



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO**

Instituto Tecnológico de Boca del Río
Departamento de División de Estudios Profesionales



**SECRETARIA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**“TREN MAYA. SOLUCIÓN PLUVIAL EN LA ZONA DE SERVICIOS DE
VALLADOLID, YUCATÁN”**

TESIS

**REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA
VALERIA JIMÉNEZ CALDERÓN**

**ASESOR
ING. JESÚS LÓPEZ ORTEGA**

ABRIL 2023

BOCA DEL RÍO, VERACRUZ

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por permitirme llegar a este momento tan especial gozando de buena salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor, pero sobre todo por darme la dicha de estar rodeada de personas tan especiales que me acompañaron en este proceso.

A mis padres Miguel Ángel Jiménez y Teresa Calderón, por su apoyo incondicional y darme las herramientas necesarias para mi futuro, por ser mis pilares y mi motivación diaria, por formarme y guiarme en el camino. Sin ustedes, no hubiera logrado llegar a este punto.

A mi hermana Daniela Jiménez, por ser un ejemplo que seguir de constancia y perseverancia, además por nunca dejarme de dar ánimos y acompañarme en esos días en que más necesitaba unas palabras de ánimo.

A ti, Juan Carlos Hernández, compañero de vida, por ser unos mis motores más importantes, por los días en los que nunca te separaste de mí y estuviste a mi lado apoyándome, por creer en mí y hacerme ver que con disciplina y muchas ganas de salir adelante, uno puede conseguir lo que desee. Y porque aun estando a distancia, nunca me soltaste de la mano.

A mis amigos, que también fueron parte importante, por darme su confianza y cariño, pero sobre todo porque me hicieron ver que estar rodeada de las personas correctas, puedes lograr lo que te propongas.

Y a las mascotas de la familia, porque en mis noches de desvelo estaban a lado mío, demostrando que ellos también pueden ser tus mejores amigos dándote momentos de alegría.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Boca del Río (ITBOCA), por haberme brindado la oportunidad y el respaldo para el desarrollo profesional durante mi estancia, siendo este mi segundo hogar.

Gracias a cada uno de los profesores que compartieron sus enseñanzas a lo largo de la carrera y por estar al pendiente de nuestro desarrollo profesional.

Al Ingeniero Jesús López Ortega por brindarme asesoría durante esta etapa y sobre todo por darse el tiempo de poder sacar el proyecto de la mejor manera.

Así también, agradezco a mis amigos y compañeros que, durante estos años, compartimos experiencias e hicieron ver que la carrera no es tan difícil cuando estás rodeada de buenos momentos, pero sobre todo por los aprendizajes ganados.

INDICE

Contenido

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
INDICE.....	4
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVOS	7
1. METODOLOGÍA.....	8
1.1 Norma Aplicable.....	8
1.2 Información Pluviométrica.	8
1.3 Método de los Polígonos de Thiessen.....	9
1.4 Uso de suelo y vegetación.....	14
1.5 Períodos de retorno para el gasto de diseño.	14
1.6 Parámetros hidráulicos.....	15
2. ANTECEDENTES	18
2.1 Dimensionamiento de Drenaje en la zona.	18
2.2 Estructuras de protección y complementarias al Drenaje.	20
3. ESTUDIOS.....	27
3.1 Análisis Hidráulico.	27
3.2 Modelo Tramo 7098+000 – 7098+600.	27
4. PROBLEMÁTICA	31
5. SOLUCIÓN	34
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	41
7. GLOSARIO	43
8. BIBLIOGRAFÍA.....	45

RESUMEN

En la presente tesis, se expone la selección, ubicación y diseño del conjunto de obras destinadas a la recolección de aguas pluviales en los sistemas de alcantarillado a lo largo de la autopista del Tren Maya específicamente en una sección de 0.82 km, entre los estacionamientos 152+780 a 153+600 donde se encuentra el área de servicios ubicada en el tramo 7098+000 a 7098+820. Este conjunto de obras forma parte del Drenaje Superficial, donde se pretende reducir al máximo la cantidad de agua que intercepta en la autopista, desalojándola rápidamente, evitando la erosión. En este sentido, tiene como propósito la preservación de esta zona, debido a la función social y económica que representa, así como, el elevado costo que implicaría su reparación si fuera dañada.

INTRODUCCIÓN

El Tren Maya es una línea de ferrocarril propuesta por el actual gobierno mexicano, que se construirá en la Península de Yucatán, entre los estados mexicanos de Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo. El proyecto completo involucra una obra de más de 1,500 km y busca generar conectividad en toda la Península.

Es un proyecto integral de ordenamiento territorial e infraestructura, dirigido al crecimiento económico y turismo sostenible, traducido en integrar territorios de riqueza natural, cultural y bienestar social. Constituirá un servicio de transporte férreo de carga y pasajeros que interconectará las principales ciudades y zonas turísticas de la región sur-sur este del país, comunicando cinco de los estados con mayor potencial turístico dentro de la República Mexicana: Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

Para la elaboración de esta tesis, se enfocó en el Tramo 4 que va de Izamal a Cancún, ubicado en el sureste de la República Mexicana, iniciando en la estación Izamal y finalizando en la estación Cancún, dicho tramo abarca un total aproximado de 270 km de longitud, el cual recorre en dirección oeste – este los estados de Yucatán y Quintana Roo. Este tramo representa aproximadamente el 13.3 % de la longitud total del proyecto.

OBJETIVOS

Definir el tipo de obra de drenaje. En este caso se pretende implementar nuevos “Pozos de Absorción” en la Zona de Servicios de Valladolid, complementándolos con los ya existentes, para evitar afectaciones e inconvenientes tanto a los establecimientos como a los ciudadanos que circulan por dicha zona, con el propósito que se mitigan daños por inundaciones. Esto, debido a que las particularidades topográficas del sitio donde se encuentra ubicada la zona de servicios, no permiten el desalojo de las aguas por medio de tuberías de alivio ni obras transversales.

De ahí, la importancia de que dicho sistema garantice la continuidad del flujo de las corrientes, llevándolas o dejándolas en sitios donde no provoquen daños y/o inundaciones a la zona estudiada.

1. METODOLOGÍA

1.1 Norma Aplicable.

La metodología y alcance de los trabajos para este proyecto se realizan tomando los lineamientos de la normativa mexicana vigente, específicamente las normas y manuales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y el Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA para el proceso de la información.

1.2 Información Pluviométrica.

Para la realización del Estudio Hidrológico de dicha zona, se identificaron las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona y que preferentemente se encuentren actualmente operando, eligiendo la cantidad de estaciones necesarias para generar los polígonos de Thiessen y obtener las áreas de influencia en la zona de estudio.

Inicialmente se obtuvieron los registros de datos diarios de precipitación de las estaciones meteorológicas, de la base de datos disponibles del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), perteneciente a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), por medio de la base de datos denominada “CLICOM” (Clima Computarizado), a través de su portal (<http://clicom-mex.cicese.mx>).

Sin embargo, debido a que los datos de la base de datos CLICOM no siempre se encuentra actualizada, se recurrió a la página de Información Estadística Climatológica de la SMN CONAGUA (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacionclimatologica/informacion-estadisticaclimatologica>), donde se pudo acceder a los datos de las estaciones, que en algunos casos contaban con registros un poco más actualizados, hasta el año 2017 inclusive.

Para obtener los registros más recientes, que cubran al menos hasta el año 2019 inclusive, se recurrió a la oficina técnica de la dirección local de CONAGUA en

Quintana Roo y a la oficina técnica del Organismo de Cuenca Peninsular de CONAGUA en Yucatán. De esta manera, las estaciones climatológicas consideradas de manera inicial fueron las siguientes:

CLAVE	NOMBRE	CONDICIÓN	ESTADO	MUNICIPIO	CUENCA	LATITUD (N)	LONGITUD (W)
23011	Kantunilkin	Operando	QROO	Lázaro Cárdenas	Quintana Roo	449563.9909	2332827.0756
23014	Leona Vicario	Operando	QROO	Puerto Morelos	Quintana Roo	478755.2619	2320866.3413
23027	Victoria	Operando	QROO	Lázaro Cárdenas	Quintana Roo	470828.2300	2298998.3789
23155	Cancun	Operando	QROO	Benito Juárez	Quintana Roo	518656.4685	2339500.7760
23157	Ideal	Operando	QROO	Lázaro Cárdenas	Quintana Roo	443168.2136	2309207.0745
31011	Dzitas	Operando	YUC	Dzitas	Yucatan	341125.52	2304883.44
31015	Izamal Escuela	Operando	YUC	Izamal	Yucatan	289391.76	2316494.73
31036	Valladolid (OBS)	Operando	YUC	Valladolid	Yucatan	374585.37	2288305.40
31042	Valladolid (DGE)	Operando	YUC	Valladolid	Yucatan	373291.6804	2289421.9964
31068	Chan Cenote	Operando	YUC	Tizimin	Yucatan	418523.31	2321329.12
31069	Chemax	Operando	YUC	Chemax	Yucatan	402597.68	2283538.31
31071	Holca	Operando	YUC	Kantunil	Yucatan	298660.41	2296514.46
31075	Catzin	Operando	YUC	Chemax	Yucatan	409989.92	2296314.31
31086	Kuxeb	Operando	YUC	Chemax	Yucatan	409461.07	2306345.04
31088	Piste	Operando	YUC	Tinum	Yucatan	335149.90	2288799.33
31105	Temax	Operando	YUC	Temax	Yucatan	296715.94	23410796.27

Tabla 1. Estaciones climatológicas en la Zona de Influencia del estudio.

1.3 Método de los Polígonos de Thiessen.

Para calcular la influencia de cada estación climatológica que se tiene en el área de estudio, se utiliza el método de los polígonos de Thiessen. Este método atribuido a Alfred H. Thiessen trata de tomar en cuenta la distribución no uniforme de los pluviómetros en el área, mediante una ponderación de cada uno de ellos.

Ventajas del método

1. Conduce resultados usualmente más exactos de los obtenidos con el promedio aritmético, cuando se usa un buen número de estaciones.
2. Permite utilizar redes pluviométricas con distribución no uniforme.
3. Pluviómetros localizados a corta distancia del parteaguas de la cuenca pueden ser usados.

4. Rinde resultados consistentes con el método es aplicado por diferentes personas.
5. Es adaptable al procedimiento automático de datos.
6. Es relativamente fácil de usar cuando los polígonos de cada estación han sido cuantificados.

Desventajas del método

1. No tome en cuenta las influencias topográficas, pues considera variación lineal de la lluvia entre los pluviómetros.
2. Todos los polígonos deben ser nuevamente evaluados cuando la red cambia.
3. Implica más trabajo que el método aritmético.

Procedimiento

Los polígonos o áreas de influencia se crean al unir las estaciones entre sí mediante segmentos, luego se trazan mediatrices entre los segmentos de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de áreas poligonales en un espacio bidimensional alrededor de cada estación, de manera que el perímetro de dichos polígonos sea equidistante a las estaciones vecinas. El mapa resultante se muestra en la Figura 1. En base a éste, se puede establecer que las estaciones que se constituyen en los vecinos más cercanos de las diferentes áreas de interés del proyecto (que ejercen influencia sobre las áreas definidas por las cuencas y el buffer indicado), son las siguientes: 31-011, 31-088, 31-105, 31-042, 31-036, 31-069, 31-086 y 31-068.

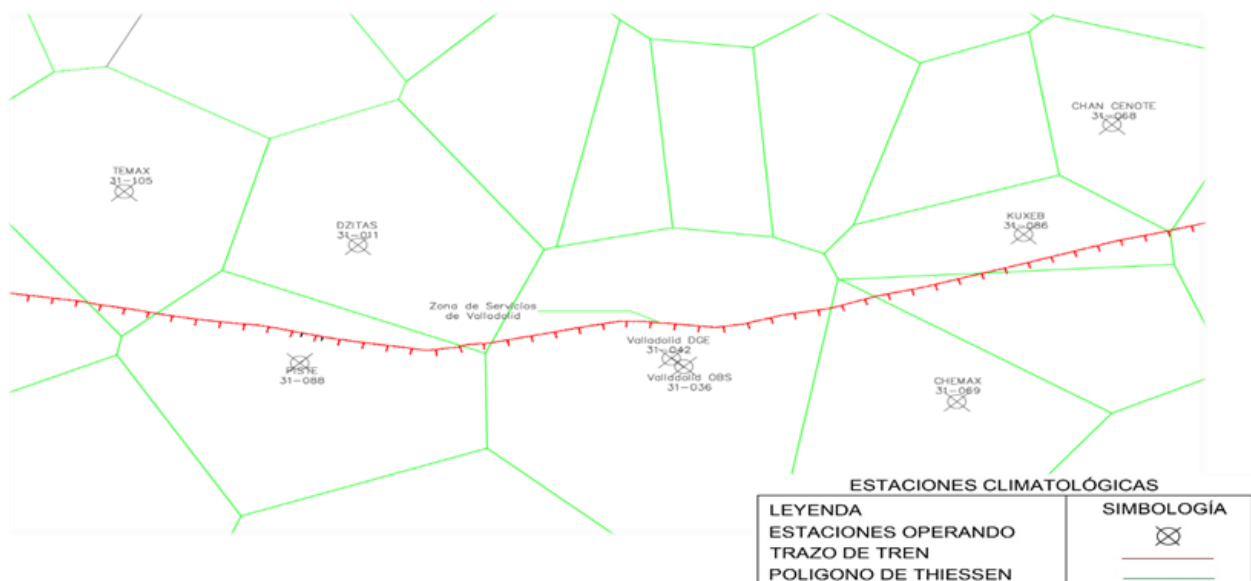
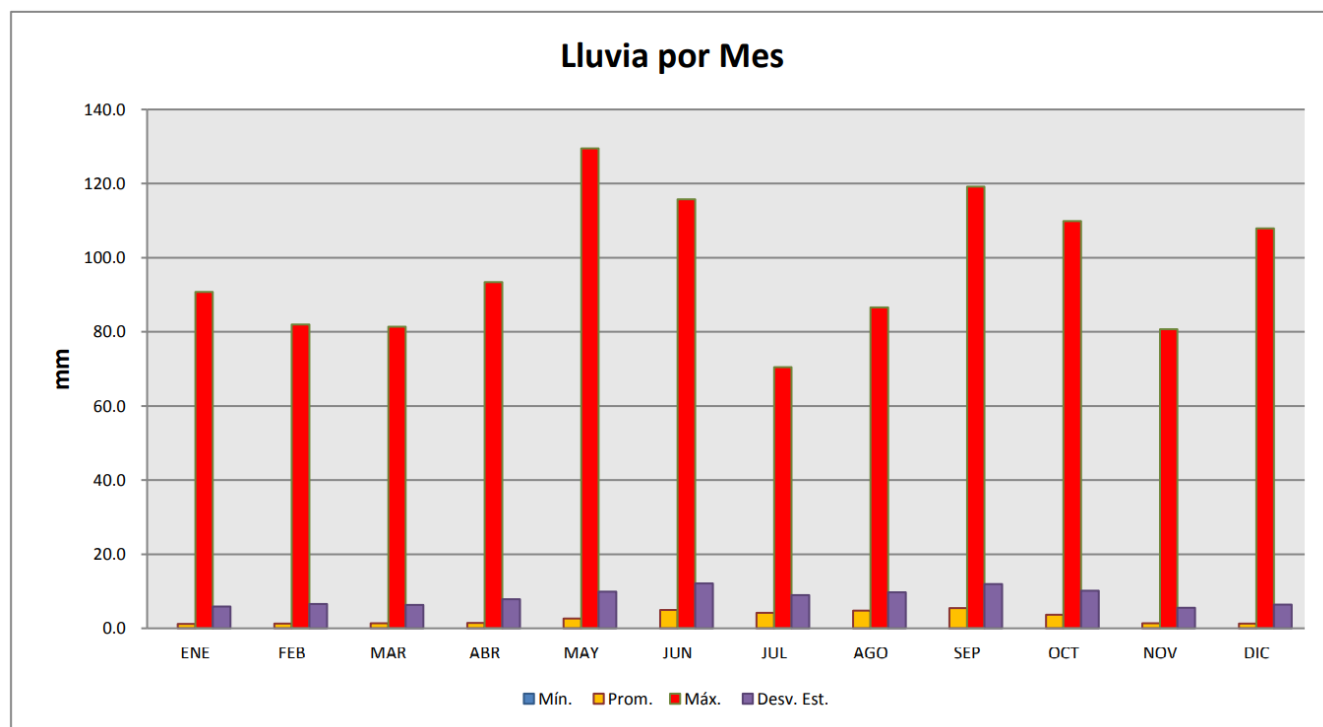


Figura 1. Polígono de Thiessen

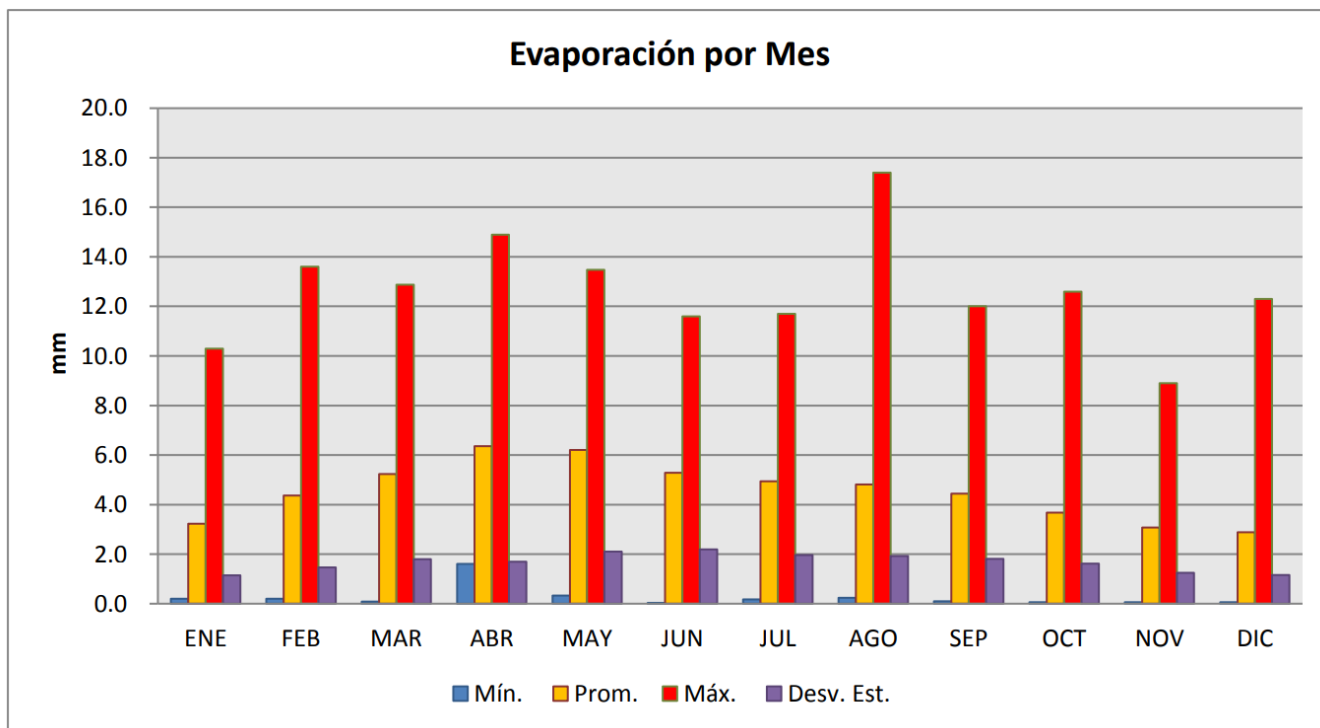
De las 8 estaciones climatológicas ubicadas en la zona de influencia, y al obtener los polígonos de Thiessen se obtiene que solo una estación se encuentra dentro del proyecto, que es la estación climatológica Valladolid OBS (31-036).

Los registros diarios de lluvia se realizan a una hora fija cada día, usualmente a las 8:00 de la mañana, por lo que los valores máximos diarios, no representan necesariamente los valores máximos ocurridos en intervalos de 24 horas. Varios autores señalan este aspecto, entre ellos Campos Aranda (1998), estableciendo que aproximadamente los valores máximos de cada año de 24 Horas de duración serían un factor 1.13 veces mayores que los valores máximos diarios. Sin embargo, actualmente CONAGUA es de la opinión que dichos factores no han sido adecuadamente corroborados, por lo que, para fines del presente estudio, se ha recomendado no aplicar ningún coeficiente de mayoración a los datos de precipitaciones máximas diarias

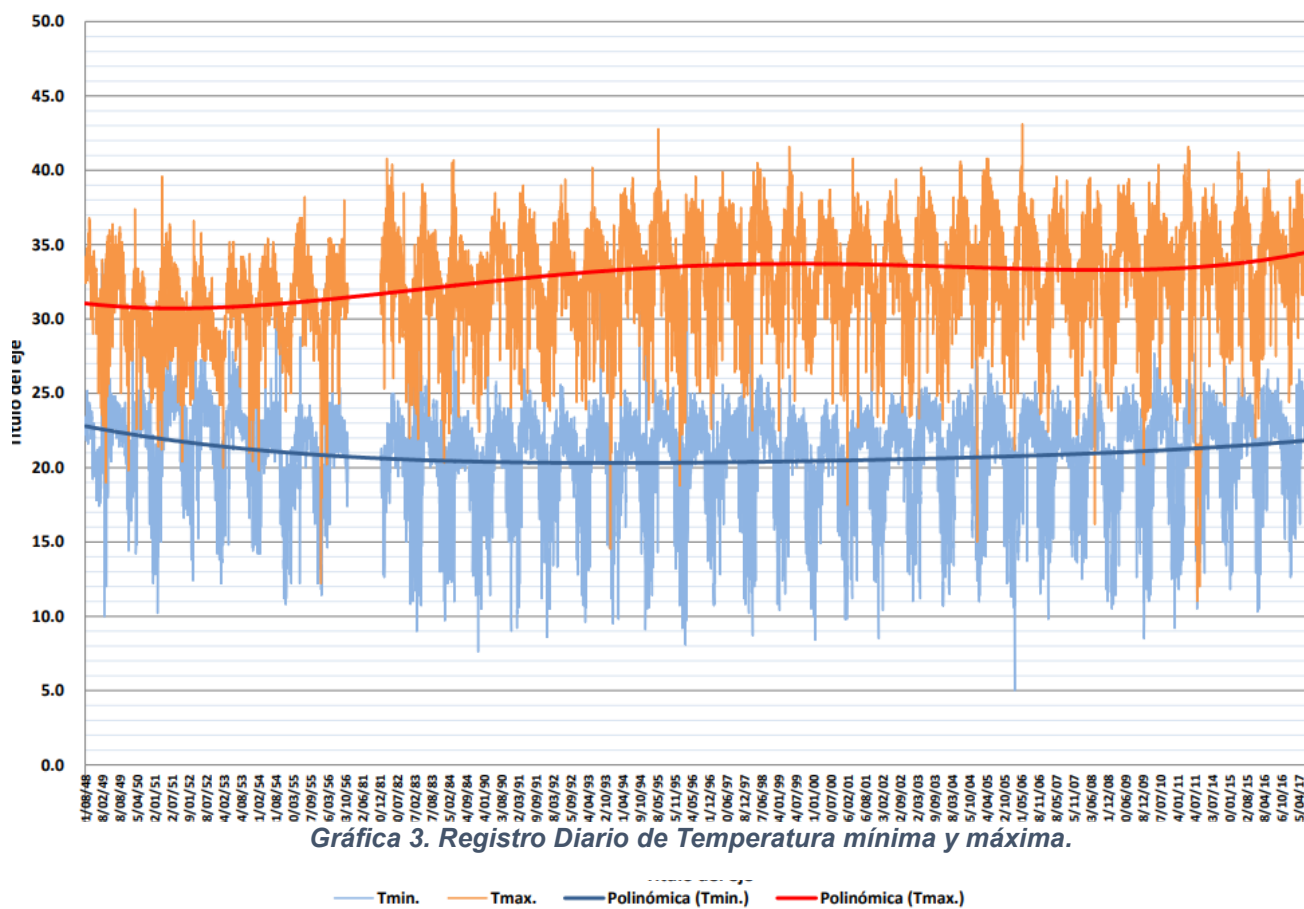
En consecuencia y para efectos del análisis de precipitaciones a realizar para el estudio de crecidas, en base a la derivación de tormentas de diseño, se utilizarán como base Los siguientes datos obtenidos de la SMN-CG-GMC-SMAA-Climatología CONAGUA.



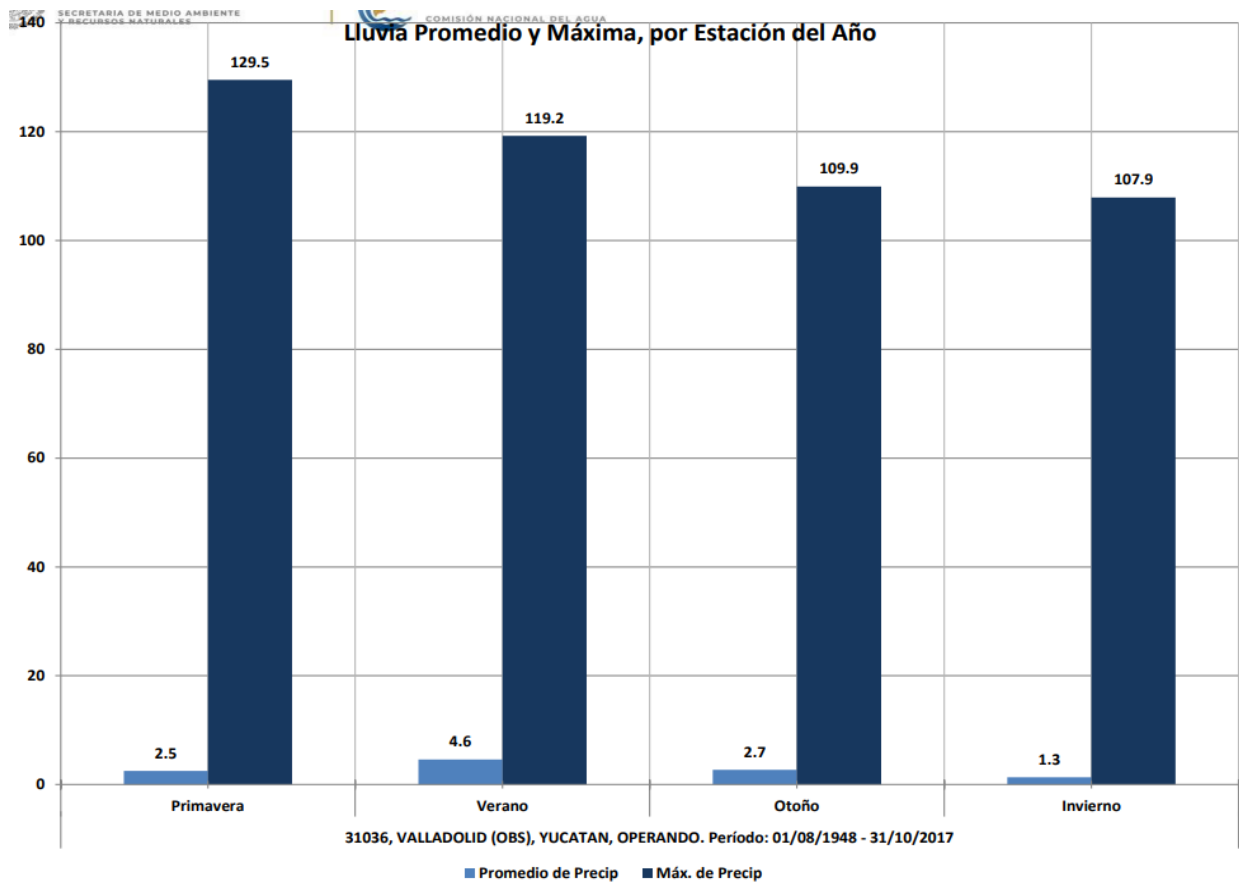
Gráfica 1. Lluvia por mes (mm) en Estación Valladolid OBS.



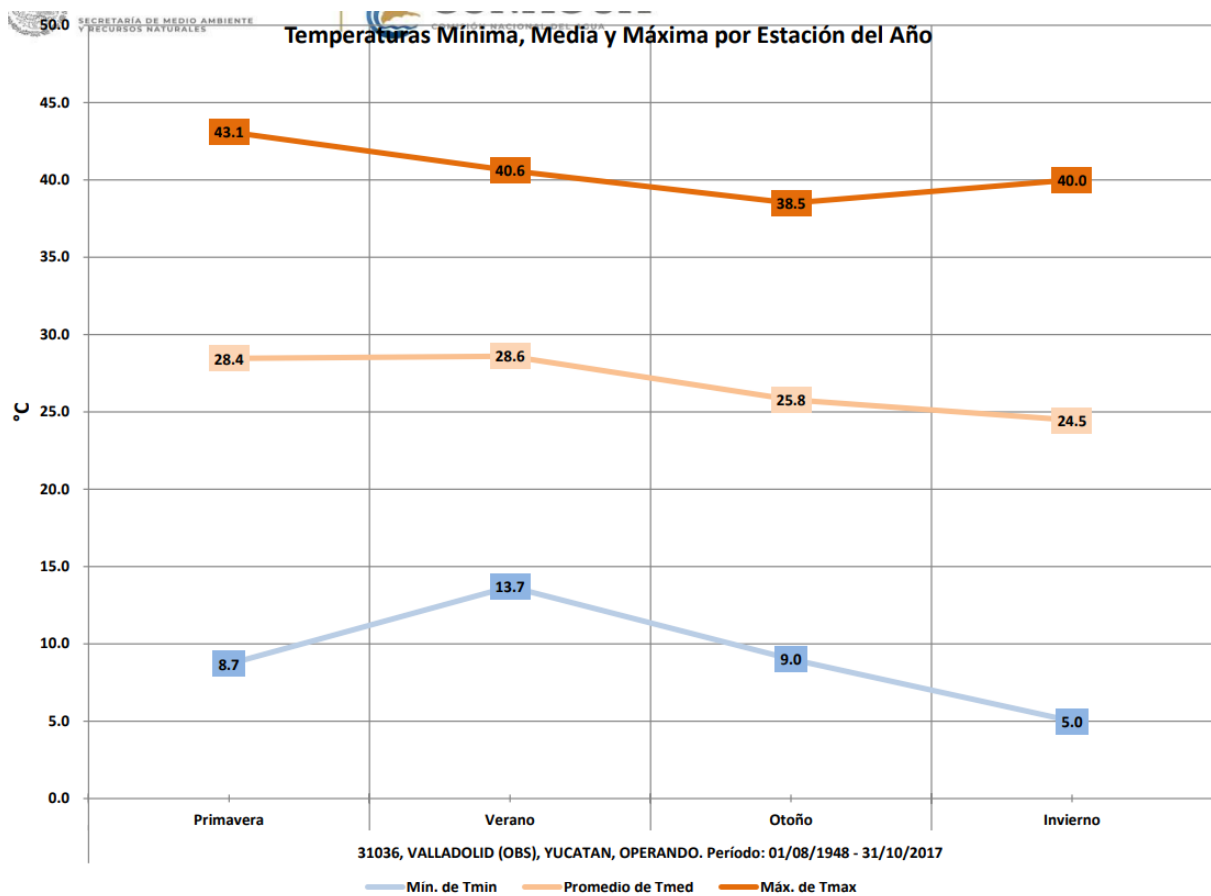
Gráfica 2. Evaporación por mes (mm) en Estación Valladolid OBS.



Gráfica 3. Registro Diario de Temperatura mínima y máxima.



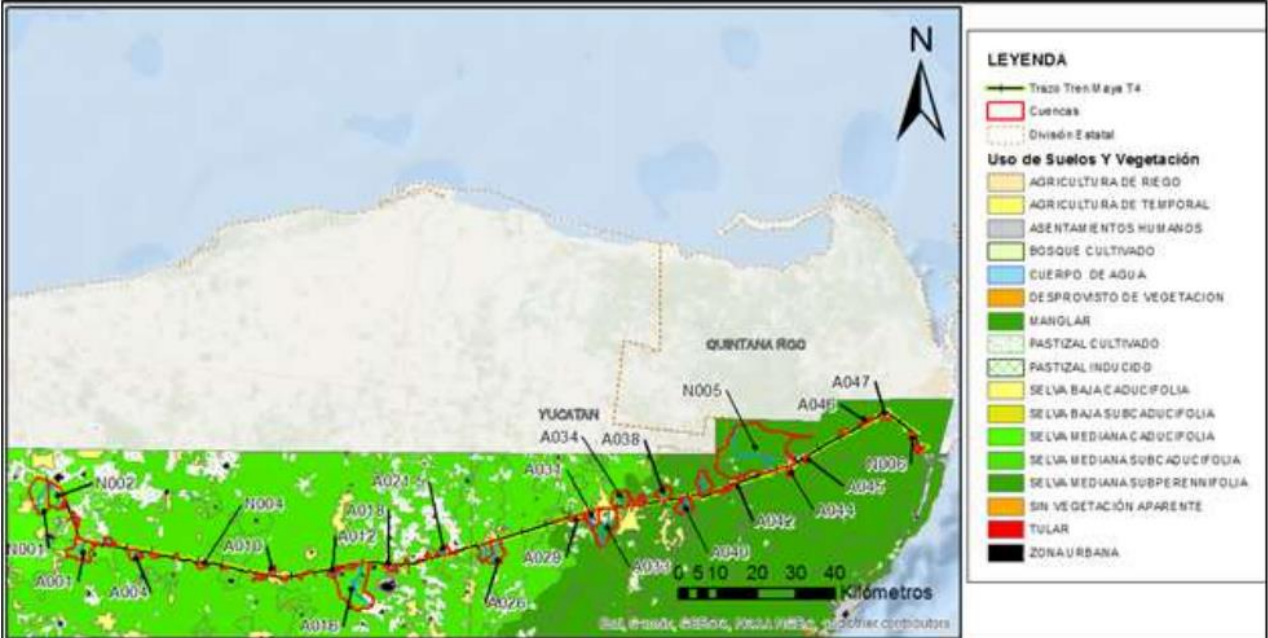
Gráfica 4. Lluvia promedio y máxima por estación de año en Estación Valladolid OBS.



Gráfica 5. Temperatura mínima, media y máxima en Estación Valladolid OBS.

1.4 Uso de suelo y vegetación.

El uso del suelo comprende las acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla. El uso de suelo y la cobertura vegetal que se presenta en la zona de estudio incide directamente en su respuesta hidrológica. En la zona predominan los usos de suelo Selva mediana Subcaducifolia y Selva mediana Subperennifolia.



1.5 Períodos de retorno para el gasto de diseño.

Como normativa, CONAGUA tiene la siguiente definición de períodos de retorno para obras de drenaje en proyectos carreteros:

Estructura	Tipo de vialidad	Localización Geográfica	Periodo de Retorno Tr (años)
En caminos locales que comunican poblados de menos de 100.000 habitantes.	Carretera Estatal o municipal	1	10
		2	25
En caminos regionales que comunican poblados de más de 100.000 habitantes y hasta 500.000 habitantes	Jurisdicción federal ET.C. D	1	25
		2	50
En caminos locales que comunican poblados de más de 500.000 habitantes.	Jurisdicción federal ET.A. B	1	50
		2	100

Tabla 2. Alcantarillas para el paso de corrientes no visualizadas en el simulados de flujos de agua de cuencas hidrográficas (SIATL)

Fuente: Extracto documento de CONAGUA, archivo, OFICIO_01 No. 3.2.202.-776/18, CONAGUA-SCT

En el tramo en estudio, las intensidades de lluvia a utilizar para las Obras de Drenaje son con un periodo de retorno de *50 años*. En la Tabla se muestran las intensidades de lluvia con periodo de retorno de 50 años para la estación climatológica a su vez para cada duración de tormenta.

Intensidades de lluvia a 50 años										
Minutos	5	10	20	30	60	120	150	180	240	1440
Horas	0.08	0.17	0.33	0.5	1	2	2.5	3	4	24
Periodo de retorno	Intensidad de precipitación (mm/h)									
Valladolid	228.88	178.33	127.60	101.43	65.67	41.04	35.11	30.87	25.14	6.82

Tabla 3. Intensidades de lluvia con Periodo de Retorno de 50 años.

1.6 Parámetros hidráulicos

Estos valores fueron obtenidos en su mayoría de estudios que se han realizado en la zona, mediante pruebas directas en campo o en laboratorio a muestras o núcleos de roca obtenidos del sitio. Cabe mencionar que el objetivo de este estudio es para que se tenga una idea del comportamiento regional de la zona estudiada. Como parte de este estudio, se realizaron pruebas de permeabilidad en tres pozos de infiltración ubicados dentro de la zona.

Las pruebas de permeabilidad se realizaron con la técnica de carga variable, ingresando agua al pozo, estableciendo el aumento del tirante y midiendo la variación de dicho tirante (carga) con el tiempo.

En la Figura 3 se muestra la ubicación de los pozos seleccionados para la realización de pruebas de permeabilidad ubicado aproximadamente a 4.5 km de la estación de servicio y en la Tabla 4 se muestran las coordenadas de su ubicación.

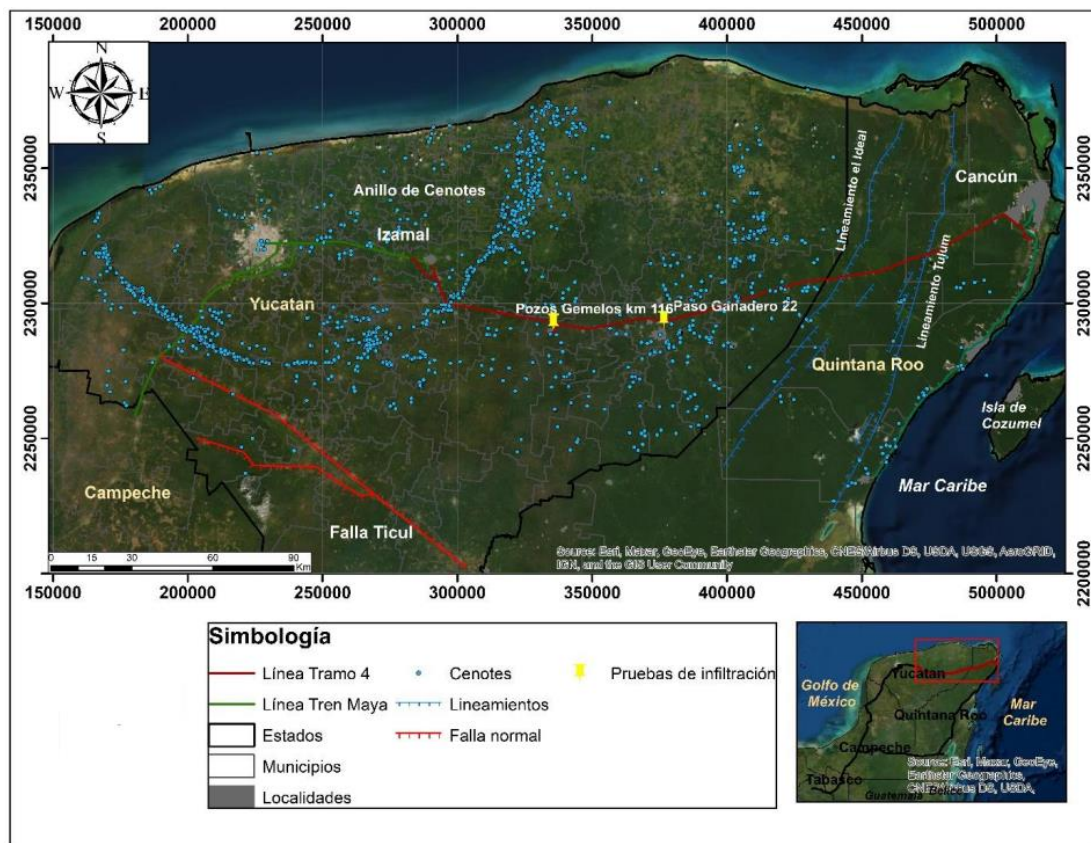


Figura 3. Ubicación de los Pozos para las pruebas de infiltración.

Pozo	X UTM	Y UTM
Paso Ganadero 22	376648	2293764
Pozos Gemelos km 116	335694	2292796

Tabla 4. Coordenadas de los Pozos para las pruebas de Infiltración.



Imagen 1. Prueba de Infiltración en Pozo de Absorción Paso Ganadero 22.



Imagen 2. Prueba de infiltración en pozos gemelos Km 116.

Los resultados de permeabilidad dieron en promedio en el rango entre 1.66×10^{-2} y 7.80×10^{-2} m/s, que se ubican muy bien dentro de los resultados reportados en la literatura, sobre permeabilidades de la zona.

La profundidad del nivel del agua freática en esta zona es mayor a 20 m y la elevación es de aproximadamente 5 msnm, por lo que no se considera que la profundidad de desplante de las estructuras pueda generar afectaciones al acuífero. Debido a que de la profundidad de 0 a 5 m el suelo no tiene la capacidad de infiltrar no se considera esa longitud para el cálculo de la profundidad de los pozos; utilizando el coeficiente de permeabilidad asignado para la profundidad de los 5 a 25 m, para desalojar el volumen de agua generado y de acuerdo con los cálculos realizados se requiere la construcción de pozos de infiltración de 20 metros de profundidad.

2. ANTECEDENTES

2.1 Dimensionamiento de Drenaje en la zona.

En este tramo del proyecto donde se encuentra ubicada la zona de servicio se presentan condiciones particulares que conllevan a desarrollar un proyecto de diseño detallado.



Figura 4. Ubicación de la Zona de Servicio de Valladolid.

Entre estas particularidades están:

- *Alineamiento horizontal:* La carretera amplía la separación entre los cuerpos para alojar entre ellos la zona de servicio, por lo que el diseño geométrico contempla mantener esta condición.
- *Alineamiento vertical:* En la condición actual la zona de servicio se encuentra en un punto bajo, esta condición se mantiene según el diseño geométrico.
- *Bombeos y sobrelevaciones:* Debido a la apertura que se genera entre los cuerpos de la carretera, se generan curvas horizontales y transiciones de peraltes que condicionan el escurrimiento hacia la zona de servicio.

- *Elementos de drenaje existentes:* La zona de servicio existente cuenta con bordillos en ambos laterales de las vías de acceso a la misma y camellones que la separan de los carriles principales de circulación. Los escurrimientos son desalojados hacia las zonas verdes o hacia los pozos de absorción existentes.



Imagen 3. Carril de Servicio Lado Sur.



Imagen 4. Carril de Servicio Lado Norte.



Imagen 5. Pozo de Absorción existente en Camellón de Carril de Servicio.

2.2 Estructuras de protección y complementarias al Drenaje.

De acuerdo con el manual M-PRY-CAR-4-02-002/16 Diseño hidráulico de obras complementarias de drenaje de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, los elementos existentes en la zona para el manejo de los escurrimientos son los siguientes:

2.2.1 Bordillos

Los bordillos son elementos que interceptan y conducen el agua que por el efecto del bombeo corre sobre la corona del camino y/o ferrocarril, descargándola en los lavaderos, para evitar la erosión de los taludes de los terraplenes que estén conformados por material erosionable. Los bordillos pueden ser de concreto hidráulico, prefabricado o construido en el lugar, de concreto asfáltico o de suelo cemento. En todos los casos los bordillos se considerarán obras provisionales en tanto el talud se vegete y se proteja por sí mismo o sea protegido mediante algún procedimiento, momento en que serán removidos y retirados.

Debido a las condiciones particulares de la zona de servicio, los carriles de servicio, así como el camellón que los separa de los carriles de la carretera cuentan con bordillo.

Bordillo Lateral Izquierdo		Bordillo Lateral Derecho	
Est. Inicio	Est. Final	Est. Inicio	Est. Final
153+160	153+195	153+104	153+257
153+195	153+230		
153+230	153+258		

Tabla 5. Ubicación de Bordillos Eje Auxiliar 1.

Bordillo Lateral Izquierdo		Bordillo Lateral Derecho	
Est. Inicio	Est. Final	Est. Inicio	Est. Final
		152+627	152+835
		152+835	152+993
		153+373	153+505
		153+505	153+645

Tabla 6. Ubicación de Bordillos Eje Auxiliar 3.

Bordillo Lateral Izquierdo		Bordillo Lateral Derecho	
Est. Inicio	Est. Final	Est. Inicio	Est. Final
152+680	152+845		
152+845	152+990		
153+374	153+455		
153+455	153+733		

Tabla 7. Ubicación de Bordillos Eje Auxiliar 4.

2.2.2 Lavaderos

Los lavaderos son canales que conducen y descargan el agua recolectada por los bordillos, cunetas, contracunetas y guarniciones, a lugares donde no cause daño a la estructura del pavimento. Los lavaderos pueden ser de mampostería, concreto hidráulico o metálicos.

En ningún caso se construyeron lavaderos en los tramos analizados donde se tiene una pendiente longitudinal menor de 0,5%.

Lavaderos de Eje Auxiliar 1	
Izquierdo	Derecho
153+195	
153+230	
153+258	

Tabla 8. Ubicación de Lavaderos Eje Auxiliar 1.

2.2.3 Depósitos de Detención.

Los depósitos de detención pueden ser de dos tipos, en superficie o enterrados.

Los depósitos superficiales diseñados para almacenar temporalmente los volúmenes de escorrentía generados aguas arriba, laminando los caudales punta, favorecen la sedimentación y con ello la reducción de la contaminación. Pueden emplazarse en “zonas muertas” o ser compaginados con otros usos, como los recreacionales, en parques e instalaciones deportivas. Los depósitos o estanques superficiales se ubican generalmente en depresiones del terreno o áreas excavadas para tal propósito, en zonas donde todavía es posible localizarlos pues existe terreno no urbanizado.

Cuando no se dispone de terrenos en superficie, o en los casos en que las condiciones del entorno no recomiendan una infraestructura a cielo abierto, estos depósitos se construyen en el subsuelo (llamados también tanques de tormentas) se fabrican con materiales diversos, siendo los de concreto armado y los de materiales plásticos los más habituales. Los depósitos subterráneos pueden ser la única solución en zonas urbanas altamente desarrolladas y consisten principalmente en un tanque de tormentas.

El funcionamiento hidrológico de ambos es igual, lo que cambia es la manera como se evalúa el volumen disponible en cada cota, así como las condiciones de entrada y salida del gasto.

En el lado norte de la Zona de Servicio existe la construcción de dos depósitos de detención superficiales con las siguientes características:

Depósito 1 (Inicio 152+980 hasta 153+060)

- Ancho de depósito 2 m de base
- Cota de fondo 23 msnm
- Taludes H1.5:1V

Depósito 2 (Inicio 153+160 hasta 153+380)

- Ancho de depósito 2m de base
- Cota de fondo 21msnm
- Taludes H1:1V

2.2.4 Pozos de Absorción.

Obra de ingeniería diseñada especialmente para infiltrar agua de lluvia al subsuelo, constituida por una captación o alcantarilla, una caja desarenadora y una caja de infiltración; esta última funciona como pozo o puede derivar sus excedentes a uno. En este tipo de pozos no se controla la calidad del agua, ya que ésta es infiltrada en la zona no saturada en la que se espera se obtenga una depuración adicional antes de llegar al acuífero.

En la Zona de Servicio de Valladolid existe un sistema de pozos de absorción que actualmente manejan las aguas de lluvias que se generan en las zonas de estacionamientos y carriles de servicio internos, localizados sobre los camellones existentes.



Imagen 6. Inspección realizada a pozo de absorción existente en Zona de Servicio Valladolid.



Imagen 7. Pozo de Absorción existente de excavación simple.

2.2.5 Cunetas revestidas.

Para la zona de servicio (lado autopista) se tiene la utilización de diversos tipos de cunetas, las cuales se describen a continuación:

Cuneta Tipo 1: Cuneta situada en la carretera donde las condiciones de terracería generaron taludes de corte.

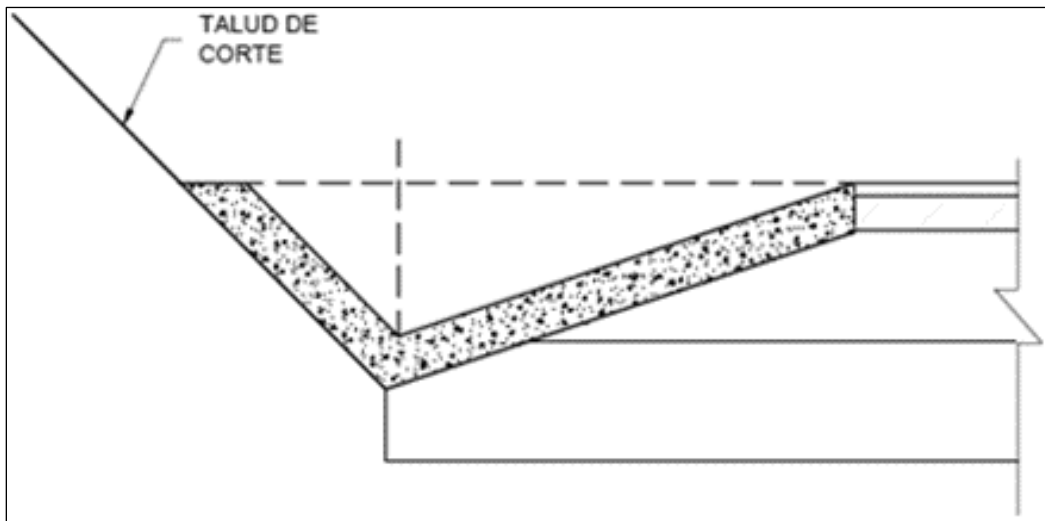


Figura 5. Cuneta tipo 1 (Lateral izquierdo y derecho de carretera)

Cuneta Tipo 2: Cuneta que funciona como lecho de infiltración y solo se requirió por alguna condición en particular donde no pudo aplicarse las cunetas tipo 1.

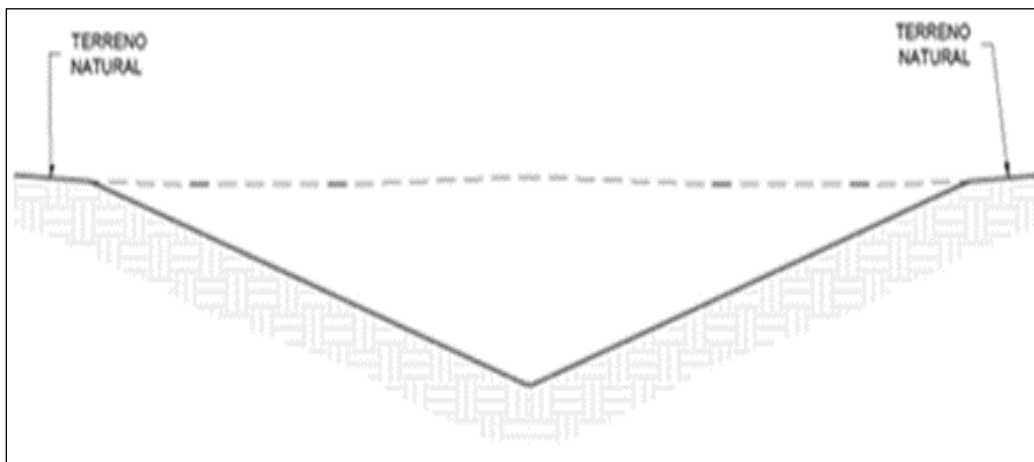


Figura 6. Cuneta tipo 2 (Cuneta en franja central).

DE	A	LATERAL	TIPO
EJE AUXILIAR 1			
152+740	152+900	Izquierdo	Tipo 1
153+260	153+280	Izquierdo	Tipo 1
153+580	153+680	Izquierdo	Tipo 1
153+860	153+880	Izquierdo	Tipo 1
EJE AUXILIAR 2			
152+410	152+480	Derecho	Tipo 1
153+520	153+580	Derecho	Tipo 2
153+600	153+680	Derecho	Tipo 1
153+680	153+700	Derecho	Tipo 1
153+860	153+880	Derecho	Tipo 1
153+970	153+990	Derecho	Tipo 1
154+010	154+030	Derecho	Tipo 1

Tabla 9. Ubicación de cunetas.

3. ESTUDIOS

3.1 Análisis Hidráulico.

Las características del área de estudio se basan del modelo realizado en HEC-RAS, presentando los resultados en los mapas de inundación los cuales muestran los resultados de zonas de anegaciones presentes en el área de estudio, son producto de fenómenos de encharcamiento y acumulación de agua producto a procesos de impacto directo de precipitación en el suelo, además de la interacción de este, y no así a desbordes de cauces activos producto a fenómenos fluviales desarrollados en los cuerpos de agua, por la inexistencia de estos.

Por esta razón, es que se analizaron metodologías de cálculos de volúmenes de la formación de fenómenos de escurrimiento directo la Zona de Servicios, que promuevan la formación de charcos y áreas de acumulación, producto a la ocurrencia de eventos extremos de precipitación. Unas limitaciones de esta área es que se encuentra la zona de servicio existente por la cual no se puede modificar los niveles de las rasantes.

3.2 Modelo Tramo 7098+000 – 7098+600.

A continuación, se presentan los resultados del modelo HEC-RAS del tramo 7085+000 a 7110+000, mostrando específicamente el tramo 7098+000 a 7098+600 en base al modelo de terreno LIDAR, disponible con referencia a la geometría de la autopista de la última versión suministrada.

La referencia utilizada es de los mapas de niveles de elevación de superficie agua (WSE) y el nivel profundidad de agua, donde se observa el efecto de estancamiento del agua en toda la zona, confirmando que no existen cursos de agua definidos, también puede observarse que la carretera se encuentra casi en su totalidad por encima de los niveles de inundación generados por la tormenta con periodo de retorno de 100 años. A continuación, en la figura 7 y 8 se presentan los mapas de referencia, las cuales podemos observar las zonas de encharcamiento cercanos a la autopista.

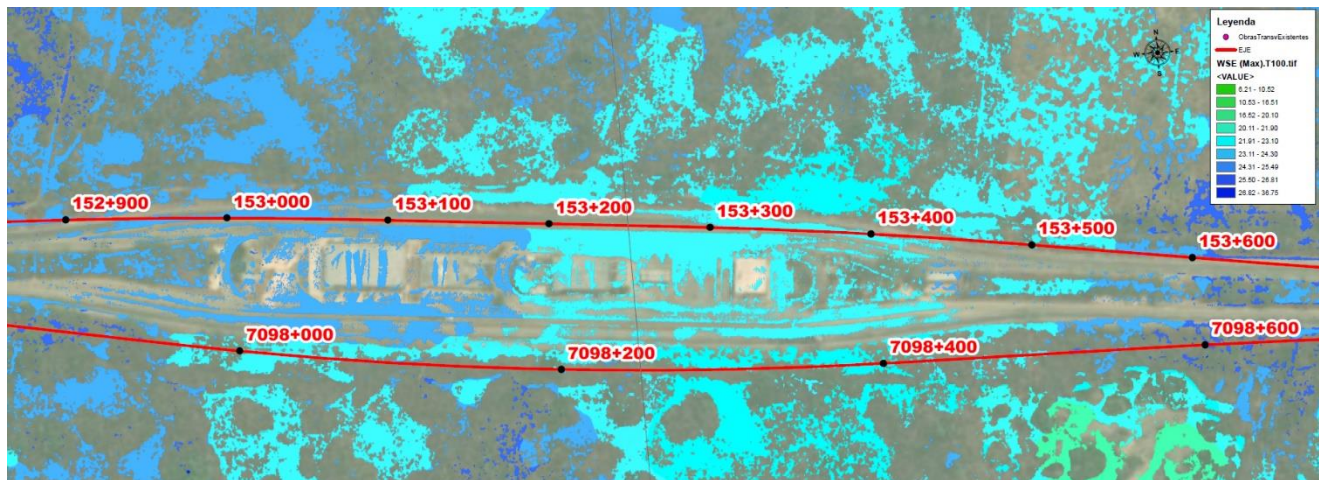


Figura 7. Mapa de Niveles de Elevación de superficie de agua WSE.

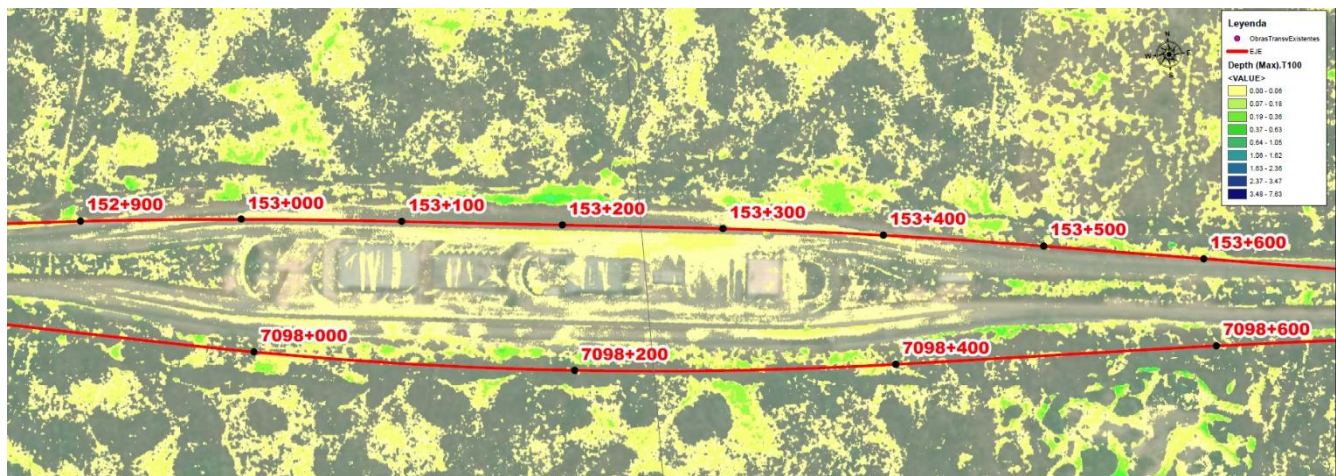


Figura 8. Mapa de Niveles de profundidad de agua.

3.2.1 Volúmenes de las zonas de encharcamientos.

La metodología para la estimación de volúmenes de agua en las zonas de encharcamientos utilizada es la de comparación de superficie opción de superficies en el AutoCAD Civil 3D que permite especificar el área y volumen que se genera entre superficie del terreno LIDAR y la superficie de agua para 100 años (WSE).

En las siguientes ilustraciones, en las estaciones 153+000, 153+300 y 153+500 se muestran las áreas y volúmenes de estas depresiones.



Figura 9. Área de zona de encharcamiento de estudio de la estación 153+00, Depresión 01.

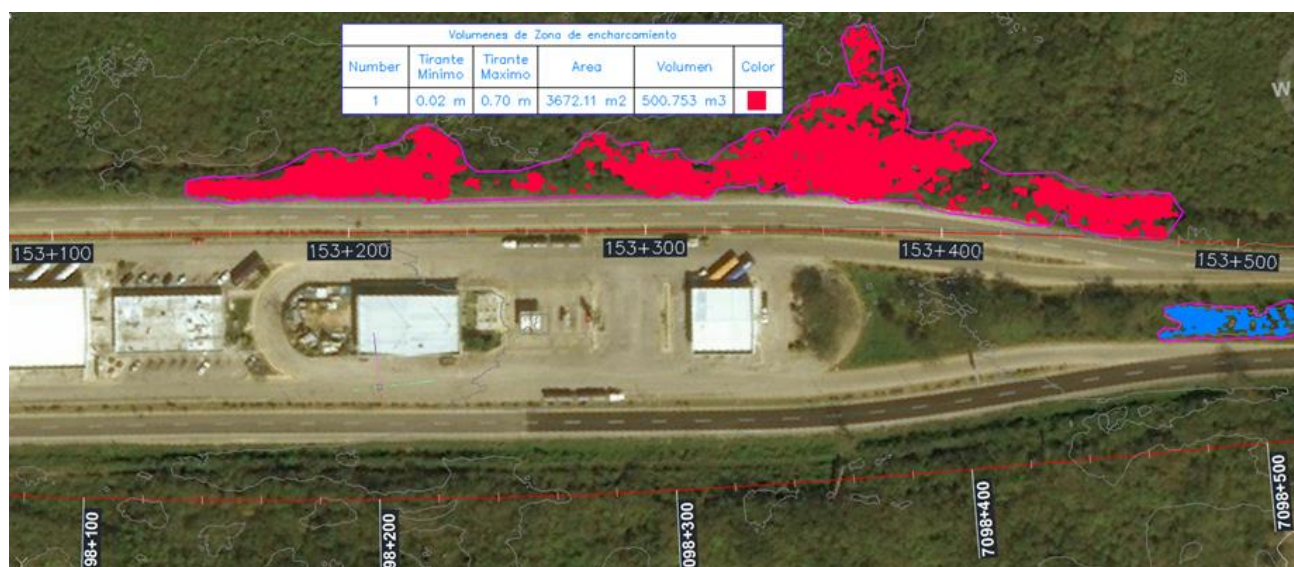


Figura 10. Área de zona de encharcamiento de estudio de la estación 153+300, Depresión 02.

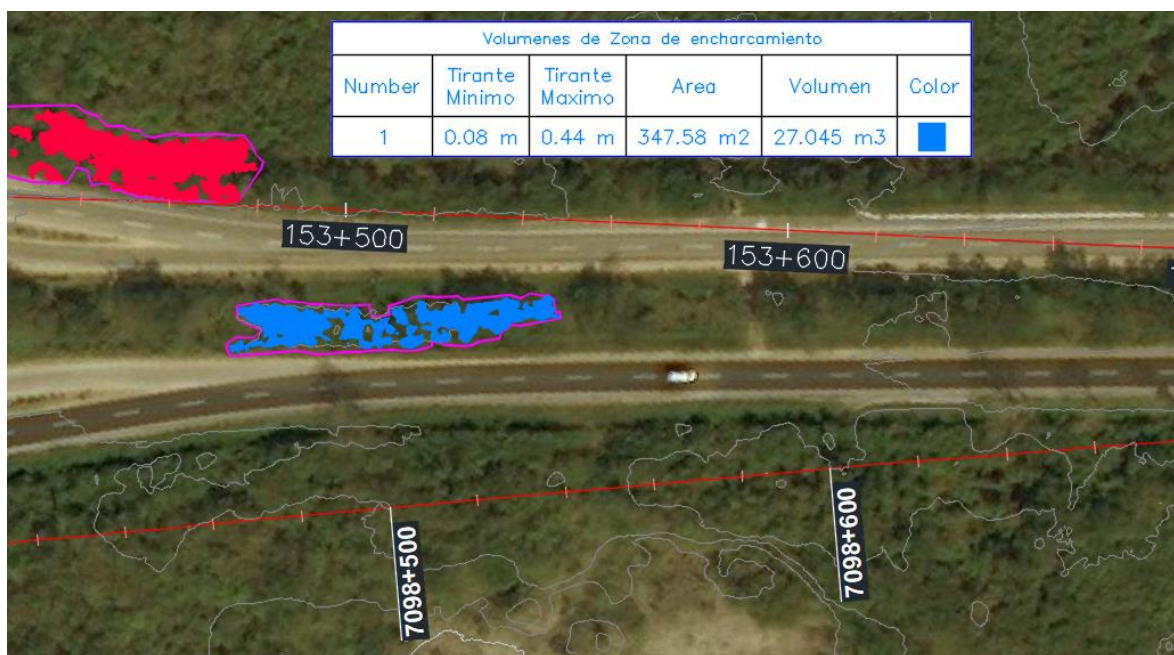


Figura 11. Área de zona de encharcamiento de estudio de la estación 153+500, Depresión 03.

Zonas de encharcamiento críticas	Estaciones	Área	Volumen	Tirante Máximo
	Autopista/Tren	m2	m3	m
01	153+000/7098+000	465.35	36.115	0.46
02	153+300/7098+300	3672.11	500.753	0.70
03	153+500/7098+500	347.58	27.045	0.44

Tabla 10. Área y volúmenes de las zonas de encharcamiento.

4. PROBLEMÁTICA

En la Zona de Servicio de Valladolid existe un sistema de pozos de absorción que actualmente manejan las aguas de lluvias que se generan en las zonas de estacionamientos y carriles de servicio internos, localizados sobre los camellones existentes.

Debido a las restricciones geométricas que impiden elevar el nivel de rasantes, se propone que el sistema de drenajes de la Zona de Servicio de Valladolid siga funcionando a base de pozos de absorción, utilizando los pozos existentes y complementándolos con pozos adicionales según sea requerido.

Sin embargo, entre los km 152+980 al km 153+480, se detectó acumulación de agua en el hombro izquierdo de la autopista, derivado de los trabajos de terracerías y de las condiciones actuales del terreno en sitio, se observa que en el sitio no existen puntos para la descarga efectiva de los escurrimientos fluviales, ya que la topografía no permite drenar hacia el terreno, por lo que se presenta un estancamiento de los escurrimientos pluviales.

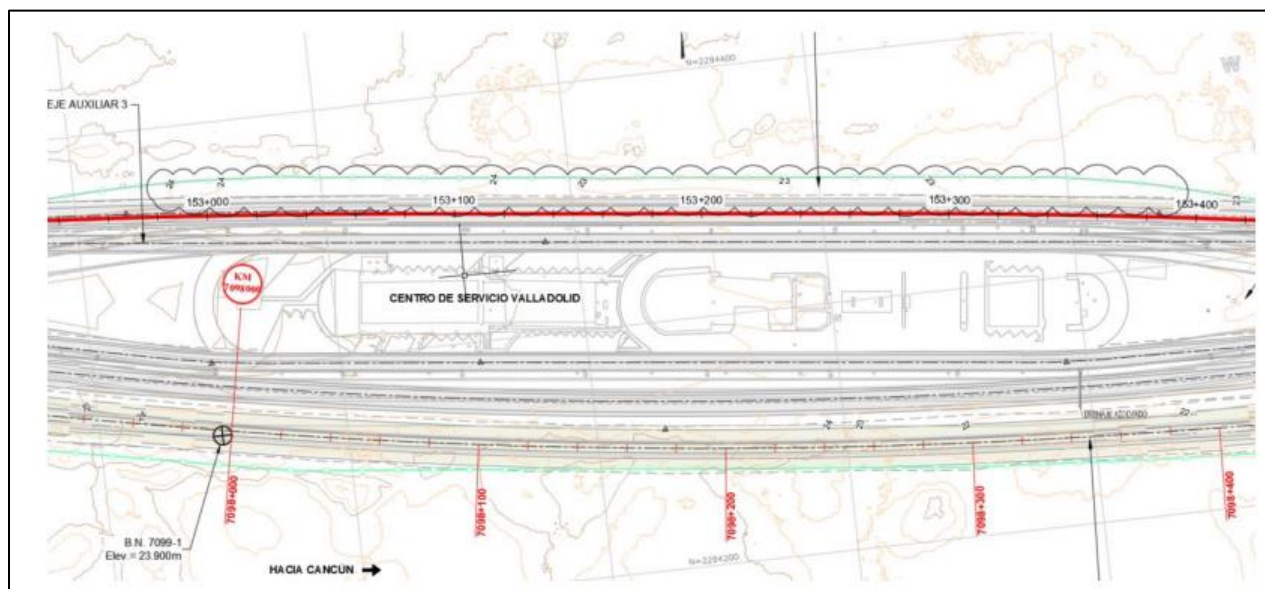


Figura 12. Representación de la zona de acumulación de agua.



Imagen 8. Zona de afectación en el hombro izquierdo de la autopista.



Imagen 10. Zona de acumulación de agua, derivado de los trabajos de terracería.



Imagen 11. Condiciones actuales del sitio.



Imagen 12. Supervisión de la afectación en la Zona de Servicios.

5. SOLUCIÓN

En la Zona de Servicio de Valladolid existe un sistema de pozos de absorción que actualmente manejan las aguas de lluvias que se generan en las zonas de estacionamientos y carriles de servicio internos, localizados sobre los camellones existentes.

Derivado de la acumulación de agua en el hombro izquierdo de la autopista entre los km 152+980 al km 153+480, como una zona donde corren todos los escurrimientos generados por el tramo, para evitar los encharcamientos se recomienda utilizar un sistema de infiltración para introducir el volumen generado al subsuelo.

De ahí, la importancia de definir con claridad las obras de drenaje en la zona de estudio, con el fin de garantizar la continuidad del flujo de las corrientes y que estas no produzcan daños a la plataforma de vía y autopista.

Y debido a que las restricciones geométricas impiden elevar el nivel de la rasante, se propone que el sistema de drenajes de la Zona de Servicio de Valladolid siga funcionando a base de pozos de absorción, utilizando los pozos existentes y complementándolos con pozos adicionales según sea requerido.

Por lo que el diseño propuesto se resume a continuación:

- 10 pozos en el camellón del lado norte a mantener.
- 3 pozos en el camellón del lado norte a ser reubicados.
- 6 pozos en el camellón del lado sur a mantener.
- 3 pozos en el camellón del lado sur a ser reubicados.
- 1 pozo nuevo propuesto en el camellón del lado sur.
- 17 pozos nuevos propuestos para descarga de las aguas a ser captadas en la cuneta propuesta entre las terracerías de autopista y tren en el lado sur.

Se pretende que, con la implementación de los nuevos Pozos de Absorción en la Zona de Servicios de Valladolid, se eviten afectaciones e inconvenientes a los establecimientos y ciudadanos que circulan por dicha zona, de este modo se mitigan daños por inundaciones.

Para ello, dicho sistema tiene que cumplir su principal función, que es, manejar, controlar y conducir de manera adecuada la escorrentía de aguas, llevándola o dejándola en sitios donde no provoquen daños a la zona estudiada.

La metodología y alcance de los trabajos se realizan tomando en cuenta los lineamientos de la normativa mexicana vigente, específicamente las normas y manuales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y el Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de la CONAGUA para el proceso de la información.

El análisis para la propuesta de solución para drenar los escurrimientos transversales y longitudinales que se presentan en las zonas encharcadas se presenta a continuación:

Se propone que todos los pozos nuevos sean contruidos con características similares a los existentes.

La memoria de cálculo donde se incluyen el resumen de las dimensiones resultantes y consideraciones de diseño establecidas para los pozos de absorción se encuentra en la Tabla 11, mostrada a continuación:

POZO	EJE Y LATERAL DE REFERENCIA	ESTACIONAMIENTO	GASTO m³/seg	VOLUMEN GENERADO EN T = 10 min V, m³	K (m/s)	DIÁMETRO PROPUESTO, m	ALTURA DE POZO, m	# DE POZOS	VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO m³	GASTO DE INFILTRACIÓN m³/s	VOLUMEN TOTAL m³	RASANTE DE POZO, m	ALTURA TOTAL DE POZO, m	NIVEL DE FONDO DE POZO, m
Pozo 01	AUXILIAR 2 - LD	152+730.0 0	0.022 6	13.563 0	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	24.67 0	6.90	17.77 0
Pozo 02	AUXILIAR 2 - LD	152+780.0 0	0.023 9	14.316 2	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	24.66 9	6.90	17.76 9
Pozo 03	AUXILIAR 2 - LD	152+830.0 0	0.023 8	14.302 6	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	24.64 6	6.90	17.74 6
Pozo 04	AUXILIAR 2 - LD	152+880.0 0	0.034 2	20.510 2	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.043 7	30.1 3	24.62 4	6.90	17.72 4
Pozo 05	AUXILIAR 2 - LD	152+930.0 0	0.034 0	20.402 3	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.043 7	30.1 3	24.71 7	6.90	17.81 7
Pozo 06	AUXILIAR 2 - LD	152+970.0 0	0.001 2	0.6963	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	24.70 5	6.90	17.80 5
Pozo 07	AUXILIAR 2 - LD	153+010.0 0	0.001 2	0.6993	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	24.50 2	6.90	17.60 2
Pozo 08	AUXILIAR 2 - LD	153+060.0 0	0.001 5	0.8905	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	24.22 7	6.90	17.32 7
Pozo 09	AUXILIAR 2 - LD	153+110.0 0	0.001 5	0.9127	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	23.95 2	6.90	17.05 2
Pozo 10	AUXILIAR 2 - LD	153+160.0 0	0.001 6	0.9368	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	23.67 7	6.90	16.77 7
Pozo 11	AUXILIAR 2 - LD	153+210.0 0	0.001 6	0.9626	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	23.40 2	6.90	16.50 2
Pozo 12	AUXILIAR 2 - LD	153+260.0 0	0.001 7	0.9902	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	23.12 7	6.90	16.22 7
Pozo 13	AUXILIAR 2 - LD	153+310.0 0	0.001 7	1.0194	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	22.85 2	6.90	15.95 2
Pozo 14	AUXILIAR 2 - LD	153+344.0 0	0.003 2	1.9153	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	22.75 7	6.90	15.85 7
Pozo 15	AUXILIAR 2 - LD	153+400.0 0	0.052 7	31.631 5	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.061 1	42.1 8	23.00 5	6.90	16.10 5
Pozo 16	AUXILIAR 2 - LD	153+510.0 0	0.042 8	25.655 1	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.052 4	36.1 5	24.03 6	6.90	17.13 6
Pozo 17	AUXILIAR 2 - LD	153+590.0 0	0.066 9	40.137 5	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.074 2	51.2 2	25.27 8	6.90	18.37 8
Pozo 18	AUXILIAR 2 - LI	152+970.0 0	0.044 3	26.585 9	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.052 4	36.1 5	25.33 4	6.90	18.43 4
Pozo 19	AUXILIAR 2 - LI	153+020.3 6	0.043 4	26.069 7	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.052 4	36.1 5	25.10 7	6.90	18.20 7
Pozo 20E	AUXILIAR 2 - LI	153+056.0 7	0.030 4	18.256 8	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	24.82 1	6.90	17.92 1
Pozo 21E	AUXILIAR 2 - LI	153+104.4 0	0.042 0	25.224 8	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.052 4	36.1 5	24.65 4	6.90	17.75 4
Pozo 22E	AUXILIAR 2 - LI	153+154.3 5	0.043 6	26.148 6	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.052 4	36.1 5	24.41 5	6.90	17.51 5
Pozo 23E	AUXILIAR 2 - LI	153+203.9 5	0.043 4	26.014 2	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.052 4	36.1 5	24.12 9	6.90	17.22 9

POZO	EJE Y LATERAL DE REFERENCIA	ESTACIONAMIENTO	GASTO m ³ /seg	VOLUMEN GENERADO EN T = 10 min V, m ³	K (m/s)	DIÁMETRO PROPUESTO, m	ALTURA DE POZO, m	# DE POZOS	VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO m ³	GASTO DE INFILTRACIÓN m ³ /s	VOLUMEN TOTAL m ³	RASANTE DE POZO, m	ALTURA TOTAL DE POZO, m	NIVEL DE FONDO DE POZO, m
Pozo 24E	AUXILIAR 2 - LI	153+254.0 1	0.043 7	26.198 7	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.052 4	36.1 5	23.85 4	6.90	16.95 4
Pozo 25E	AUXILIAR 2 - LI	153+305.4 2	0.044 7	26.824 2	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.052 4	36.1 5	23.56 8	6.90	16.66 8
Pozo 26	AUXILIAR 2 - LI	153+344.3 8	0.050 1	30.060 5	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.061 1	42.1 8	23.20 0	6.90	16.30 0
Pozo 27	AUXILIAR 2 - LI	153+363.7 6	0.039 1	23.471 4	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.043 7	30.1 3	23.45 7	6.90	16.55 7
Pozo 28	AUXILIAR 2 - LI	153+410.0 0	0.034 6	20.751 6	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.043 7	30.1 3	23.76 4	6.90	16.86 4
Pozo 29	AUXILIAR 1 - LD	153+220.0 0	0.091 1	54.672 7	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.113 5	73.2 3	25.12 2	6.90	18.22 2
Pozo 30E	AUXILIAR 1 - LD	153+270.0 0	0.049 5	29.682 9	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.056 8	39.1 7	24.78 8	6.90	17.88 8
Pozo 31E	AUXILIAR 1 - LD	153+320.0 0	0.040 8	24.469 1	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.052 4	36.1 5	24.96 6	6.90	18.06 6
Pozo 32E	AUXILIAR 1 - LD	153+344.3 8	0.036 8	22.056 1	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.043 7	30.1 3	24.72 0	6.90	17.82 0
Pozo 33E	AUXILIAR 1 - LD	153+385.0 0	0.042 2	25.309 3	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.052 4	36.1 5	23.32 1	6.90	16.42 1
Pozo 34E	AUXILIAR 1 - LD	153+410.0 0	0.038 7	23.240 7	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.043 7	30.1 3	23.36 4	6.90	16.46 4
Pozo 35E	AUXILIAR 1 - LD	152+950.0 0	0.035 2	21.112 5	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.043 7	30.1 3	23.42 7	6.90	16.52 7
Pozo 36	AUXILIAR 1 - LD	153+000.5 0	0.094 8	56.890 7	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.113 5	73.2 3	23.55 2	6.90	16.65 2
Pozo 37	EJE VÍA FÉRREA - LD	7098+214. 29	0.003 0	1.7833	2.78E-03	1	4	1	3.1415 9	0.034 9	24.1 0	23.96 5	6.90	17.06 5

Tabla 11. Resumen del diseño de los Pozos de Absorción.

La conexión del drenaje longitudinal con los pozos de absorción se realizará por medio de tuberías que conectarán con las cajas sedimentadoras al final de las conducciones, según los detalles siguientes.



Figura 13. Ubicación de Ejes en Zona de Servicio.

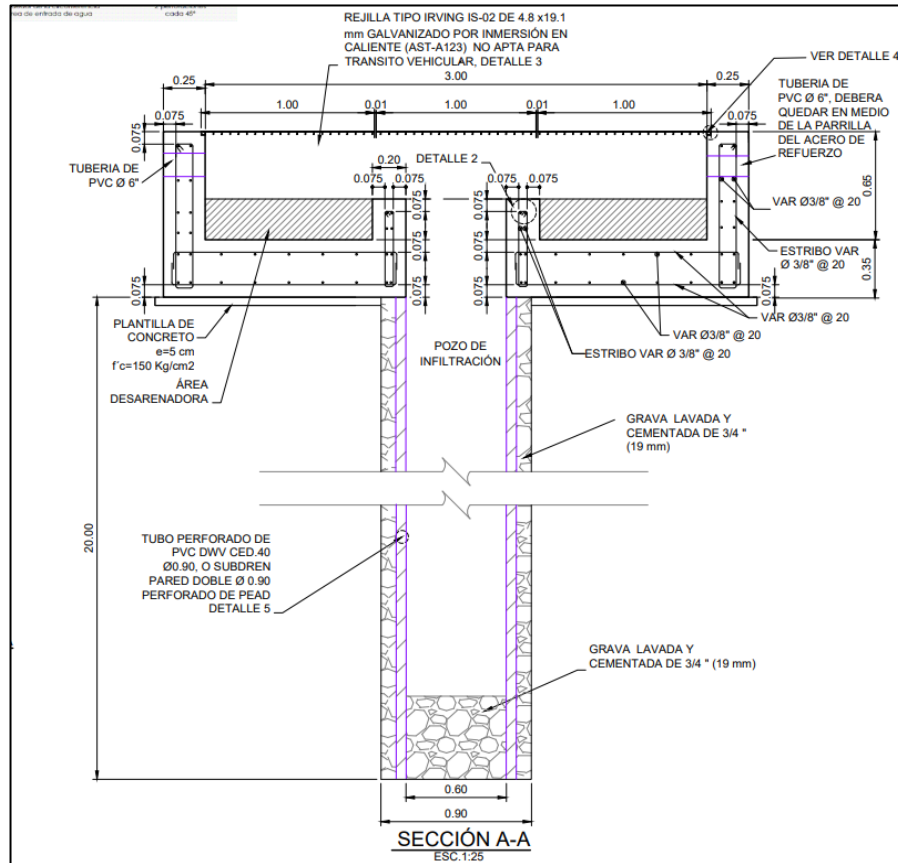


Figura 14. Detalle del Pozo tipo Sección A-A

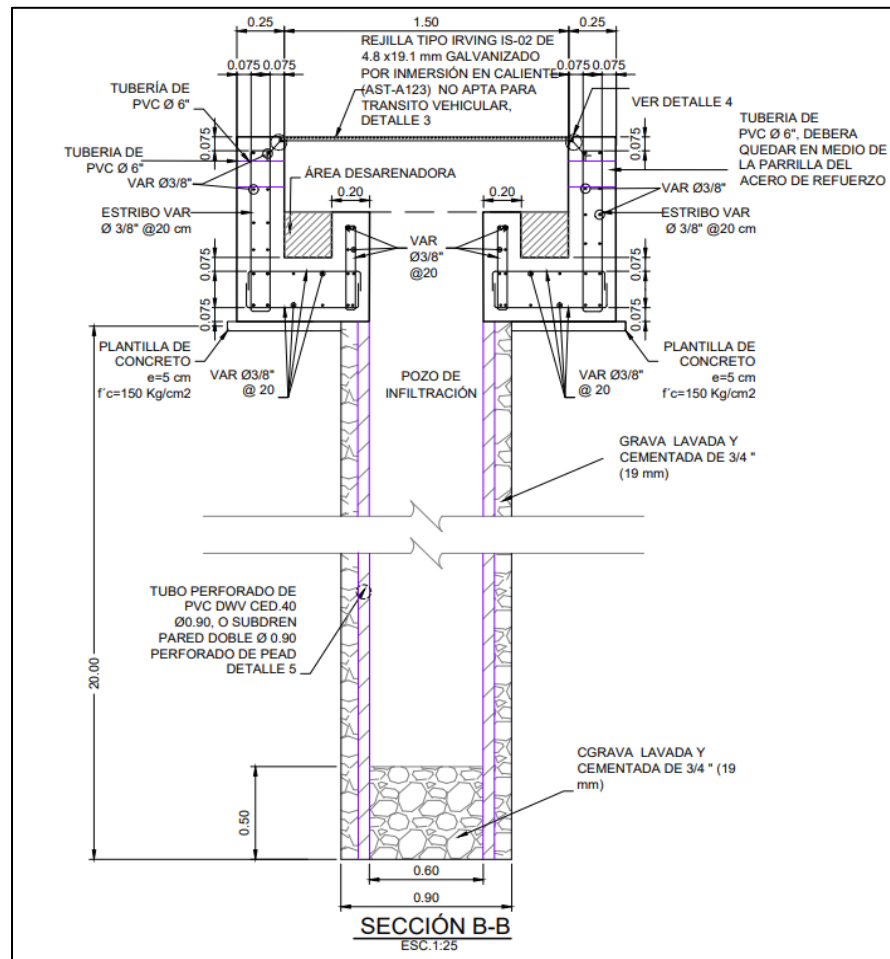


Figura 15. Detalle del Pozo tipo Sección B-B.

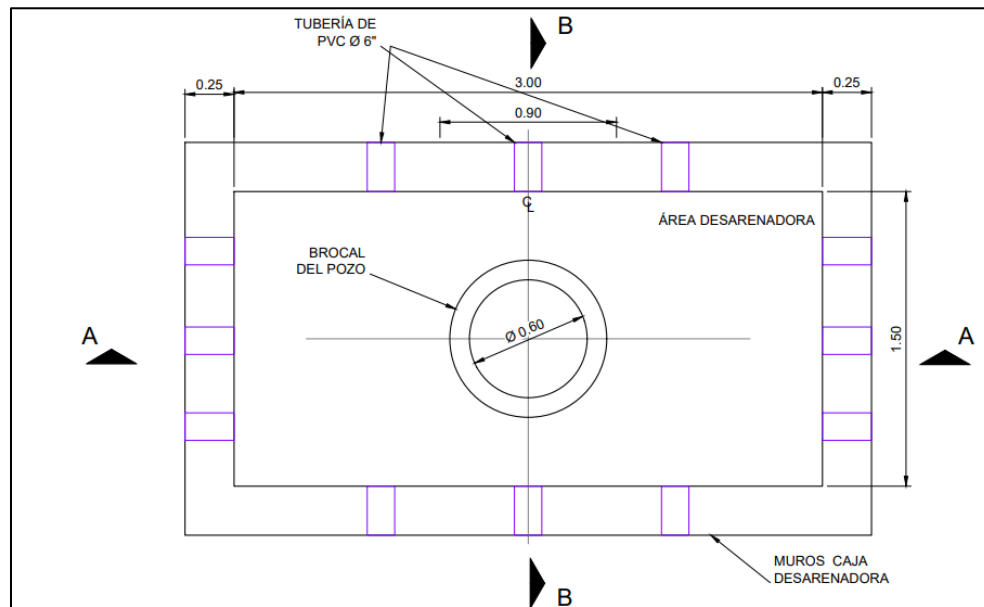


Figura 16. Planta Pozo de Absorción

Se considera como condición de seguridad un evento extremo donde el fondo del pozo o que el suelo bajo este se encuentre en condiciones de saturación, lo que reduce la capacidad de infiltración por esta cara del pozo, adicionalmente, las aguas pluviales que aportan al pozo son propensas a llevar sedimentos que pueden colmatar el fondo del pozo. Por dichos motivos no se considera la capacidad de infiltración del fondo del pozo en las condiciones de diseño, sino únicamente infiltración por las paredes de este.

Además, se considera una capa de fondo la cual consiste en una capa de material granular grueso (gravas o arenas) que permiten el aumentar el gradiente hidráulico del fondo del pozo en caso de eventos de saturación extrema del suelo y un eventual aumento del nivel freático, esto con el fin de facilitar el flujo a través del pozo sin comprometer la estabilidad de este debido a posibles supresiones.

Características del sistema de infiltración.

El sistema de infiltración propuesto está compuesto por un pozo de infiltración cuyas características se describen a continuación:

- El diámetro de la perforación es de 0.90 m. con un diámetro interior de 0.60 m.
- Profundidad de 20.00 m.
- Tiene una caja desarenadora de 3.00 m x 1.50 m x 0.65 m a interiores.
- Se colocará concreto $f'c=150$ kg/cm² a bombeo en el fondo del pozo.
- El filtro será a base de un tubo perforado de PVC DWV CED. 40, o de subdrén pared doble, tubería corrugada de PEAD perforada.
- Se colocará un ademe de grava perimetral entre el tubo perforado y las paredes del terreno.

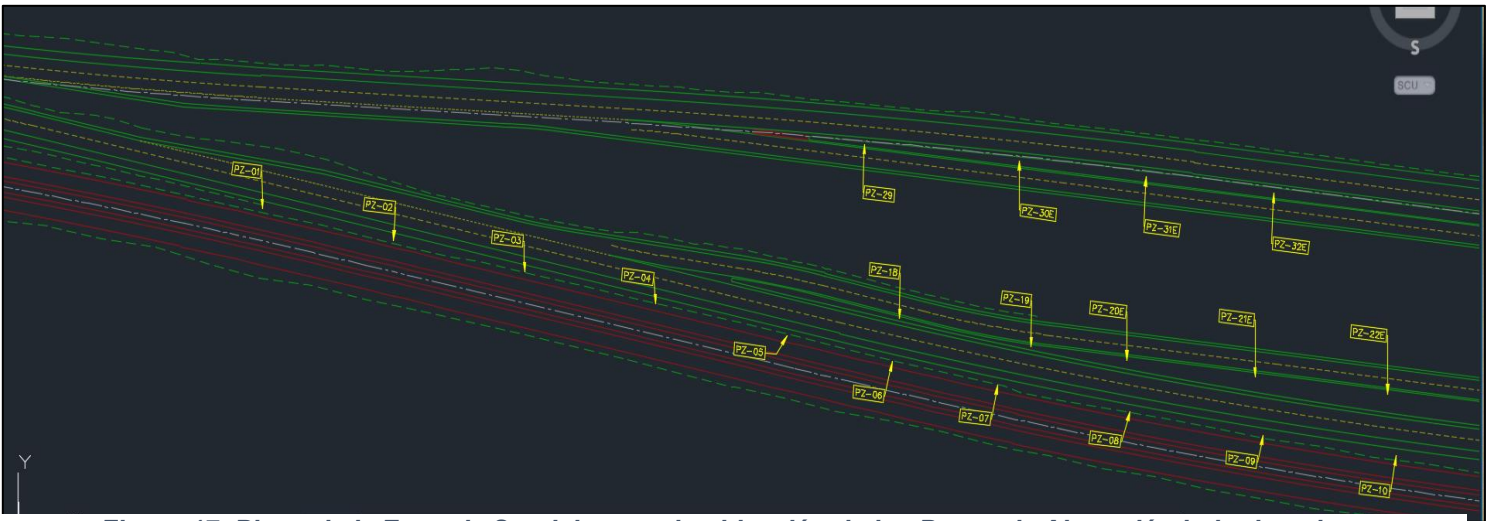


Figura 17. Plano de la Zona de Servicios con la ubicación de los Pozos de Absorción lado derecho.

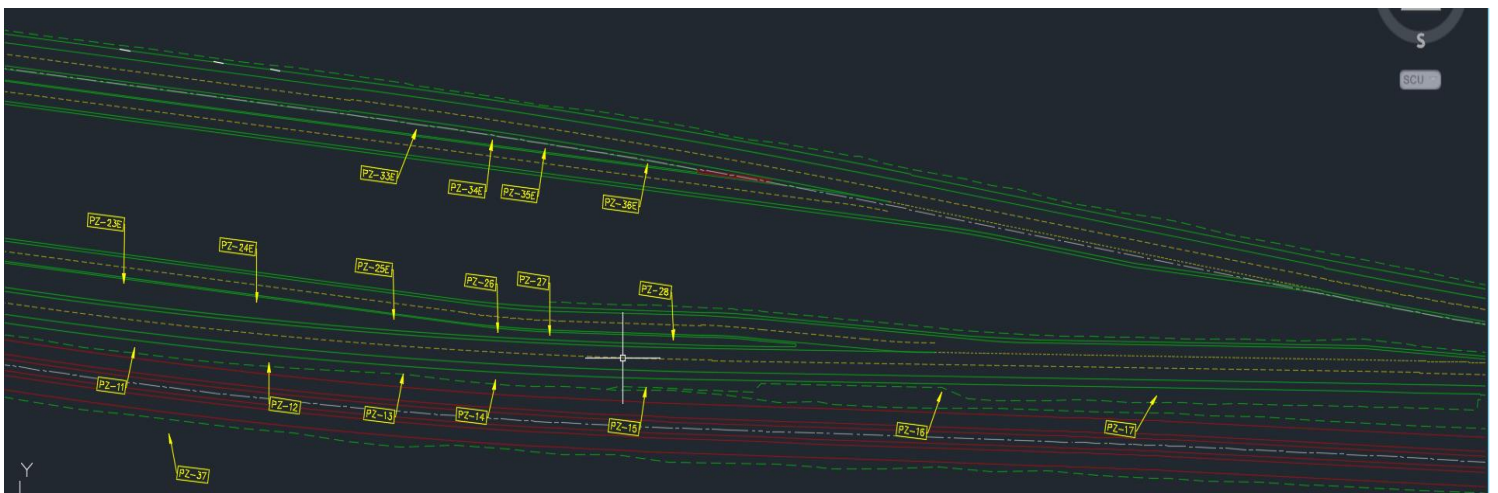


Figura 18. Plano de la Zona de Servicios con la ubicación de los Pozos de Absorción lado izquierdo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Derivado de la acumulación de agua en el hombro izquierdo de la autopista entre los km 152+980 al km 153+480, se propuso como solución para evitar los encharcamientos un sistema de infiltración (Pozos de Absorción) para introducir el volumen generado al subsuelo.

La profundidad del nivel del agua freática en esta zona es mayor a 20 m y la elevación es de aproximadamente 5 msnm, por lo que no se considera que la profundidad de desplante de las estructuras pueda generar afectaciones al acuífero. Sin embargo, la determinación específica del nivel freático en el sitio debe realizarse previo al inicio de las obras y evaluarse respecto a la profundidad de desplante de las diversas estructuras.

En el apartado 1.6 “Parámetros hidráulicos” se indica que en la zona se realizaron pruebas de infiltración en el Paso Ganadero 22 y en los Pozos gemelos km 116, ubicado aproximadamente a 4.5 km de la estación de servicio, con resultados de permeabilidad promedio en el rango entre 1.66×10^{-2} y 7.80×10^{-2} m/s. Se revisó con la especialidad de geotecnia, la cual recomienda utilizar para el diseño de los pozos de infiltración de agua pluvial al acuífero, el coeficiente último (infiltración residual en condiciones saturadas) más crítico registrado considerando ambos ensayos.

El diseño de los pozos de absorción deberá apegarse a lo dispuesto por la NOM-015-CONAGUA-2007, INFILTRACIÓN ARTIFICIAL DE AGUA A LOS ACUÍFEROS.
- CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LAS OBRAS Y DEL AGUA.

De los cálculos realizados se obtiene que los pozos de absorción propuestos tendrán un diámetro de 1.20 metros de perforación y profundidad efectiva, de esta solución se genera el plano correspondiente.

Durante la visita de inspección que se realizó a los pozos de absorción existentes en la estación, se descubrió que se encuentran azolvados, por lo que se recomendó su limpieza y proporcionarles el mantenimiento adecuado para evitar problemas de mal funcionamiento y, en consecuencia, de inundaciones.

Debido a que en la estación existe una gasolinera, es importante canalizar las aguas que pudieran contaminarse por agentes tales como aceites, combustible, detergentes y, en general, de cualquier tipo que se pudiera generar por la presencia de los vehículos automotores, para evitar que ingresen al acuífero. Asimismo, es recomendable monitorear el agua en esta zona para detectar cualquier posible grieta de la cisterna que almacena el combustible.

El agua residual tratada, producida por los baños y servicios de los negocios allí establecidos, se recomienda utilizarla para fines de riego de jardines y NO infiltrarla al acuífero.

7. GLOSARIO

1. AGUAS PLUVIALES: Son las aguas producto de la lluvia o precipitación que escurren sobre la superficie del terreno.
2. DRENAJE SUPERFICIAL: acción de drenar o evacuar las aguas que se acumulan sobre la superficie del suelo por efectos de inundación, anegamiento o encharcamiento.
3. HEC-RAS: es un programa de modelización hidráulica unidimensional que nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables.
4. PERIODO DE RETORNO: se define como el lapso o número de años que, en promedio, se cree que será igualado o excedido, es decir, es la frecuencia con la que se presenta un evento.
5. AGUA FREÁTICA: es el agua subterránea que va llenando continuamente las cavidades en el subsuelo. Esta agua se forma debido a las precipitaciones que se van infiltrando.
6. RASANTE: línea que representa el nivel en que ha de quedar un desmonte o terraplén.
7. CAJA DESARENADORA: Depósito construido en canales y otras estructuras hidráulicas que retiene el agua durante un breve periodo de tiempo al reducir su velocidad, con objeto de que se depositen la mayor parte de los sólidos suspendidos que contiene el agua.

8. MANTO ACUIFERO: nos referimos al depósito de agua que circula en el subsuelo, se forman naturalmente cuando la superficie terrestre absorbe el agua de lluvia. Este proceso de absorción se da porque los terrenos de la superficie terrestre permiten que el agua se introduzca al ser permeables, como la tierra, arena, arcilla.

8. BIBLIOGRAFÍA

M-PRY-CAR-4-02-002/16 DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS
COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE.

NOM-015-CONAGUA-2007, INFILTRACIÓN ARTIFICIAL DE AGUA A LOS
ACUÍFEROS. - CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LAS OBRAS Y
DEL AGUA.

Daniel Francisco Campos Aranda, 2010.
Introducción a la Hidrología Urbana.

INEGI, 2007.
Diccionario de datos de Uso de Suelos y Vegetación. Escala 1:250.000

<https://www.inegi.org.mx/app/mapas/>

<http://www.yucatan.gob.mx/procivy/>

<http://clicom-mex.cicese.mx/mapa.html>

[https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usosuelo/metadatos/guia interu
sosuelov.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/usosuelo/metadatos/guia_interu
sosuelov.pdf)

[https://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/NOM-003-
CONAGUA-1996.pdf](https://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/NOM-003-
CONAGUA-1996.pdf)

Se emplearon los siguientes programas de cómputo:
HEC-RAS, AutoCAD 2020 y Google Earth Pro.