%

Base Thickness: 8 in

Depth to Bedrock: 20 ft

Projected Slab Thickness: 8 in

Loss of Support: 0

Effective Modulus of Subgrade Reaction: 1,603 psi/in

Resultado

OK Cancel Clear

Calculo Espesores de Estructura de Pavimento:

Description:					
Intercambiadores 1.					
18-kip ESALs Over Initial Performance Period	28,054,107	...	←	Datos de Entrada	
Initial Serviceability	3.64				
Terminal Serviceability	2.5				
28-day Mean PCC Modulus of Rupture	640	psi			
28-day Mean Elastic Modulus of Slab	4,320,000	psi			
Mean Effective k-value	1.603	...			psi/in
Reliability Level (%)	90				
Overall Standard Deviation	0.35				
Load Transfer Coefficient, J	2.7				
Overall Drainage Coefficient, Cd	1.15				
Calculated Design Thickness	9.07	in	←	Resultado	

Estructura de Pavimento Accesos Intercambiador 1.

23.0 Cm de Concreto Hidráulico MR = 45 kg / cm ²
20 Cm de Suelo cemento. q _u (7 días) = 28 kg/cm ²
Sub-rasante CBR=20 %

3) REDONDELES 1, y 2.

Calculo de Modulo de Reacción de la Sub-rasante:

The dialog box contains the following data:

Period	Seasons	Roadbed Soil Resilient Modulus (psi)	Base Elastic Modulus (psi)
1	1	17,380	700,000

Layer Information

Base Type: 20 cm de SC y CBR de Subrasante= 20%

Base Thickness: 8 in

Depth to Bedrock: 20 ft

Projected Slab Thickness: 8 in

Loss of Support: 0

Effective Modulus of Subgrade Reaction: 1,603 psi/in

Buttons: OK, Cancel, Clear

Annotations: Red dashed arrows point from the 'Datos de Entrada' label to the input fields (Base Type, Base Thickness, Depth to Bedrock, Projected Slab Thickness, Loss of Support) and from the 'Resultado' label to the Effective Modulus of Subgrade Reaction field.

Calculo Espesores de Estructura de Pavimento:

Description:		
Espesores de Pavimento Redondeles 1 y 2		
18-kip ESALs Over Initial Performance Period	18,131,122	←
Initial Serviceability	3.64	←
Terminal Serviceability	2.5	←
28-day Mean PCC Modulus of Rupture	640	psi ←
28-day Mean Elastic Modulus of Slab	4,320,000	psi ←
Mean Effective k-value	1,603	psi/in ←
Reliability Level (%)	90	←
Overall Standard Deviation	0.35	←
Load Transfer Coefficient, J	2.7	←
Overall Drainage Coefficient, Cd	1.15	←
Calculated Design Thickness	8.17	in →

Datos de Entrada

Resultado

Estructura de Pavimento Redondeles 1 y 2.

21.0 Cm de Concreto Hidráulico MR = 45 kg / cm ²
20 Cm de Suelo cemento. q _u (7 días) = 28 kg/cm ²
Sub-rasante CBR=20 %

4) RAMPAS INTERCAMBIADOR 2.

Calculo de Modulo de Reacción de la Sub-rasante:

Period	Seasons	Roadbed Soil Resilient Modulus (psi)	Base Elastic Modulus (psi)
1	1	17,380	700,000

Layer Information

Base Type
20 de SC y CBR de Subrasante= 20%

Base Thickness: 8 in

Depth to Bedrock: 20 ft

Projected Slab Thickness: 8 in

Loss of Support: 0

Effective Modulus of Subgrade Reaction: 1,603 psi/in

OK Cancel Clear

Datos de Entrada

Resultado

Calculo Espesores de Estructura de Pavimento:

Description:			
Espesores de Pavimento Rampas Intercambiador 2.			
18-kip ESALs Over Initial Performance Period	23,645,524	...	← Datos de Entrada
Initial Serviceability	3.64		
Terminal Serviceability	2.5		
28-day Mean PCC Modulus of Rupture	640	psi	
28-day Mean Elastic Modulus of Slab	4,320,000	psi	
Mean Effective k-value	1,603	... psi/in	
Reliability Level (%)	90		
Overall Standard Deviation	0.35		
Load Transfer Coefficient, J	2.7		
Overall Drainage Coefficient, Cd	1.15		
Calculated Design Thickness	8.72	in	→ Resultado

Estructura de Pavimento Rampas Intercambiador 2.

La estructura recomendada es la siguiente:

22 Cm de Concreto Hidráulico MR = 45 kg / cm ²
20 Cm de Suelo cemento. q _u (7 días) = 28 kg/cm ²
Sub-rasante CBR=20 %

5) DISEÑO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO EN HOMBROS.

Como lo define la AASHTO, el hombro de una autopista o carretera, es “la porción de la vía contigua a los carriles principales; destinados a acomodar los vehículos que se estacionan al costado de la carretera en casos de emergencias, y para proporcionar confinamiento lateral a la base y carpeta de rodadura de la estructura principal de pavimento”.

Existe una variedad de practicas relacionadas con el diseño de hombros; pero no existe una guía que unifique criterios en este tema . El diseño estructural de hombros ha sido desarrollado mayormente basado en la experiencia más que en métodos racionales. Sin embargo, con el incremento de vehículos como de velocidades de operación en las vías, la necesidad de hombros adecuados ha incrementado considerablemente.

Los factores que afectan el diseño de hombros son similares a los que afectan el diseño de los carriles principales de circulación. La diferencia principal es el volumen de trafico; el volumen de trafico que transita sobre los hombros es considerablemente menor al que circula por los carriles principales; recomendándose para su predicción considerar³ aproximadamente el 10% del trafico de diseño, ya que los hombros únicamente prestarán servicio de estacionamiento de emergencia.

Al calcular los espesores de hombros con las predicciones de trafico anteriormente planteadas, los espesores resultantes son mucho menores que los espesores en los carriles principales. Sin embargo, existen factores constructivos que también deben ser tomados en cuenta al momento de diseñar los hombros en una carretera.

Para el presente proyecto se recomienda que los hombros sean del mismo espesor que los carriles principales para permitir que las barras de amarre puedan ser colocadas al centro de las losas y garantizar un buen comportamiento de la estructura de

³ Pavement Analysis and Design, Yang H. Huang

pavimento. El Módulo de Ruptura del Concreto Hidráulico a colocar en los hombros será de 28 kg/cm². y/o contenido mínimo de cemento de 285 kg/m³.

VI. ASPECTOS COMPLEMENTARIOS AL DISEÑO.

En el presente proyecto, la modulación de losas, diseño de pasajuntas y barras de amarre, ha sido realizado adoptando las recomendaciones de la PCA⁴ y la GUIA AASHTO 2002, ya que esta GUIA, en la parte 3.2 establece que los métodos tradicionales (por ejemplo la GUIA AASHTO 1993) son inadecuados para modelar esfuerzos y deformaciones de las barras de amarre, y en la sección 3.4.47 recomienda los espesores de diámetros a usar en pasajuntas. (Ver anexos)

El diseño de barras de amarre, barras pasajuntas y la modulación de losas, a pesar de no estar directamente en el rubro de espesores, son aspectos complementarios al diseño de un pavimento hidráulico que deben ser considerados para garantizar el buen comportamiento de la estructura.

Las barras de amarre se colocan a lo largo de la junta longitudinal para amarrar dos losas, con la finalidad de que se mantengan juntas y asegurar que la carga se transfiera a través de la junta.

Las pasajuntas se usan en las juntas transversales para transferir las cargas a las losas adyacentes. El esfuerzo y la flexión en la junta son mucho mas pequeños cuando las cargas son soportadas por dos losas.

El tamaño de las pasajuntas depende del espesor de la losa. La tabla 2.6-1 muestra el diámetro y longitud de las pasajuntas para diferentes espesores de losa como lo recomienda la PCA.

⁴ PCA: Pavement Concrete Association.

Tabla 2.6-2 Diámetros y longitudes recomendadas en pasajuntas.

Espesor de Losa		Barras Pasajuntas					
		Diámetro		Longitud		Separación	
cm	in	mm	in	cm	in	cm	in
13 a 15	5 a 6	19	3/4	41	16	30	12
15 a 20	6 a 8	25	1	46	18	30	12
20 a 30	8 a 12	32	1 1/4	46	18	30	12
30 a 43	12 a 17	38	1 1/2	51	20	38	15
43 a 50	17 a 20	45	1 3/4	56	22	46	18

La modulación de las losas se refiere a definir la forma que tendrán los tableros de losas del pavimento. Dicha modelación va a estar regida por la separación de las juntas transversales que a su vez depende del espesor del pavimento.

El dimensionamiento de los tableros para inducir el agrietamiento controlado bajo los cortes de losas, fue calculado bajo la siguiente fórmula:

$$S_{JT} = (21 \text{ a } 24) * D$$

Donde:

S_{JT} = Separación de Juntas Transversales (< = 5.5 mt)

D = Espesor de Pavimento

Se utilizó 21*D, por tratarse de una subbase estabilizada con cemento.

La forma ideal de un tablero de losa es la cuadrada, sin embargo no siempre es posible y conveniente tener losas perfectamente cuadradas, por lo que en el mayor de los casos se considera un cierto grado de rectangularidad.

La relación entre largo y ancho de un tablero de losas no deberá estar fuera de los límites siguientes: 0.71 a 1.40.

A continuación se presentan los resultados del Diseño de barras de amarre, barras pasajuntas y la modulación de losas para el presente proyecto:

1) BOULEVARD DIEGO DE HOLGUÍN TRAMO I.

a) Barras de Amarre.

Las barras de amarre a utilizar serán de 1/2 pulg. de diámetro por 36 pulg. (92 cm.) de longitud y una separación de 75 cm.

b) Pasajuntas.

Las pasajuntas serán de 1 1/4 pulg. de diámetro por 46 cm. de longitud, a una separación de 12 pulg. (30 cm.).

c) Modulación de Losas.

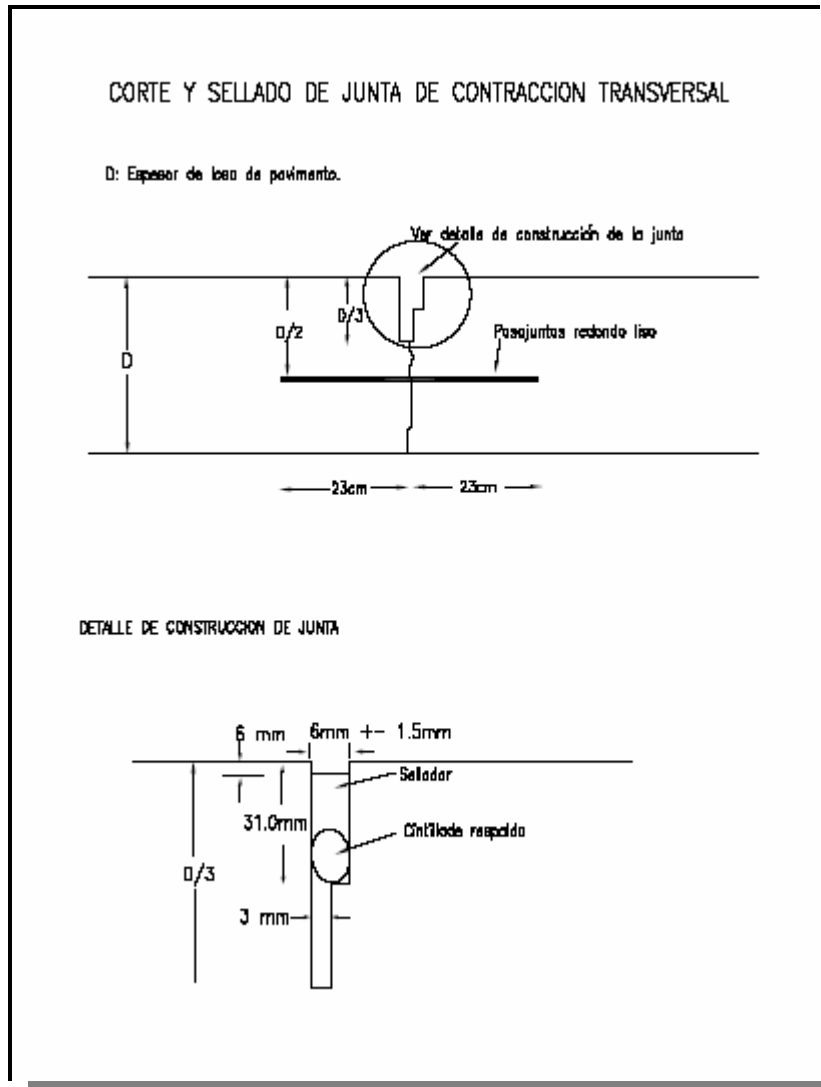
De acuerdo a los espesores de pavimento hidráulico resultantes, las dimensiones de tableros de losas para inducir el agrietamiento controlado bajo sus cortes, será de 4.5 m de largo por 3.65 m. de ancho, cuya relación x/y está entre los límites permisibles de los manuales de diseño y construcción de pavimentos.

Para el caso de los hombros las dimensiones de los tableros serán de 2.25 m de largo por 2.5 m de ancho, lo que garantiza una buena distribución de cortes entre las juntas de los carriles principales y las juntas en los hombros.

El factor de forma a utilizar en los sellos de juntas será de 2, y la profundidad de la junta será de $D/3$, donde D es el espesor de la losa.

2) JUNTAS.

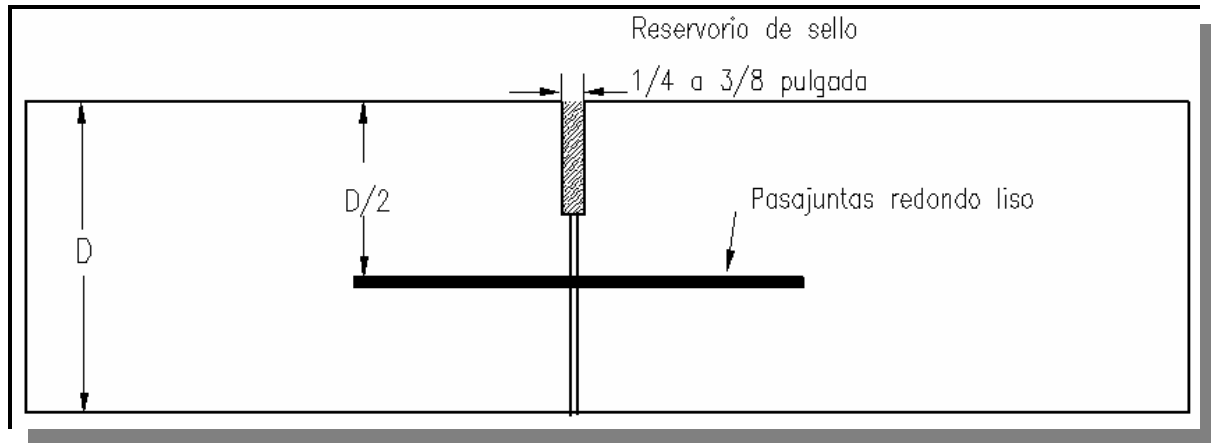
a) Junta Transversal de Contracción.



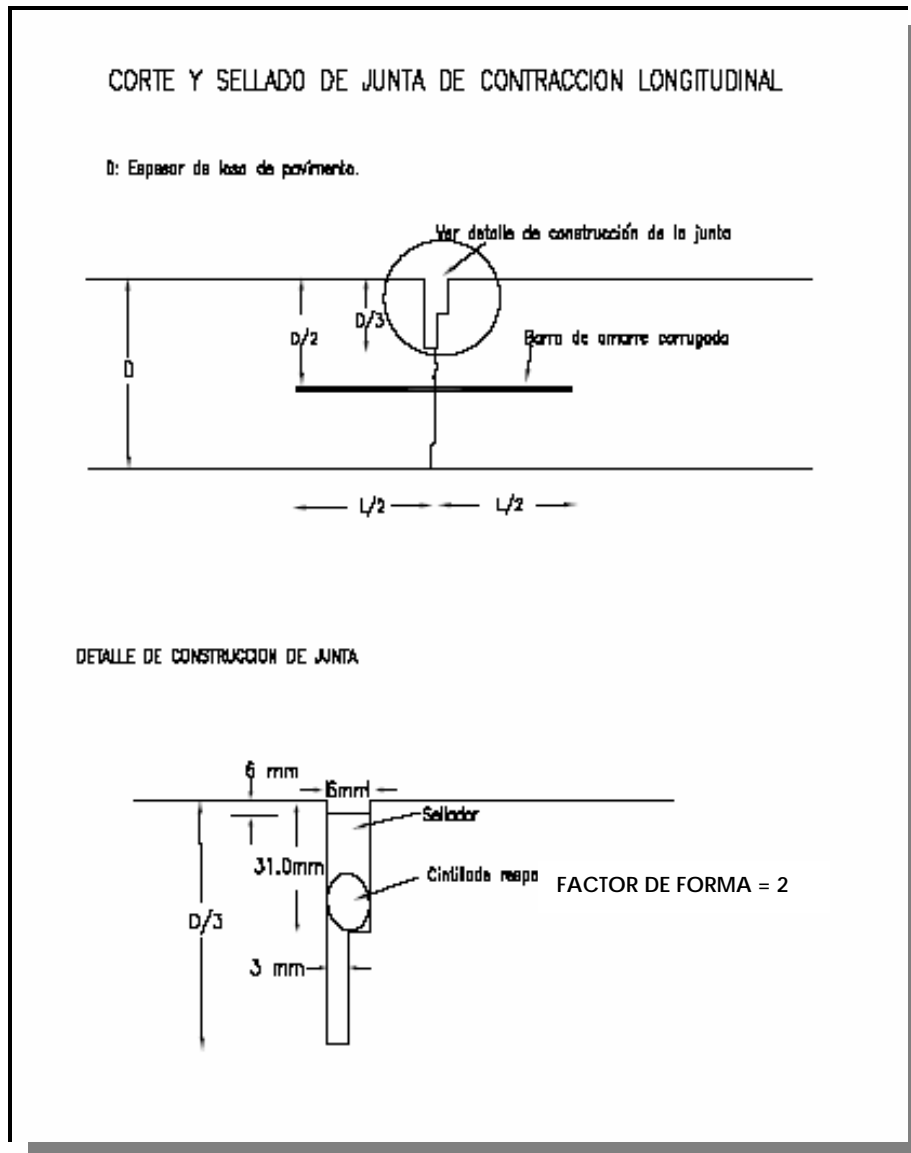
FACTOR DE FORMA = 2

Detalle de corte y sellado de junta de contracción transversal con pasajuntas.

b) Junta Transversal de Construcción.

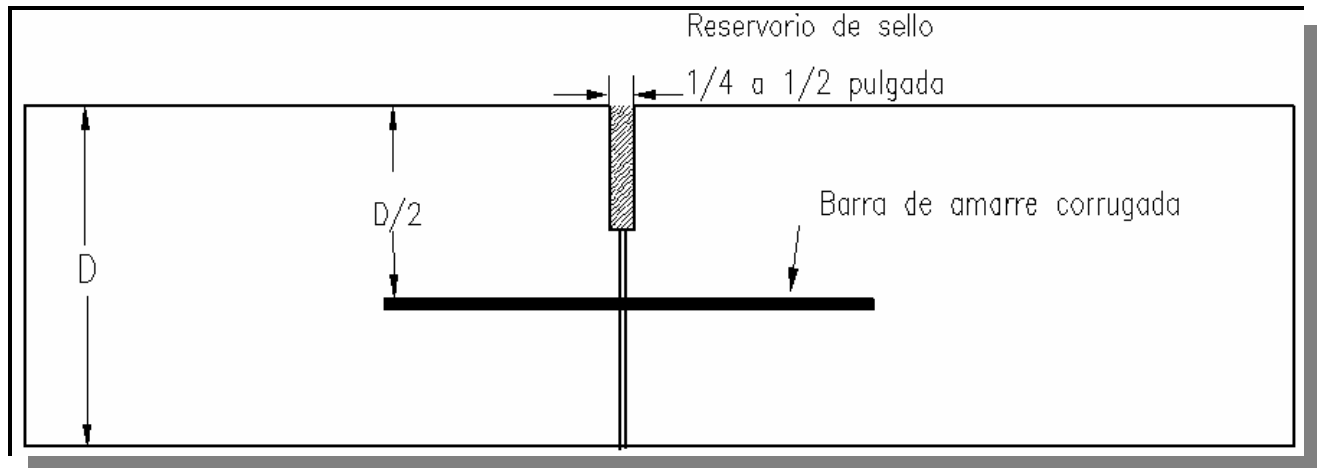


c) Junta Longitudinal de Contracción.

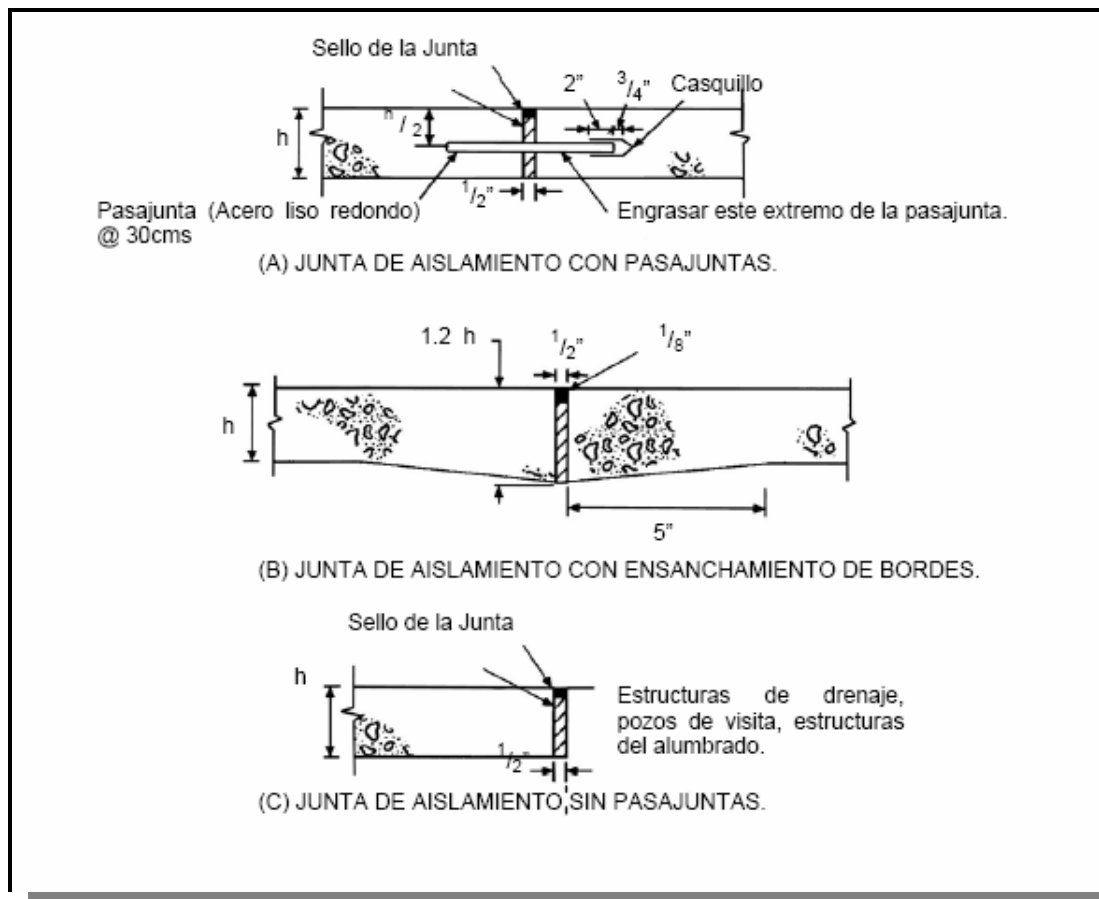


Detalle de corte y sellado de junta de contracción longitudinal con barra de amarre.

d) Junta Longitudinal de Construcción.



e) Juntas de Aislamiento.



VI. CONCLUSIONES.

- Los resultados obtenidos de la estructura diseñada satisfacen las necesidades de su demanda para el periodo de diseño desarrollado de 25 años, tal y como lo establecen las condiciones técnicas del proyecto.
- Los diferentes estratos de estructuras del pavimento definidos son acorde a la práctica de construcción del país.
- Las exigencias de serviciabilidad de la estructura diseñada queda establecida acorde a los estándares utilizados para el tipo de vía a construir, de forma que pueda satisfacer el servicio a brindar a los usuarios de ésta.

A continuación se presenta un resumen de la estructuras de pavimentos resultantes:

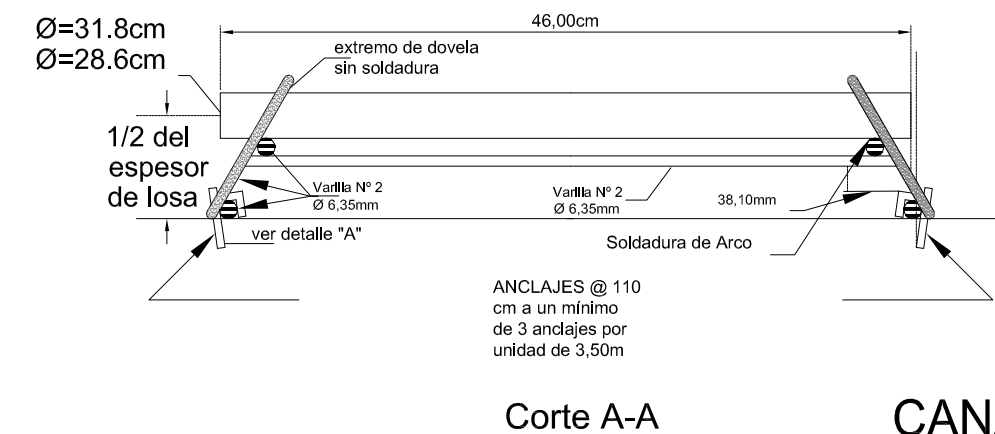
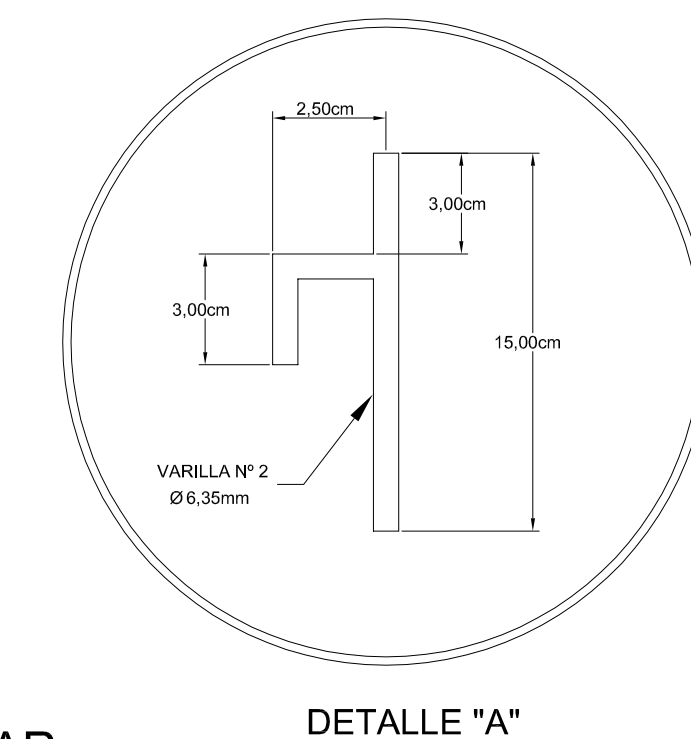
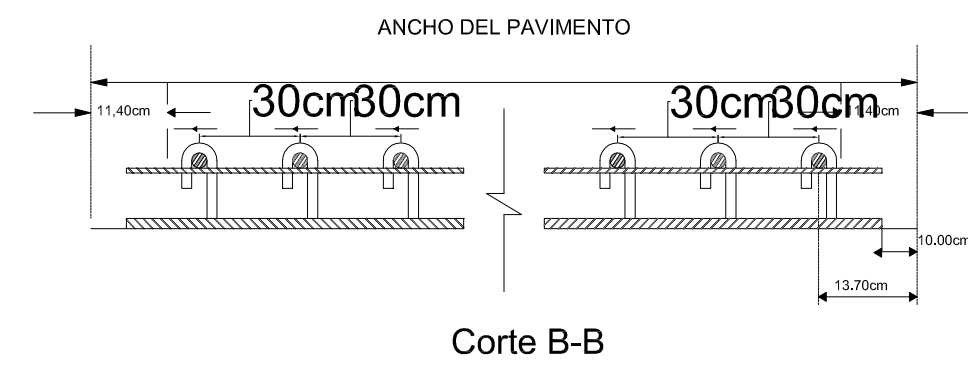
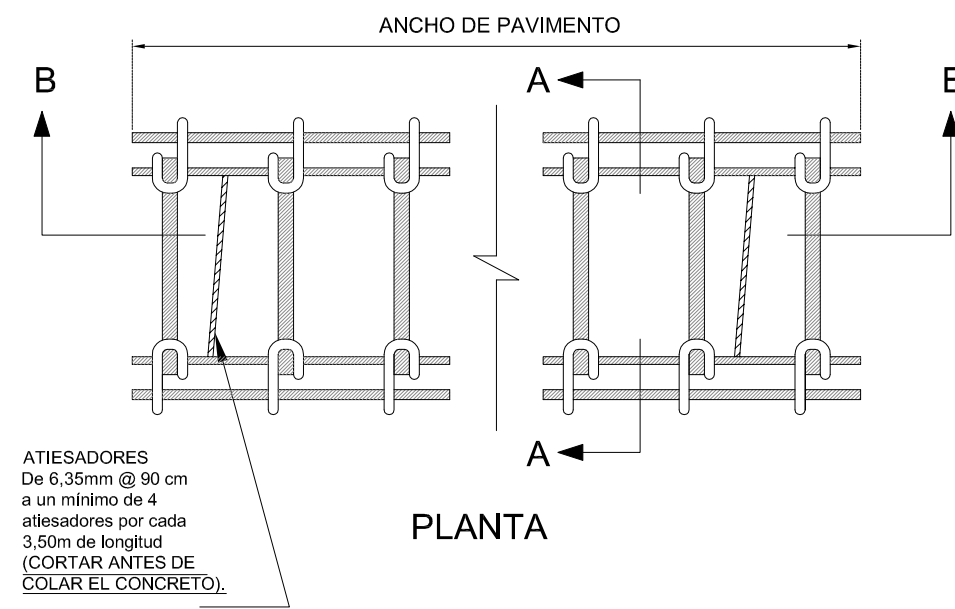
Nombre de Sección	ESAL de Diseño.	Módulo de Reacción de Subrasante (K) pci.	Espesor de Concreto Hidráulico (Cm.) (MR = 45 kg/cm ²)	Espesor de Sub-Base de Suelo Cemento. (Cm.)	Dimensiones de Losas en Carriles de Circulación (mts).	Dimensiones de Losas en Hombros (mts). (MR = 28 kg/cm ²)
Bld. Diego de Holguín (Corredor Principal) ⁵	49,700,000	1,806	25.5	25.0	3.65 x 4.5	2.5 x 2.25
Accesos Intercambiador 1	28,054,107	1,603	23.0	20.0	-	-
Redondel 1	18,131,122	1,603	21.00	20.0	-	-
Redondel 2					-	-
Rampa Intercambiador 2	23,645,524	1,603	22.00	20.0	-	-

⁵ El ESAL de Diseño utilizado para el calculo de espesores fue de 49.7 millones (ESAL mínimo especificado en las Condiciones Técnicas del Proyecto), ya que los ESALS resultantes para las diferentes secciones fueron menores.

VII. RECOMENDACIONES.

Se debe garantizar que todos los presupuestos técnicos que respaldan el diseño, en cuanto a dimensiones, tipo y calidad de materiales, deben ser cumplidos durante la construcción de la obra.

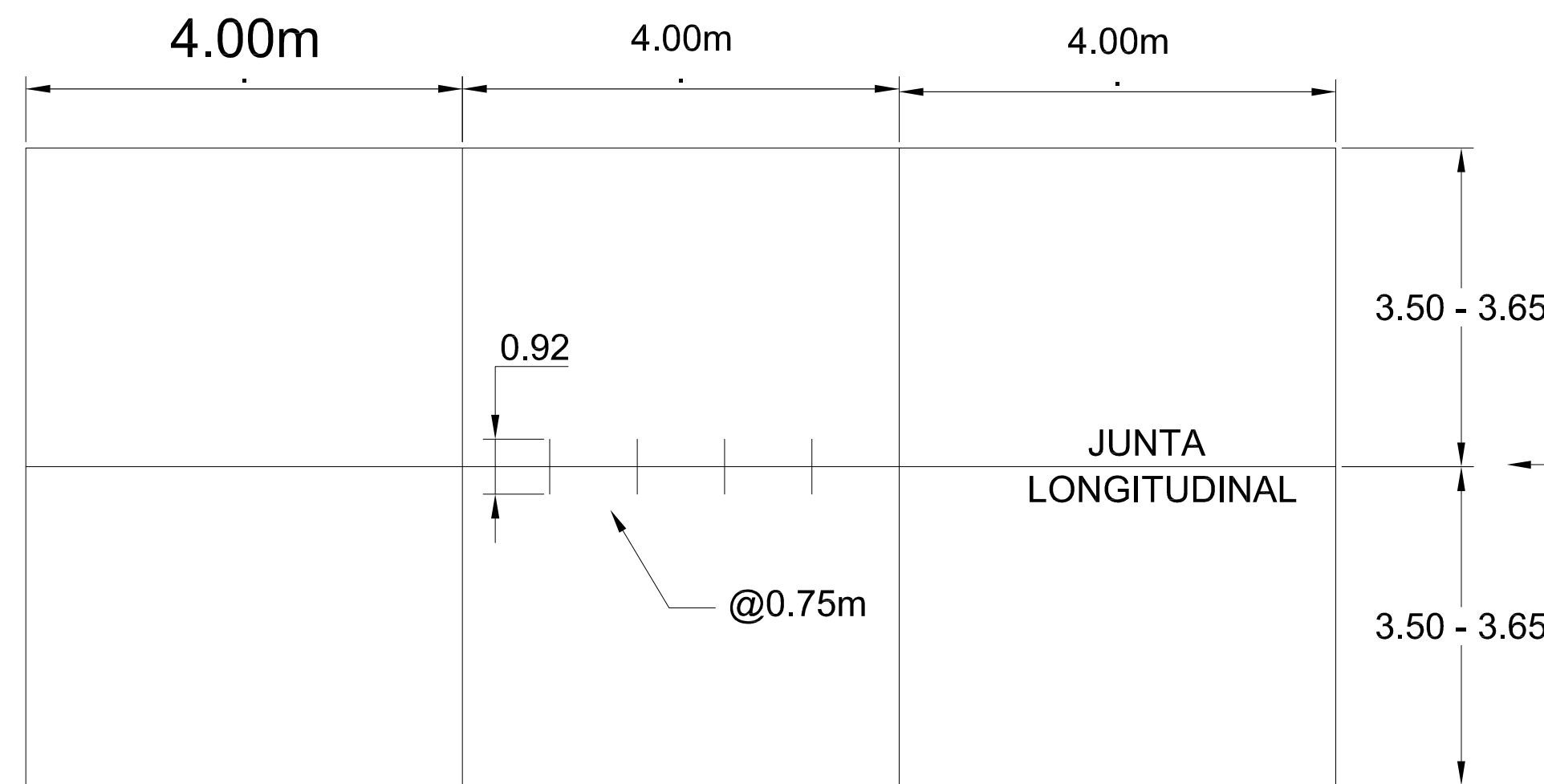
ANEXOS



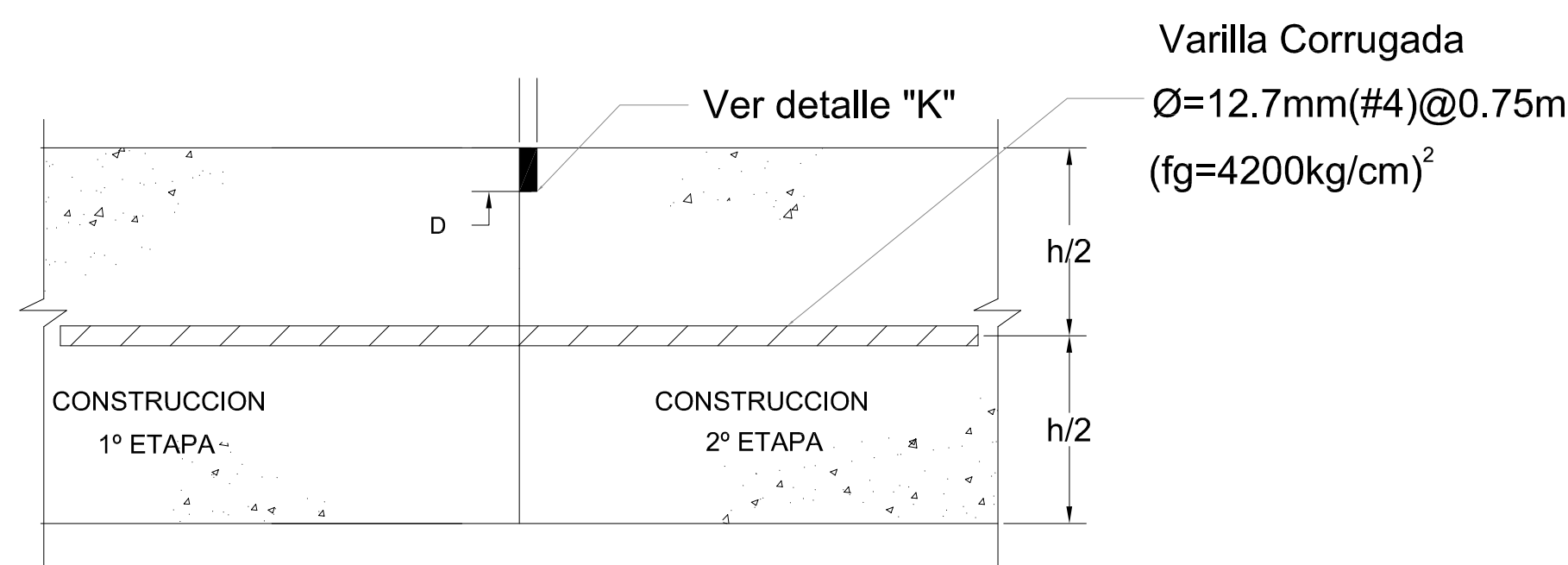
CANASTILLAS PARA FIJAR DOVELAS (PASAJUNTAS) EN JUNTAS TRANSVERSALES

VALORES TIPICOS

ESPESOR PAV. h (cm)	25.5
FACTOR DE FORMA W/D	0.75 a 1.25
ANCHO SUPERIOR W (cm)	0.9 a 1.1
PROFUND. SELLADO D (cm)	1.0 a 1.2
PROFUND. JUNTA d (cm)	6.0 a 7.0
ABERTURA JUNTA e (cm)	0.4 a 0.6



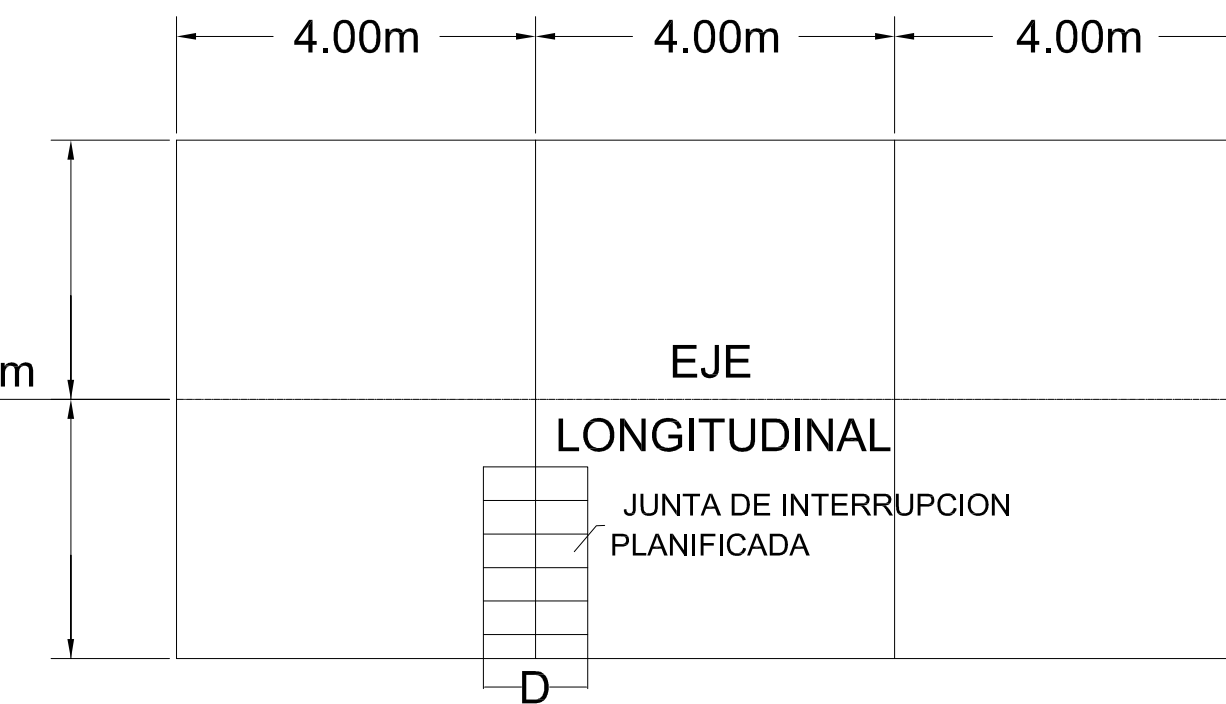
3.50m o 3.65m dependiendo de la Sección Típica a utilizar



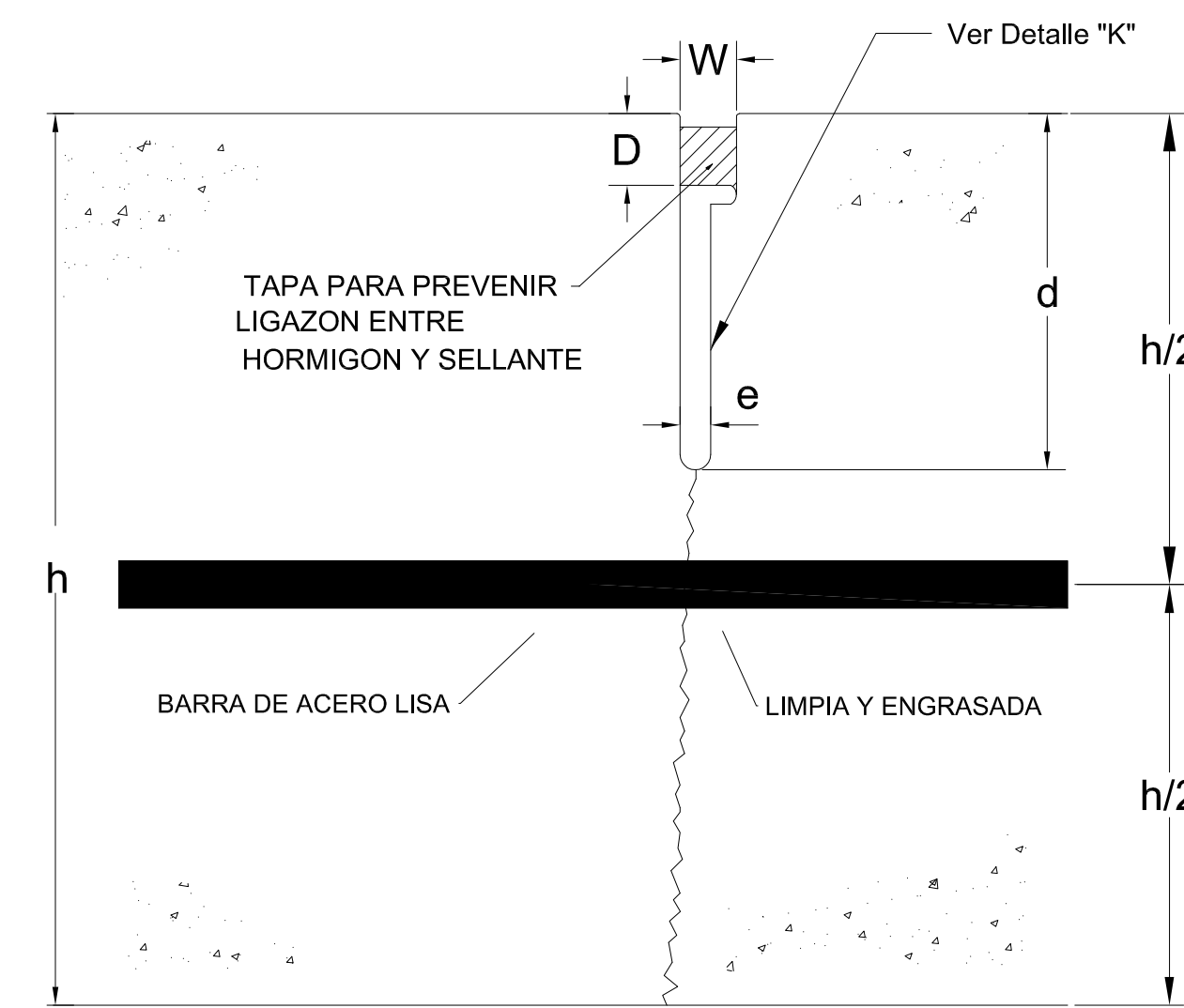
JUNTAS LONGITUDINALES

Espeor Pav. h (cm)	Diámetro Barra (mm) Corrugada	Longitud Barra (m) Corrugada	Espaciamiento X (m) Barras Corrugadas
25.5	12.7mm	0.92m	0.75m

JUNTAS NORMALES



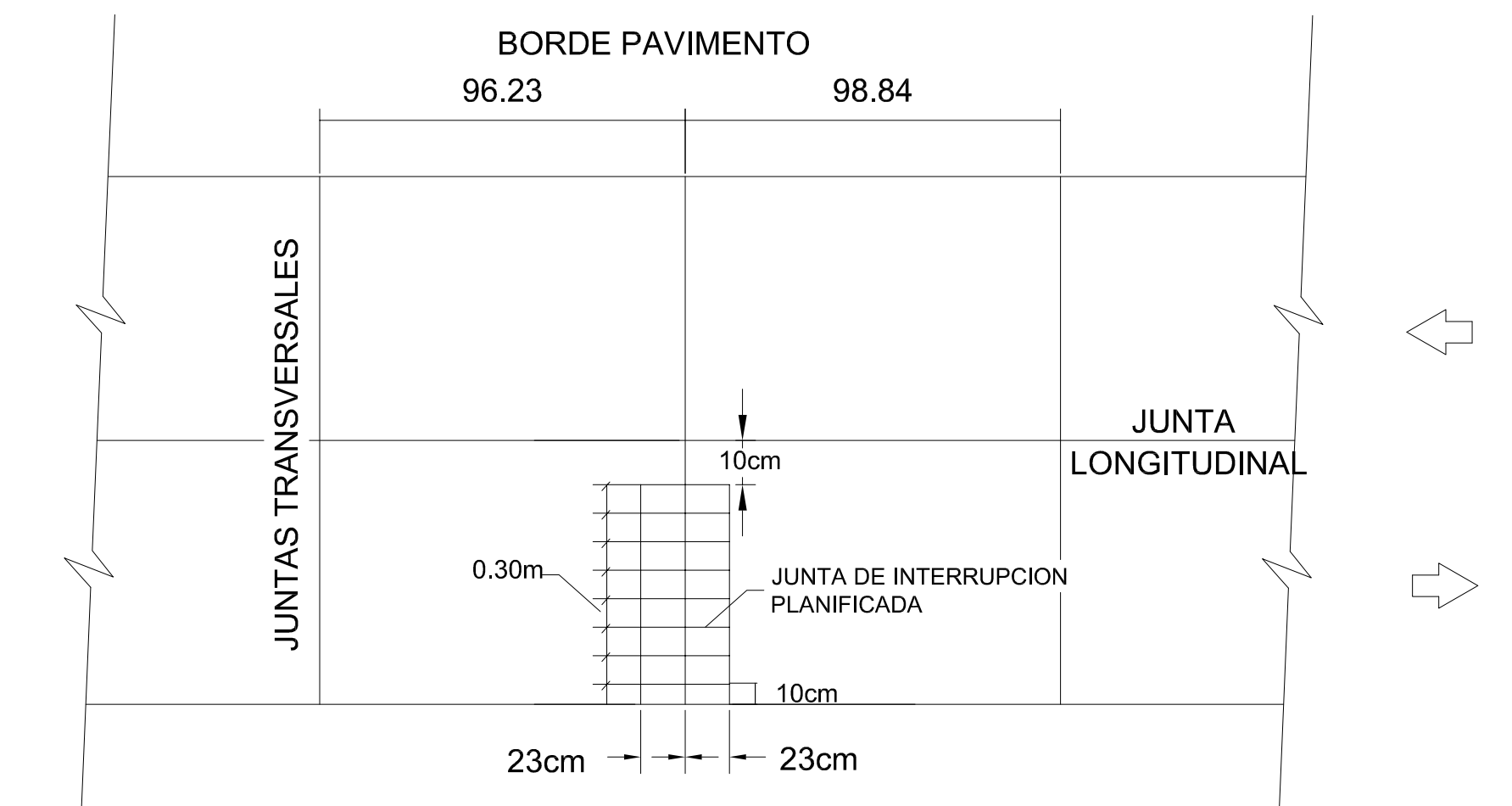
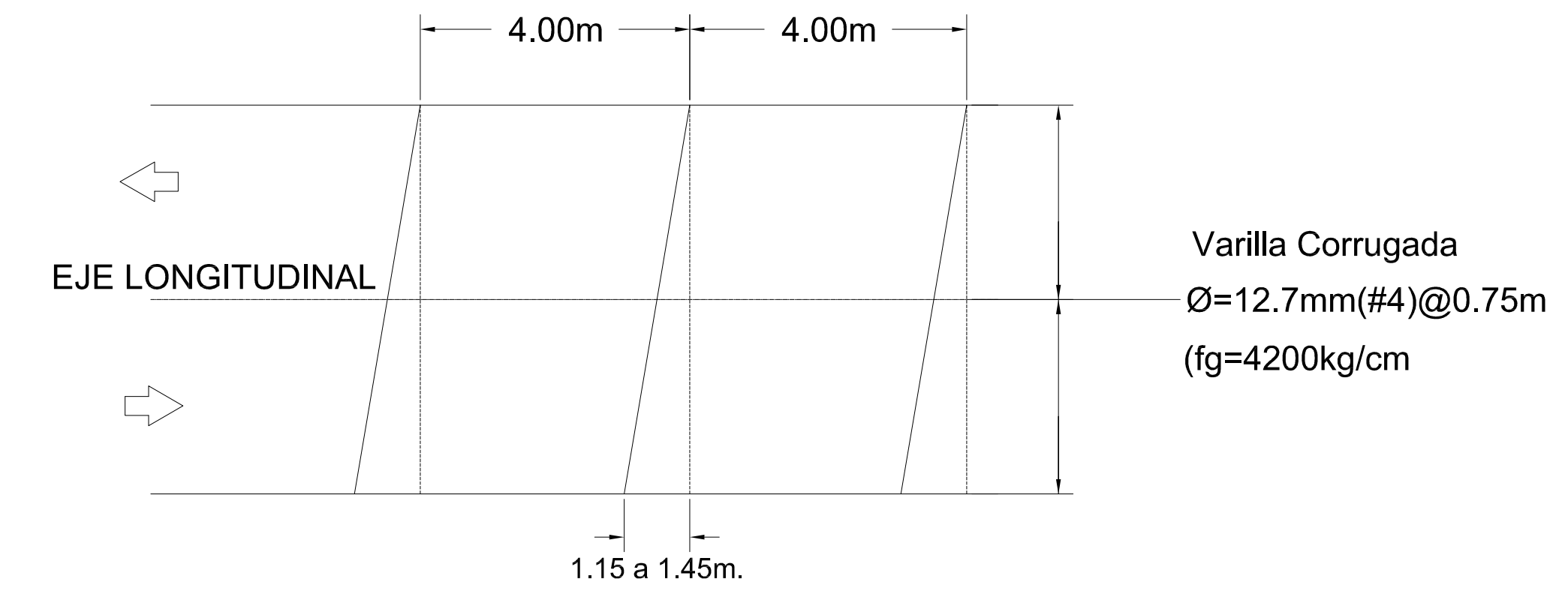
Varilla Corrugada Ø=12.7mm(#4)@0.75m (fg=4200kg/cm)



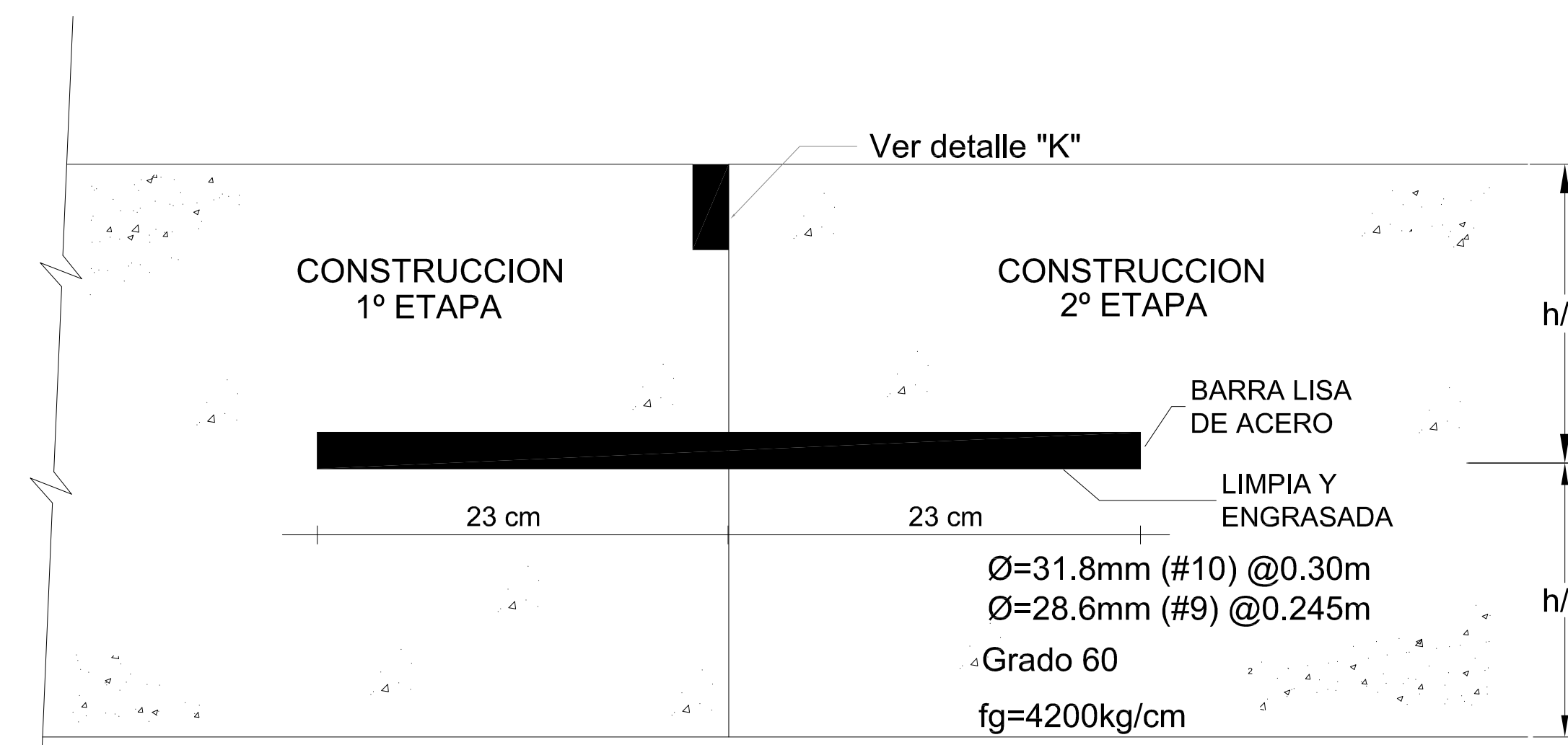
CORTE

JUNTAS CONTRACCION

JUNTAS ESVIADAS

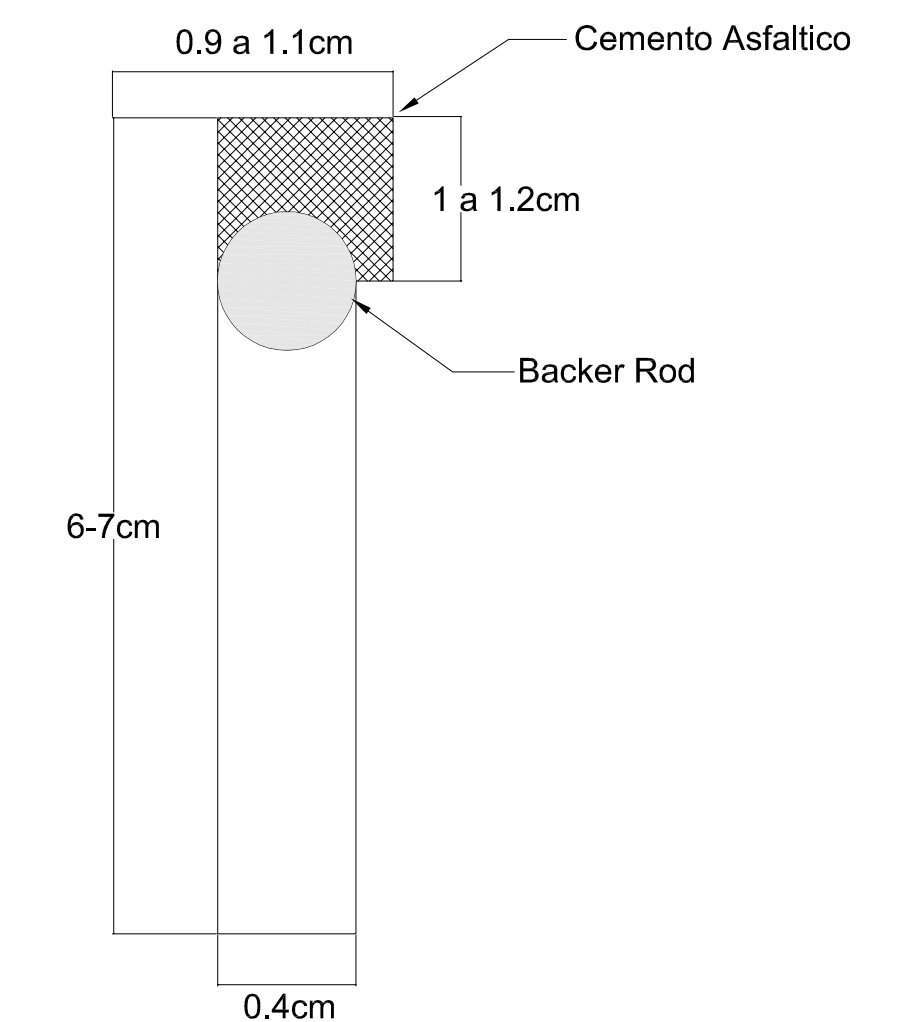


PLANTA ESQUEMATICA



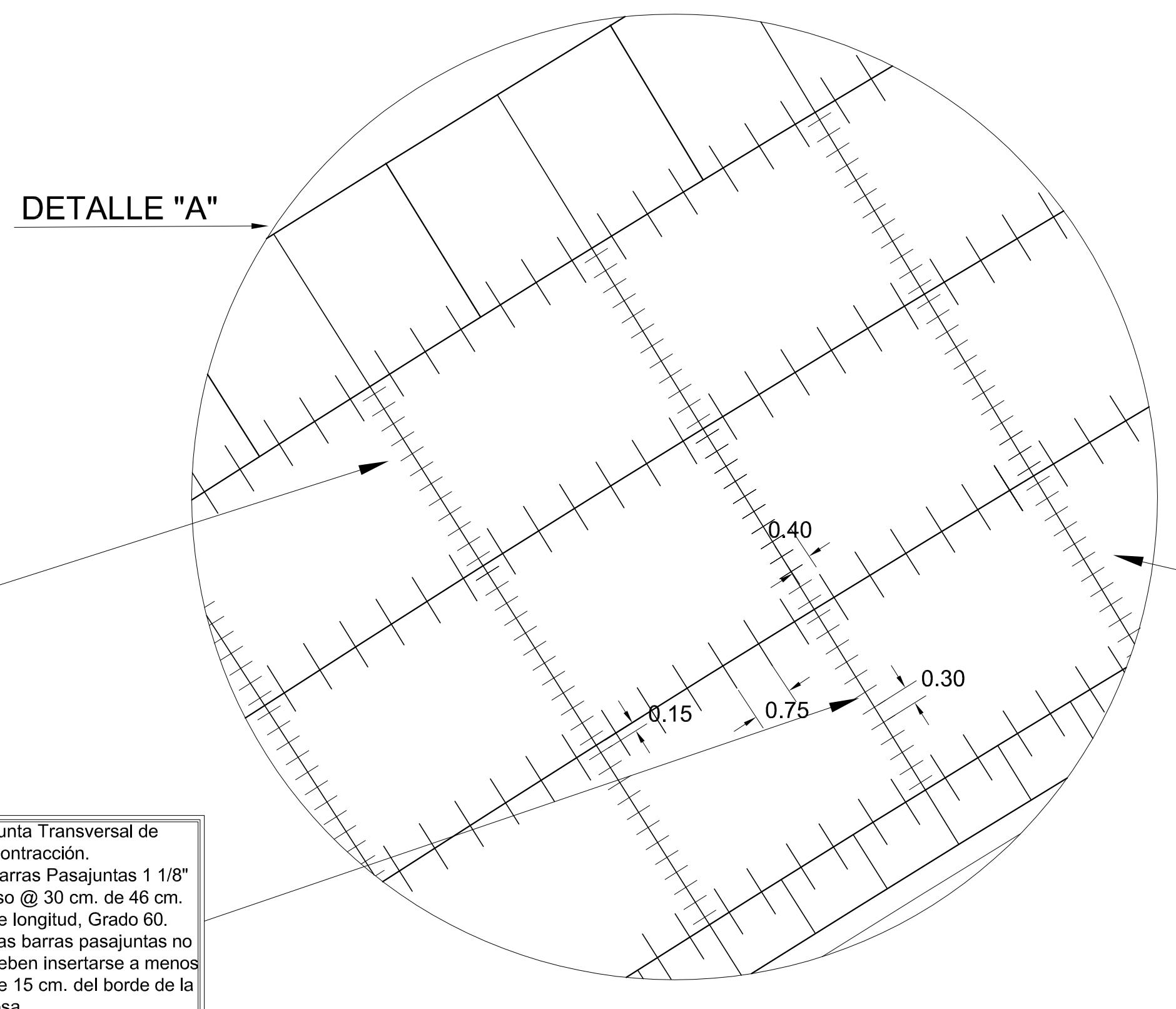
CORTE

JUNTAS TRANSVERSALES DE CONSTRUCCION



DETALLE "K"

ESPESOR PAV. h (cm.)	DIAMETRO BARRA Ø (mm.) LISA	LONGITUD BARRA (m.) LISA	ESPACIAMIENTO Y (m.) BARRAS LISAS
22.0 - 25.5	28.6mm	0.46m	0.245m
25.5	31.8mm	0.46m	0.30m



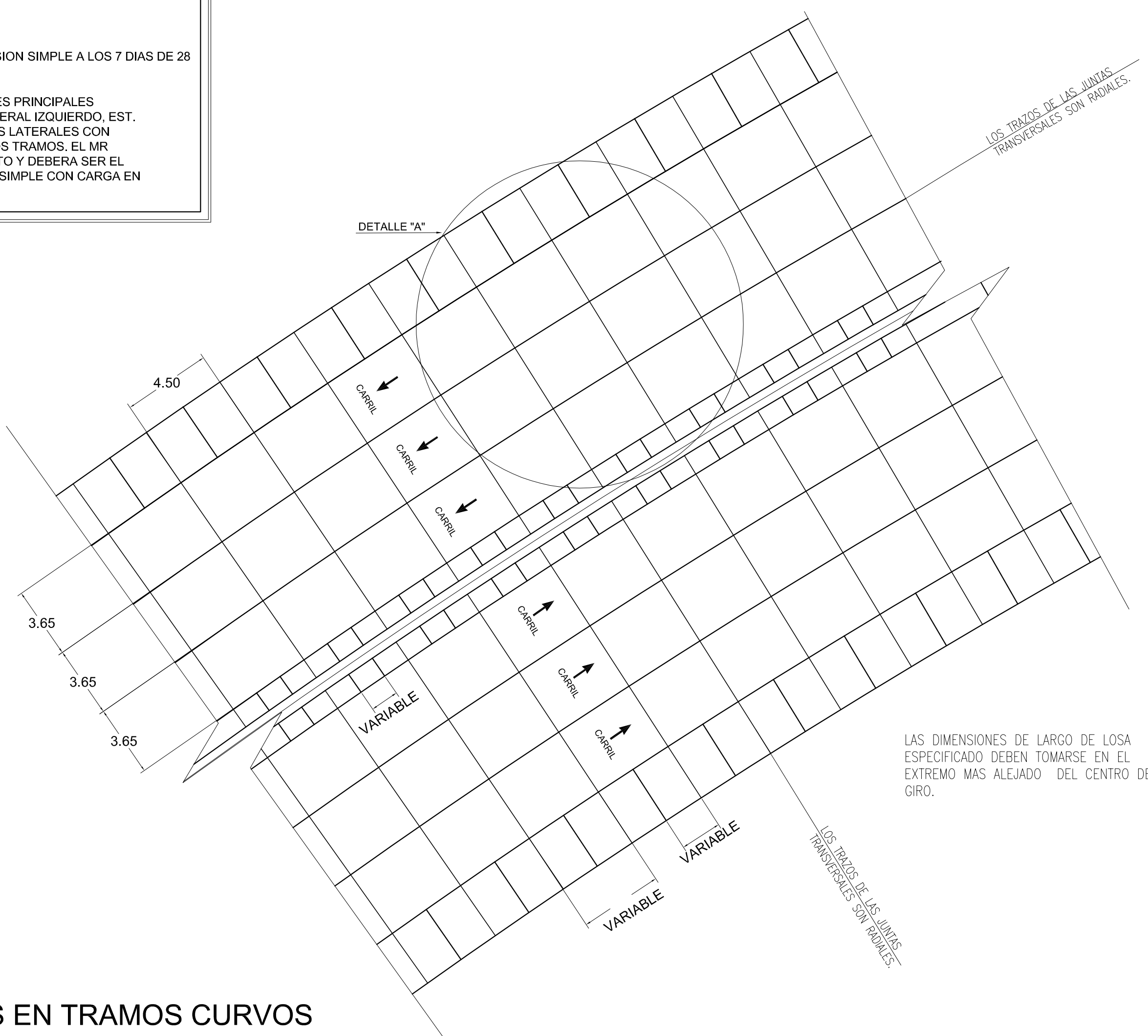
DETALLE "A"

Junta Longitudinal de Contracción.
Barras de amarre 1/2" corrugado @ 75 cm. de 92 cm. de longitud, Grado 60.
Las Barras de Amarre no se deben insertar a menos de 40 cm. de la Junta Transversal para evitar que interfiera con el movimiento de las juntas.

Junta Transversal de Contracción.
Barras Pasajuntas 1 1/8" liso @ 30 cm. de 46 cm. de longitud, Grado 60.
Las barras pasajuntas no deben insertarse a menos de 15 cm. del borde de la losa.

Engrasar un extremo de la pasajunta con grasa estándar u otro material apropiado.

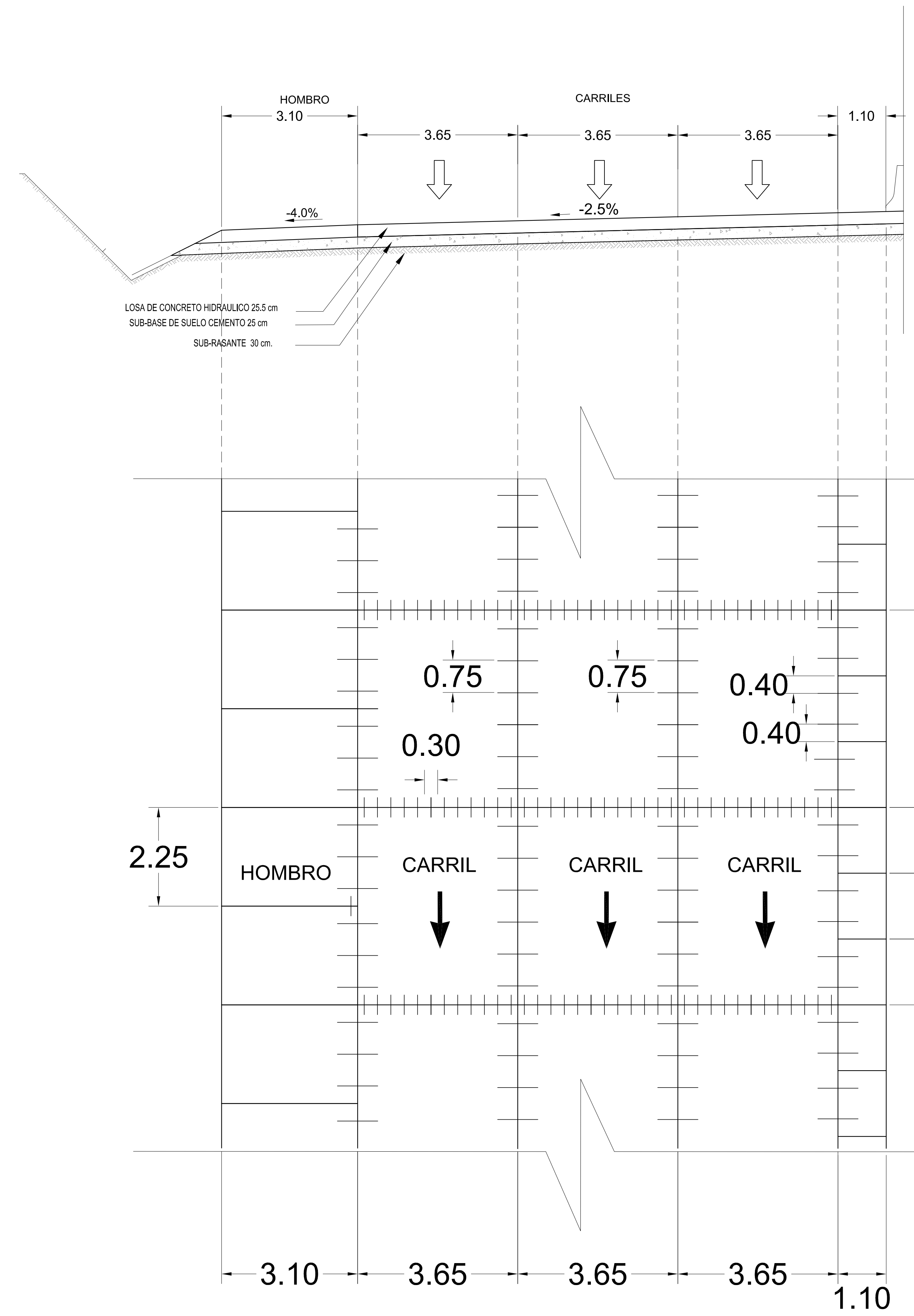
NOTAS TECNICAS:
- SUB-RASANTE CON CBR > 20%, MATERIAL NO PLASTICO
- SUB-BASE DE SUELO CEMENTO, RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE A LOS 7 DIAS DE 28 KG/CM2
- LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO. MR=45 KG/CM2 EN CARRILES PRINCIPALES EXCEPTO EN LOS SIGUIENTES TRAMOS EST. 2+420 A 2+540 LATERAL IZQUIERDO, EST. 2+020 A 2+280 LATERAL IZQUIERDO Y EST. 2+940 A 3+300 AMBOS LATERALES CON MR=46 KG/CM2 Y MR=28 KG/CM2 EN HOMBROS PARA TODOS LOS TRAMOS. EL MR CORRESPONDE A LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO Y DEBERA SER EL VALOR MEDIO OBTENIDO A LOS 28 DIAS UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS DEL CLARO, SEGUN AASHTO T97 / ASTM C78.



LA DIMENSION DE LA LOSA TIPO ES DE 3.65m. DE ANCHO POR 4.50m. DE LARGO. PARA LOS CARRILES DE 3.50m. DE ANCHO SE MANTIENE EL LARGO DE 4.50m, EN LOS HOMBROS EXTERNOS CUYO ANCHO ES DE 3.10m. EL LARGO SERA DE 2.25m., EN LOS HOMBROS INTERNOS EL ANCHO ES DE 1.10m. Y EL LARGO ES DE 1.50m.

LAS DIMENSIONES DE LARGO DE LOSA ESPECIFICADO DEBEN TOMARSE EN EL EXTREMO MAS ALEJADO DEL CENTRO DE GIRO.

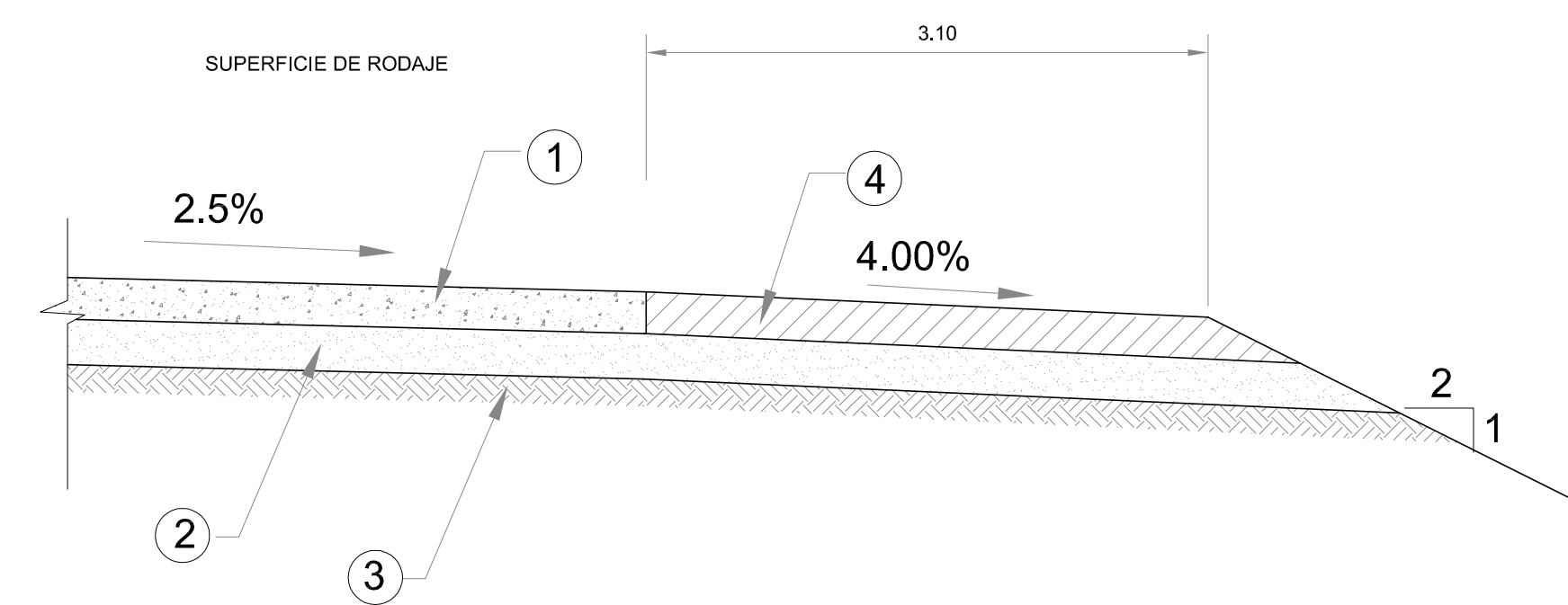
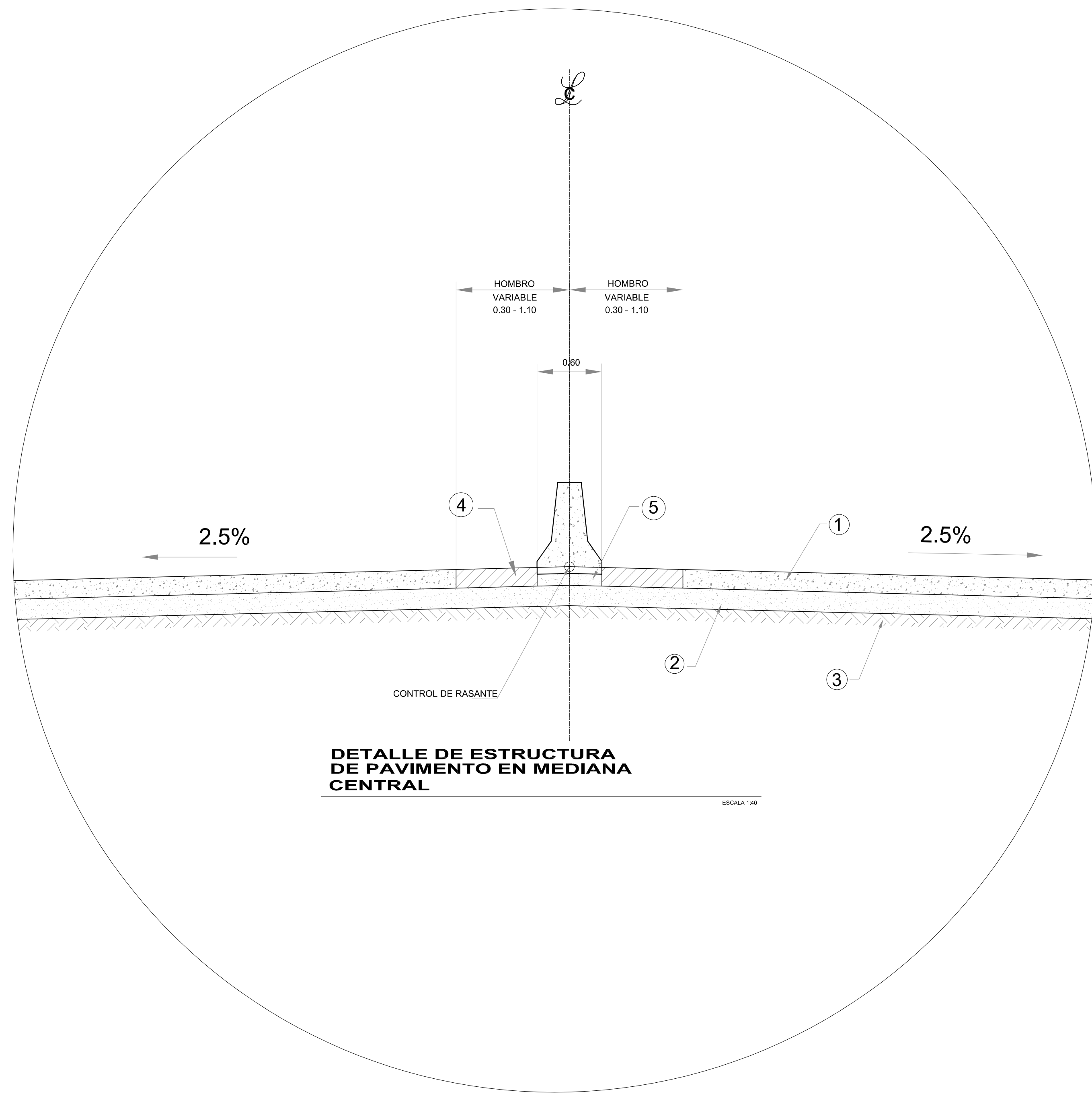
DETALLE TIPICO: MODULACION DE LOSAS EN TRAMOS CURVOS



LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO 25.5 cm
SUB-BASE DE SUELO CEMENTO 25 cm
SUB-RASANTE 30 cm.

2.25

DETALLE TIPICO: MODULACION DE LOSAS EN TRAMOS RECTOS



NOMENCLATURA	
CLAVE	DESCRIPCION
①	LOSA DE CONCRETO MR-45 DE 0.25m DE ESPESOR
②	BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO CON RESISTENCIA DE 28kgf/cm ² , DE 0.25m DE ESPESOR
③	SUBRASANTE CON CBR >= A 20
④	LOSA DE CONCRETO MR-28 DE 0.22m DE ESPESOR
⑤	BASE DE SUELO CEMENTO DE 0.18m DE ESPESOR