

DETERMINACIÓN DEL TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO SEGÚN EL GRADO DE DESEMPEÑO PARA EL DISEÑO DE LA CARPETA DE RODADURA, DE ACUERDO A LA ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA EN GUATEMALA.

Rudidanilo Miranda Calderón¹, Martha Dina Avellán Cruz², Jose Abraham Agüero Umattino³, Luis Guillermo Loría Salazar⁴, Jairo Sanabria Sandino⁵.

¹Asfaltos de Guatemala S. A., 11 avenida 38-60 zona 11 Col. Las Charcas, Guatemala.
rdmiranda7@gmail.com

²Asfaltos de Guatemala S. A., 11 avenida 38-60 zona 11 Col. Las Charcas, Guatemala.
davellan@asfalgua.com

³Asfaltos de Guatemala S. A., 11 avenida 38-60 zona 11 Col. Las Charcas, Guatemala.
ppaguero@asfalgua.com

⁴Laboratorio Nacional De Materiales Y Modelos Estructurales, Universidad De Costa Rica.
luis.loriasalazar@ucr.ac.cr

⁵Laboratorio Nacional De Materiales Y Modelos Estructurales, Universidad De Costa Rica.
Jairo.sanabriasandino@ucr.ac.cr

Resumen

El objetivo de esta investigación es determinar el tipo de cemento asfáltico que se debe utilizar para el diseño de la carpeta de rodadura según el grado de desempeño, de acuerdo a la zonificación climática en Guatemala. Para esto, se recopilarán datos de las temperaturas máximas, promedios y mínimas de las estaciones meteorológicas activas del país, en un período de cinco años (2009-2013), para posteriormente calcular las temperaturas del pavimento por medio de los modelos SHRP y LTPP. El SHRP es un modelo propuestos por el programa SUPERPAVE utilizado para estimar la temperatura máxima y mínima del pavimento. LTPP es un modelo utilizado para la predicción de la temperatura del pavimento, a partir de las temperaturas del aire, de estaciones localizadas en todo el territorio del país.

Con los resultados obtenidos de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento por ambos modelos, se procede a determinar las zonas para el desarrollo de modelos PG según su elevación. En lo que concierne al cemento asfáltico, se utilizarán muestras de diferentes tipos producidas en el país. Se utilizará la metodología del programa ArcGIS para obtener los mapas de PG, así poder hacer la propuesta de zonificación por grado de desempeño.

Palabra clave: Cemento asfálticos, temperatura del pavimento, grado de desempeño.

1 Introducción

Guatemala es conocido como el país de la eterna primavera debido al clima agradable que se puede disfrutar durante todo el año, se cuenta con los ecosistemas 19 ecosistemas, 300 microclimas y 33 volcanes. A pesar de los diferentes microclimas que existen en el país no se cuenta con una cantidad suficiente de estaciones meteorológicas para monitorearlos por esta razón, para el desarrollo de esta investigación únicamente se utilizó 40 estaciones con los que se contaba con un registro desde el año 2009 – 2013. A continuación se muestra un mapa con la ubicación de cada una de las estaciones meteorológicas utilizadas.

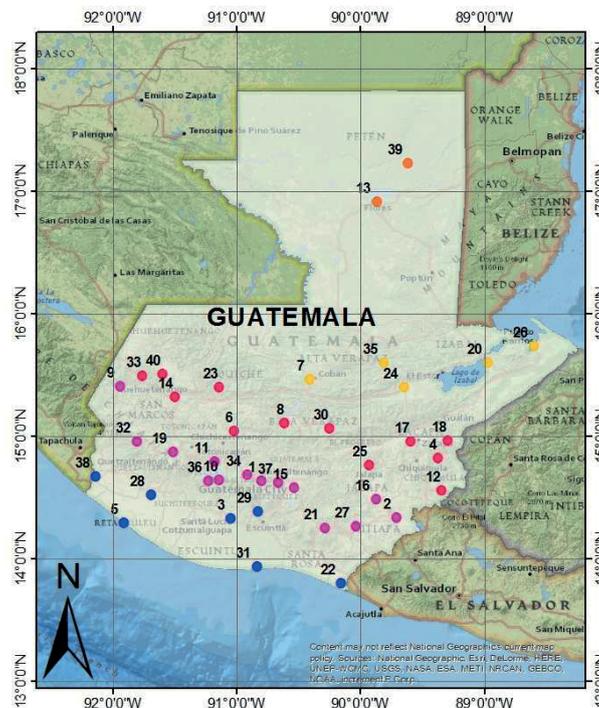


Figura. 1 Estaciones meteorológicas utilizadas de Guatemala para la investigación.

Debido a la variación climática en los diferentes regiones del país, y como consecuencia la manera en que esta afecta el comportamiento del pavimento es necesario conocer el ligante asfáltico que mejor se adaptara a la temperatura de cada región, esto, se puede realizar mediante la generación de mapas de grado de desempeño para cada departamento del país.

Por medio de los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas de las temperaturas del aire, se procede a calcular la temperatura del pavimento, adicionando un porcentaje de confiabilidad a las temperaturas obtenidas del aire con el propósito de que el diseñador defina el porcentaje de probabilidad para un año dado, en el cual la temperatura real no exceda la temperatura de diseño. Esta confiabilidad se aplicara utilizando una desviación normal estándar para las temperaturas. Si la persona que realiza el diseño selecciona una confiabilidad del 50% obtendrá un 50% de probabilidad de que la temperatura real supere los 36°C, en cambio, si selecciona un porcentaje de confianza de 85% obtendrá solo un 2% de probabilidad de que la temperatura de diseño se vea superada.

Cuando SUPERPAVE empezó a realizar investigación para clasificar por Grado de Desempeño, desarrolló modelos para estimar la temperatura máxima y mínima del pavimento basado en la temperatura del aire y la localización geográfica. SHRP obtuvo la información necesaria para desarrollar un modelo en función de la profundidad y la temperatura del aire.

$$T_{\text{mín pav } 50\%} (T_{\text{mín aire}}, d) = T_{\text{mín aire}} + 0.051 * d + 0.000063 * d^2$$

donde, $T_{\text{mín pav}}$: es la temperatura mínima del pavimento a un espesor d (°C). $T_{\text{mín aire}}$: es la temperatura mínima promedio del aire registrado de datos (°C). d : es la profundidad a la cual se requiere calcular la temperatura en el pavimento (mm).

Luego SHRP obtuvo una ecuación para calcular la temperatura máxima del pavimento, la cual se muestra a continuación:

$$T_{\text{máx pav } 50\%} (T_{\text{máx aire}}, \text{Lat}) = T_{\text{máx aire}} - (0.00618 * \text{Lat}^2) + (0.2289 * \text{Lat}) + 24.4$$

donde, $T_{\text{máx pav } 50\%}$: es la temperatura máxima del pavimento a una profundidad de 20 mm y un nivel de confiabilidad del 50% (°C). $T_{\text{máx aire}}$: es la temperatura del aire promedio de los 7 días más calientes (°C). Lat : es la latitud de la sección (en grados).

Con el establecimiento del LTPP se creó una nueva base de datos de registros de temperatura diarias del aire y del pavimento, a partir de estaciones de registro localizadas en todo el territorio estadounidense, que permitió el desarrollo y validación de nuevos modelos LTPP para la predicción de la temperatura del pavimento, además de permitir cuantificar la diferencia con los modelos

existentes de SHRP y poder comparar los PG calculados por ambos modelos (SHRP Y LTPP). En el modelo LTPP se incluye información de la localización geográfica (latitud y longitud) y elevación de las estaciones, así como el espesor del pavimento e información climática de las estaciones meteorológicas cercanas a las estaciones de registro. A continuación se muestra cada uno de los resultados obtenidos.

A continuación se muestran las ecuaciones tanto para la temperatura máxima como para la mínima utilizadas por LTPP:

$$T_{\text{máx pav R\%}}: T_{\text{máx pav 50\%}} + Z * \sigma_{\text{mín aire}}$$

donde, $T_{\text{máx pav R\%}}$: es la temperatura máxima del pavimento a un nivel de confianza requerido (°C). $T_{\text{máx pav 50\%}}$: es la temperatura máxima del pavimento que se obtiene de la ecuación 3-12 (°C). Z: es la desviación normal estándar. $\sigma_{\text{mín aire}}$: es la desviación estándar de la temperatura de 7 días más calientes del aire (°C).

$$T_{\text{mín pav}}(T_{\text{mín aire}}, \sigma_{\text{mín aire}}, \text{Lat}, d) = -1.56 + (0.72 * T_{\text{mín aire}}) - (0.004 * \text{Lat}^2) + (6.26 * \log_{10}(d+25)) + Z * (4.4 + 0.52 * \sigma_{\text{aire}}^2)^{0.5}$$

donde, $T_{\text{mín pav}}$: es la temperatura mínima del pavimento a cierta profundidad y un nivel de confiabilidad del 50% (°C). $T_{\text{mín aire}}$: es la temperatura mínima del aire (°C). Lat: es la latitud de la sección (en grados). d: es la profundidad desde la superficie (mm). σ_{aire}^2 : es la distribución estándar de la temperatura baja del aire (°C). Z: es la desviación normal estándar.

Tabla. 1 Resultados obtenidos de las temperaturas máximas del aire y temperaturas del pavimento por SHRP y LTPP.

ATLÁNTICO NORTE									
ESTACION METEOROLÓGICA	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	TEMP MAX AIRE (°C)	Σ	AIRE		SHRP		LTPP	
				NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF	
				50%	85%	50%	85%	50%	85%
FLORES AEROPUERTO	123	32.53	0.51	32.53	33.06	59.03	59.57	53.95	57.09
TIKAL PETEN	230	32.66	0.47	32.66	33.15	59.2	59.17	54.02	57.16

ATLÁNTICO CENTRO									
ESTACION METEREOLÓGICA	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	TEMP MAX AIRE (°C)	Σ	AIRE		SHRP		LTPP	
				NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF	
				50%	85%	50%	85%	50%	85%
COBAN	1323	25.60	0.39	25.60	26.00	52.06	52.46	48.56	51.79
LAS VEGAS PHC	10	32.28	0.70	32.28	33.01	58.75	59.48	53.86	57.03
PANZOS PHC ALTA VERAPAZ	30	32.41	0.27	32.41	32.86	58.87	59.14	53.97	57.09
PUERTO BARRIOS PHC	2	30.19	0.46	30.19	30.66	56.66	57.13	52.22	53.35
SANTA MARIA CAHABON	380	26.18	0.40	26.18	26.60	52.65	53.06	49.11	52.23
TODOS SANTOS	2460	18.79	0.67	18.79	19.48	45.26	45.95	43.35	46.51
ATLÁNTICO SUR									
ESTACION METEREOLÓGICA		TEMP MAX AIRE (°C)	Σ	AIRE		SHRP		LTPP	
				NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF	
				50%	85%	50%	85%	50%	85%
CAMOTAN	450	32.17	0.52	32.17	32.63	58.61	59.14	53.84	56.97
CHINIQUE	1880	23.52	0.70	23.52	24.25	49.96	50.69	47.07	50.23
CUBULCO	994	30.25	0.82	30.25	31.10	56.70	57.55	52.31	55.50
ESQUIPULAS	950	27.14	0.62	27.14	27.78	53.56	54.20	49.93	53.08
HUEHUETENANGO	1870	25.87	0.69	25.87	26.58	52.33	53.04	48.88	52.04
LA FRAGUA	210	33.89	0.69	33.89	34.61	60.33	61.05	55.16	58.33
LA UNION	1000	27.13	0.47	27.13	27.62	53.57	54.06	49.89	53.02
NEBAJ	1906	23.00	0.70	23.00	23.70	49.46	50.19	46.63	49.80
POTRERO CARRILLO	1760	21.89	0.68	21.89	22.60	48.32	49.03	45.82	48.98
SAN JERONIMO R.H	1000	29.29	0.74	29.29	30.06	55.74	56.51	51.57	54.74
SAN PEDRO NECTA	1700	21.63	0.34	21.63	21.98	48.09	48.44	45.56	48.68
PACÍFICO NORTE									
ESTACION METEREOLÓGICA A	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	TEMP MAX AIRE (°C)	σ	AIRE		SHRP		LTPP	
				NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF	
				50%	85%	50%	85%	50%	85%
ALAMEDA ICTA	1766	23.72	0.27	23.72	24.00	50.15	50.42	47.26	50.38
ASUNCION MITA R.H.	478	33.34	0.24	33.34	33.60	59.75	60.01	54.78	57.90
CUILCO	1120	30.39	0.42	30.39	30.82	56.85	57.28	52.40	55.53
EL CAPITAN	1562	25.14	0.40	25.14	25.55	51.56	51.98	48.36	51.49
EL TABLON	2392	20.91	0.45	20.91	21.37	47.35	47.81	45.05	48.19
INSIVUMEH	1502	25.64	0.29	25.64	25.94	52.06	52.36	48.76	51.88
LA CEIBITA	960	30.14	0.31	30.14	30.46	56.56	56.88	52.28	55.40
LABOR OVALLE	2380	22.49	0.48	22.49	22.99	48.93	49.43	46.28	49.42
LOS ESCLAVOS	737	30.99	0.34	30.99	31.35	57.40	57.46	52.96	56.08
QUEZADA	980	29.13	0.31	29.13	29.46	55.54	55.87	51.51	54.63
SANTA CRUZ BALANYA	2080	24.10	0.52	24.10	24.63	50.53	51.06	47.55	50.69
SAN MARCOS PHC	2420	30.22	0.39	30.22	30.63	56.66	57.07	52.30	55.43
SANTIAGO ATITLAN	1580	29.52	0.44	29.52	29.98	55.95	56.40	51.78	54.91
SUIZA CONTENTA	2105	24.14	0.64	24.14	24.81	50.56	51.23	47.58	50.74

PACÍFICO SUR									
ESTACION METEREOLÓGICA	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	TEMP MAX AIRE (°C)	σ	AIRE		SHRP		LTPP	
				NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF	
				50%	85%	50%	85%	50%	85%
CAMANTULUL	280	32.44	0.18	32.44	32.63	58.85	59.04	54.08	57.20
CHAMPERICO FEGUA	5	32.96	0.20	32.96	33.17	59.37	59.57	54.49	57.60
MONTUFAR	15	33.74	0.19	33.74	33.93	60.12	60.31	55.13	58.24
RETALHULEU AEROPUERTO	205	33.48	0.27	33.48	33.76	59.90	60.18	54.88	58.00
SABANA GRANDE	730	23.22	0.28	23.22	23.52	49.64	49.93	46.89	50.01
SAN JOSE AEROPUERTO	6	32.87	0.46	32.87	33.34	59.26	59.72	54.44	57.57
TECUN UMAN FEGUA AYUTLA	28	27.00	0.34	27.00	27.35	53.43	53.78	49.81	52.93

Tabla I. Resultados obtenidos de las temperaturas mínimas del aire y temperaturas del pavimento por SHRP y LTPP.

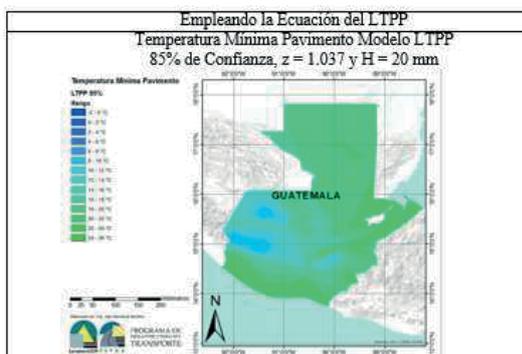
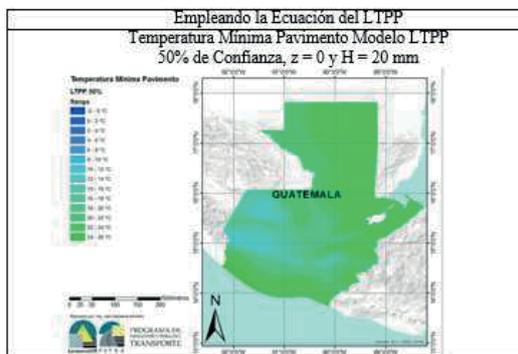
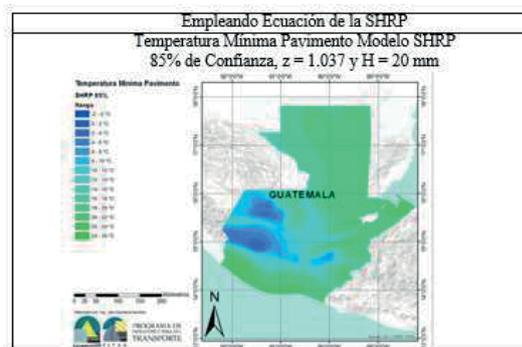
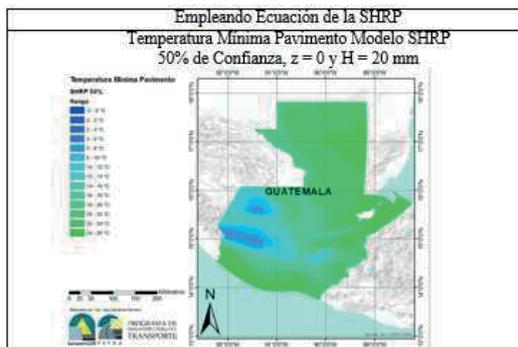
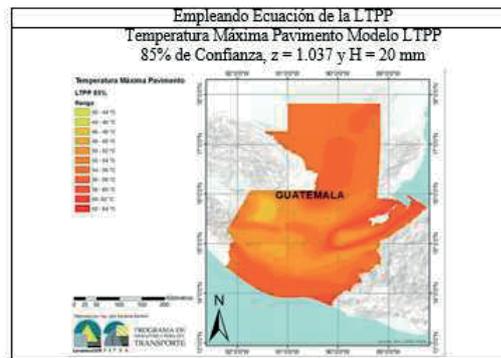
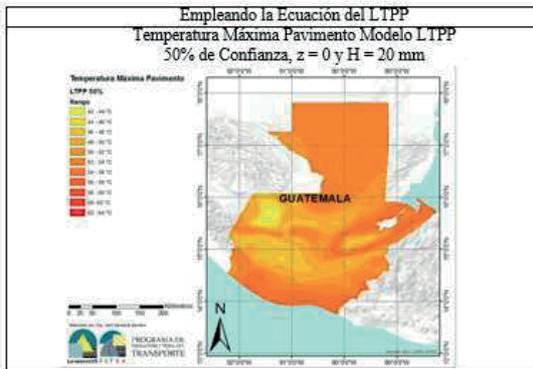
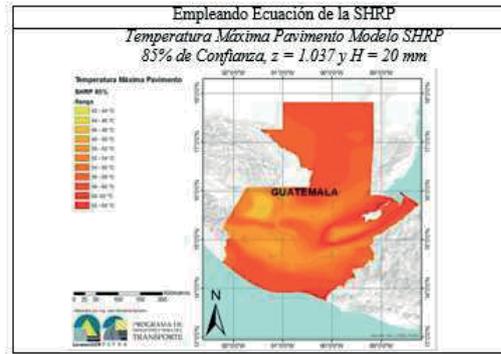
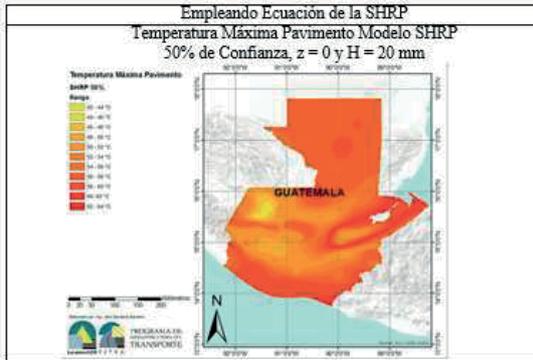
ATLÁNTICO NORTE									
ESTACION METEREOLÓGICA	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	TEMP MIN AIRE (°C)	σ	AIRE		SHRP		LTPP	
				NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF	
				50%	85%	50%	85%	50%	85%
FLORES AEROPUERTO	123	20.53	2.70	20.53	17.73	21.84	19.04	22.71	19.74
TIKAL PETEN	230	20.29	3.38	20.29	16.78	21.60	18.10	22.49	19.16

ATLÁNTICO CENTRO									
ESTACION METEREOLÓGICA	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	TEMP MIN AIRE (°C)	σ	AIRE		SHRP		LTPP	
				NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF	
				50%	85%	50%	85%	50%	85%
COBAN	1323	13.67	2.28	13.67	10.75	14.98	12.06	17.96	14.93
LAS VEGAS PHC	10	22.09	2.31	22.09	19.63	23.40	21.01	24.01	21.23
PANZOS PHC ALTA VERAPAZ	30	22.46	2.18	22.46	20.20	23.78	21.51	24.30	21.58
PUERTO BARRIOS PHC	2	22.13	2.14	22.13	19.91	23.45	21.23	24.02	21.32
SANTA MARIA CAHABON	380	20.27	2.34	20.27	17.85	21.59	19.16	22.70	19.91
TODOS SANTOS	2460	7.60	2.37	7.60	5.14	8.92	6.46	13.59	10.78

ATLÁNTICO SUR									
CAMOTAN	450	20.78	2.28	20.78	18.42	22.09	19.73	23.16	20.39
CHINIQUE	1880	9.82	2.70	9.82	7.02	11.13	8.33	15.24	12.27
CUBULCO	994	15.19	3.24	15.19	11.83	16.50	13.14	19.10	15.84
ESQUIPULAS	950	17.77	2.13	17.77	15.56	19.08	16.88	21.02	18.33
HUEHUETENANGO	1870	11.20	3.60	11.20	7.47	12.51	8.78	16.20	12.74
LA FRAGUA	210	21.45	2.44	21.45	18.92	22.76	20.13	23.62	20.79
LA UNION	1000	18.33	2.62	18.33	15.61	19.64	16.93	21.38	18.45
NEBAJ	1906	9.69	5.00	9.69	4.51	11.00	5.82	15.10	10.78

ESTACION METEREOLÓGICA	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	TEMP MIN AIRE (°C)	σ	AIRE		SHRP		LTPP	
				NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF	
				50%	85%	50%	85%	50%	85%
POTRERO CARRILLO	1760	9.49	4.41	9.49	4.92	10.80	6.24	15.04	11.09
SAN JERONIMO R.H	1000	14.50	3.01	14.50	11.39	15.82	12.70	18.61	15.48
SAN PEDRO NECTA	1700	13.39	2.15	13.39	11.15	14.70	12.47	17.75	15.05
PACÍFICO NORTE									
ESTACION METEREOLÓGICA	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	TEMP MIN AIRE (°C)	σ	AIRE		SHRP		LTPP	
				NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF	
				50%	85%	50%	85%	50%	85%
ALAMEDA ICTA	1766	11.00	3.13	11.00	7.75	12.31	9.07	16.14	12.94
ASUNCION MITA R.H.	478	21.29	1.66	21.29	19.57	22.60	20.88	23.58	21.08
CUILCO	1120	15.85	2.85	15.85	12.89	17.16	14.21	19.54	16.49
EL CAPITAN	1562	13.48	2.26	13.48	11.45	14.79	12.76	17.92	15.30
EL TABLON	2392	9.41	2.75	9.41	6.56	10.72	7.87	14.98	11.98
INSIVUMEH	1502	15.53	1.97	15.53	13.49	16.84	14.80	19.41	16.78
LA CEIBITA	960	13.85	3.48	13.85	10.24	15.16	11.56	18.21	14.82
LABOR OVALLE	2380	7.78	4.25	7.78	3.37	9.09	4.69	13.79	9.94
LOS ESCLAVOS	737	18.40	2.58	18.40	15.72	19.71	17.04	21.51	18.60
QUEZADA	980	16.31	2.19	16.31	14.04	17.62	15.35	20.00	17.28
SAN MARCOS PHC	2420	6.75	2.31	6.75	4.36	8.07	5.68	13.04	10.27
SANTA CRUZ BALANYA	2080	10.30	2.61	10.30	7.59	11.61	8.90	15.63	12.70
SANTIAGO ATITLAN	1580	12.29	2.85	12.29	9.34	13.60	10.65	17.07	14.02
SUIZA CONTENTA	2105	9.13	2.80	9.13	6.22	10.44	7.54	14.79	11.77
PACÍFICO SUR									
ESTACION METEREOLÓGICA	ELEVACIÓN (m.s.n.m)	TEMP MIN AIRE (°C)	σ	AIRE		SHRP		LTPP	
				NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF		NIVEL DE CONF	
				50%	85%	50%	85%	50%	85%
CAMANTULUL	280	20.71	1.80	20.71	18.84	22.02	20.16	23.17	20.61
CHAMPERICO FEGUA	5	23.56	1.87	23.56	21.62	24.87	22.94	25.22	22.64
MONTUFAR	15	23.67	1.54	23.67	22.07	24.98	23.39	25.36	22.90
RETALHULEU AEROPUERTO	205	21.50	1.13	21.50	20.33	22.81	21.64	23.71	21.38
SABANA GRANDE	730	18.64	2.25	18.64	16.30	19.95	17.62	21.67	18.92
SAN JOSE AEROPUERTO	6	21.96	2.07	21.96	19.81	23.27	21.12	24.11	21.44
TECUN UMAN FEGUA AYUTLA	28	22.16	1.50	22.16	20.60	23.47	21.92	24.17	21.72

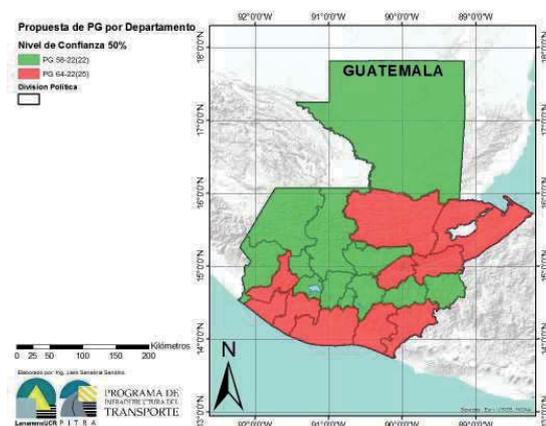
La diferencia de los resultados obtenidos de cada una de las ecuaciones de los sistemas SHRP y LTPP para la temperatura máxima y mínimas del pavimento con un 50% y 85 % de confiabilidad se muestra en los siguientes mapas:



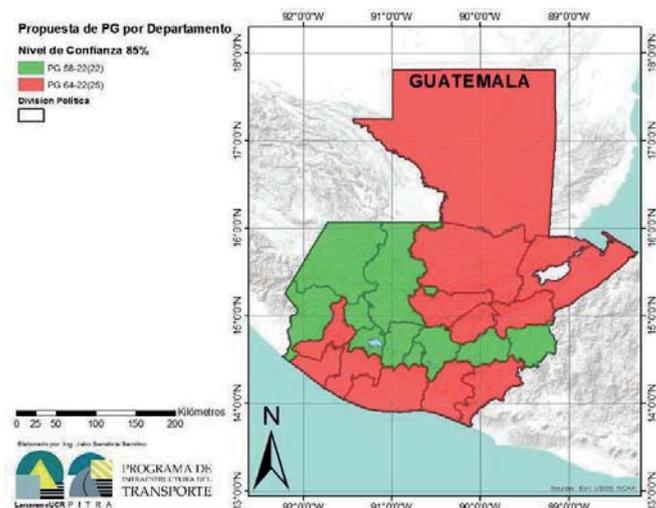
Se procede a determinar las zonas para el desarrollo de modelos PG según su elevación. Se debe utilizar la metodología del programa ArcGIS para obtener los mapas de PG, así poder hacer la

propuesta de zonificación por grado de desempeño. La zonificación propuesta es la distribución por departamentos utilizando los diferentes PG al 50% y 85% de confiabilidad. A continuación se presenta el PG recomendado por departamento con el porcentaje de cada uno de los PG utilizados; así como el mapa de distribución por departamento al 50% y 85% de confiabilidad.

Departamento	Área(km ²)	PG 52-XX	PG 58-XX	PG 64-XX	PG Recomendado
ALTA VERAPAZ	10614,23	17,1%	65,1%	17,8%	PG 64-22(25)
BAJA VERAPAZ	3021,50	5,9%	78,3%	15,8%	PG 58-22(22)
CHIMALTENANGO	1864,93	80,8%	19,2%	0,0%	PG 58-22(22)
CHIQUIMULA	2408,42	6,3%	92,5%	1,2%	PG 58-22(22)
EL PROGRESO	1838,28	23,6%	44,7%	31,7%	PG 64-22(25)
ESCUINTLA	4507,34	1,2%	20,0%	78,7%	PG 64-22(25)
GUATEMALA	2207,77	41,6%	58,4%	0,0%	PG 58-22(22)
HUEHUETENANGO	7360,78	55,7%	35,1%	0,0%	PG 58-22(22)
IZABAL	7518,94	2,1%	28,6%	69,3%	PG 64-22(25)
JALAPA	2034,20	32,0%	68,0%	0,0%	PG 58-22(22)
JUTIAPA	3320,02	0,0%	40,7%	59,3%	PG 64-22(25)
PETEN	35999,76	0,0%	94,4%	5,6%	PG 58-22(22)
QUETZALTENANGO	2132,48	50,4%	32,4%	17,2%	PG 64-22(25)
QUICHE	7283,07	69,2%	27,9%	2,8%	PG 58-22(22)
RETALHULEHU	1700,15	0,0%	22,6%	77,4%	PG 64-22(25)
SACATEPEQUEZ	536,55	94,5%	5,5%	0,0%	PG 58-22(22)
SAN MARCOS	3551,10	44,9%	44,7%	10,4%	PG 58-22(22)
SANTA ROSA	3164,56	0,0%	38,2%	61,8%	PG 64-22(25)
SOLOLA	1167,13	86,5%	13,5%	0,0%	PG 58-22(22)
SUCHITEPEQUEZ	2393,52	1,4%	43,9%	54,7%	PG 64-22(25)
TOTONICAPAN	1076,37	99,0%	1,0%	0,0%	PG 58-22(22)
ZACAPA	2707,45	22,0%	46,1%	31,9%	PG 64-22(25)



Departamento	Área (km ²)	PG 52-XX	PG 58-XX	PG 64-XX	PG Recomendado
ALTAVERAPAZ	10614,23	13,2%	59,9%	27,0%	PG 64-22(25)
BAJA VERAPAZ	3021,50	3,0%	77,7%	19,2%	PG 64-22(25)
CHIMALTENANGO	1864,93	73,2%	26,8%	0,0%	PG 58-22(22)
CHIQUIMULA	2408,42	1,7%	92,1%	6,2%	PG 58-22(22)
EL PROGRESO	1838,28	17,0%	45,1%	37,9%	PG 64-22(25)
ESCUINTLA	4507,34	0,4%	19,4%	80,2%	PG 64-22(25)
GUATEMALA	2207,77	21,4%	78,6%	0,1%	PG 58-22(22)
HUEHUETENANGO	7360,78	51,3%	48,7%	0,0%	PG 58-22(22)
IZABAL	7518,94	1,7%	23,6%	74,6%	PG 64-22(25)
JALAPA	2034,20	11,4%	88,6%	0,0%	PG 58-22(22)
JUTIAPA	3320,02	0,0%	37,0%	63,0%	PG 64-22(25)
PETEN	35999,76	0,0%	37,2%	62,8%	PG 64-22(25)
QUETZALTENANGO	2132,48	48,1%	30,8%	21,1%	PG 64-22(25)
QUICHE	7283,07	45,3%	49,9%	4,8%	PG 58-22(22)
RETALHULEHU	1700,15	0,0%	18,2%	81,8%	PG 64-22(25)
SACATEPEQUEZ	536,55	81,6%	18,4%	0,0%	PG 58-22(22)
SAN MARCOS	3551,10	38,2%	47,4%	14,4%	PG 58-22(22)
SANTA ROSA	3164,56	0,0%	33,9%	66,1%	PG 64-22(25)
SOLOLA	1167,13	76,3%	23,7%	0,0%	PG 58-22(22)
SUCHITEPEQUEZ	2393,52	0,6%	40,2%	59,3%	PG 64-22(25)
TOTONICAPAN	1076,37	98,3%	1,7%	0,0%	PG 58-22(22)
ZACAPA	2707,45	12,0%	51,9%	36,1%	PG 64-22(25)



CONCLUSIONES

- ❖ El mapa del país de Guatemala realizado especifica la zonificación atlántico y pacífico, delimitadas cada una por la temperatura máxima y mínima del aire y luego del pavimento con el grado de desempeño requerido para el cemento asfáltico, donde se especifica el tipo de PG necesario para obtener el mejor rendimiento de la mezcla asfáltica.
- ❖ Por medio de los resultados obtenidos se concluye que el método LTPP es menos conservador que el método SHRP. SHRP es más exacto con respecto al valor de la temperatura máxima del pavimento.
- ❖ Según los resultados obtenidos basados en el clima, en Guatemala se deberían utilizar 2 tipos de cemento asfáltico, que acuerdo al grado de desempeño son clasificados como PG 58-34 y PG 64-34, equivalentes por viscosidad a AC-10 y AC-20. Es importante recordar que para la determinación del cemento asfáltico no se tomó en cuenta las cargas de tránsito debido a la falta de información que existe en país.
- ❖ El uso del tipo de cemento asfáltico está determinado por la temperatura máxima y mínima del pavimento, la cual se determinó por la temperatura máxima y mínima del aire y la latitud.
- ❖ La temperatura obtenida del pavimento, que se determinó en base a la temperatura del aire, se encuentra a 20 mm de profundidad de la superficie de la carpeta asfáltica.
- ❖ Debido a que Guatemala ninguna estación reportó temperaturas por debajo de los 5°C no es posible recomendar un PG para temperaturas mínimas, aunque de acuerdo a la clasificación por grado de desempeño de las muestras de Perenco son funcionales a temperaturas por debajo de los -22°C.

RECOMENDACIONES

- ❖ Utilizar la mayor cantidad de estaciones meteorológicas que sea posible y tratar que su ubicación cubra el país completo para abarcar el mayor territorio nacional posible, de esta forma se podrá realizar una mejor propuesta de zonificación.
- ❖ Considerar la obtención de muestras de cemento asfáltico que no sea elaborado en un laboratorio sino que una muestra de producción para que los resultados de la caracterización sean más certeros.
- ❖ Emplear para investigaciones futuras la utilización del tránsito vehicular y sus cargas para obtener mayor exactitud en los resultados recomendados.

- ❖ En lo que a confiabilidad corresponde mejor si se utilizar el mayor porcentaje posible, así el resultado que se obtendrá será más cercano a la realidad.

BIBLIOGRAFIA

- ❖ Dirección General de Caminos Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes. Guatemala: DGC MCIV 2000.
- ❖ Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes. Dirección General de Caminos. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. 2001
- ❖ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Instituto del Asfalto. MS-22. Kentucky, Estados Unidos. (1982).
- ❖ JPh. Pfeiffer. The properties of Asphaltic Bitumen (London, 1950).
- ❖ Nicholas J. Garber. Ingeniería de tránsito y carreteras.
- ❖ Antecedentes de los métodos de ensayo de ligantes asfálticos de SUPERPAVE. ASPHALT INSTITUTE
- ❖ Informe de Proyecto de Graduación. Determinación del tipo de cemento asfáltico según el grado de desempeño, de acuerdo con la zonificación climática y las cargas de tránsito del país. Elías Bonilla Miranda.
- ❖ Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas asfálticos de SUPERPAVE. ASPHALT INSTITUTE.
- ❖ Ingeniería de Pavimentos. Evaluación estructural, obras de mejoramiento y nuevas tecnologías. Alfonso Montejo Fonseca. 3ra Edición. Tomo 2.
- ❖ Ingeniería de Pavimentos. Fundamentos, estudios básicos y diseño. Alfonso Montejo Fonseca. 3ra Edición. Tomo 1.
- ❖ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente. Asphalt Institute. Serie de Manual 22. Febrero 1992.