DISEÑO Y PLANOS MODELO DE MUROS DE CONTENCIÓN EN HORMIGÓN ARMADO AL VOLADIZO PARA CASOS DE EMERGENCIA

Por

Ricardo Guzmán Vidal

Proyecto sometido en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

en

INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2011

Aprobado por:

Luis E. Suárez, Ph.D. Miembro, Comité Graduado	Fecha
Beatriz I. Camacho Padrón, Ph.D. Miembro, Comité Graduado	Fecha
José O. Guevara, Ph.D. Presidente, Comité Graduado	Fecha
Reyes Ortiz Albino, Ph.D. Representante de Estudios Graduados	Fecha
Ismael Pagán Trinidad, MSCE Director del Departamento	Fecha

ABSTRACT

This project consists in the analysis and design of reinforced concrete cantilever retention walls. The purpose of this analysis and design is to develop construction drawings, as shown in Apendix 3, and have them ready to be used in emergency cases due to natural or man-made disasters. Possible emergency cases are landslides due to heavy rains, earthquakes, floods and explosions, between others. The cantilever retaining wall construction drawings can be used to build a retaining wall where a collapse or landslide has already occurred, and in places where there is not a soil retaining structure present and the possibility of a collapse exists. Due to the extent of the different scenarios contemplated, the analysis and design performed in the preparation of the construction drawings were developed with a Matlab computer program. For more details of the procedure to follow in order to use the program, please see Apendix 2.

RESUMEN

Este proyecto consiste en analizar y diseñar muros de contención de hormigón reforzado al voladizo. El propósito de este análisis y diseño es desarrollar planos de construcción para muros de contención al voladizo, mostrados en el Apéndice 3, y tenerlos listos para ser utilizados en casos de emergencia debido a desastres naturales o creados por el hombre. Posibles casos de emergencia son derrumbes o deslizamientos de terreno ocasionados por fuertes lluvias, terremotos, inundaciones y explosiones, entre otros. Los planos de construcción pueden ser utilizados para construir muros de contención al voladizo en lugares donde haya ocurrido un colapso o derrumbe del terreno y en lugares en donde no exista un muro de contención y haya una posibilidad de falla del terreno. Debido a la cantidad de diferentes escenarios contemplados, el análisis y diseño llevados a cabo para la preparación de los planos de construcción fueron desarrollados utilizando un programa de computadora en Matlab. En el Apéndice 2 se detalla el procedimiento a seguir para utilizar el programa.

© Ricardo J. Guzmán Vidal 2011

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, quisiera expresar mi sincero agradecimiento y aprecio al Dr. José O. Guevara, quien preside mi comité graduado y me brindó la oportunidad de realizar este trabajo junto a él. Su ayuda y apoyo fueron indispensables en la realización de este proyecto y en el resto de mis estudios graduados en la Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

Quisiera agradecerle al resto de mi comité graduado, compuesto por: Dr. Luis E. Suárez y la Dra. Beatriz I. Camacho Padrón, por sus comentarios, disposición y ayuda para completar este trabajo.

Le agradezco también a la Autoridad de Carreteras y Transportación por proveer la ayuda financiera necesaria para completar este proyecto y mis estudios de maestría.

Sobre todo le agradezco a mi esposa, Janice Class por su apoyo incondicional, su paciencia y su comprensión que fueron muy importantes en el desarrollo de este proyecto. A mis padres, Roberto e Irma, por su ayuda durante todos mis estudios universitarios y por hacer posible mi desarrollo como estudiante y profesional.

TABLA DE CONTENIDO

NÚMERO TÍTULO PÁGINA

1. INTRODUCCIÓN 1
2. TIPOS DE MUROS DE CONTENCIÓN 2
   2.1. MUROS DE CONTENCIÓN CONVENCIONALES 2
   2.2. MUROS DE CONTENCIÓN ALTERNATIVOS 3
   2.3. SELECCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN 4
3. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO 6
   3.1. MÉTODOS DE DISEÑO 6
   3.2. ESTADOS LÍMITE 7
   3.3. FACTORES DE SEGURIDAD 8
   3.4. FACTORES DE CARGA 8
   3.5. CARGAS DE DISEÑO Y COMBINACIONES DE CARGA 9
   3.6. RELLENO 9
   3.7. DRENAJE 10
   3.8. JUNTAS DE CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN 12
4. FUERZAS ACTUANDO SOBRE LOS MUROS DE CONTENCIÓN 13
   4.1. PRESIÓN ESTÁTICA DEL SUELO 13
   4.2. CONDICIÓN EN REPOSO 14
   4.3. MOVIMIENTO DEL MURO Y PRESIONES DEL SUELO 15
   4.4. MÉTODOS PARA ESTIMAR K_a Y K_p 16
      4.4.1. TEORÍA DE COULOMB PARA SUELOS SIN COHESION ($c = 0$) Y $\varphi \geq 0$ (CONDICIÓN ACTIVA) 17
      4.4.2. TEORÍA DE RANKINE PARA SUELOS SIN COHESION ($c = 0$) Y $\phi \geq 0$ (CONDICIÓN PASIVA) 19
   4.5. SOBRECARGAS (“SURCHARGES”) 21
   4.6. EFECTO DEL AGUA 22
   4.7. EFECTO DE TERREMOTO 24
      4.7.1. TEORÍA DE MONONOBE-OKABE 24
         4.7.1.1. PROCEDIMIENTO DE MONONOBE-OKABE 26
5. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO 28
   5.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN 30

5.2. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES 33
5.2.1. DISEÑO DE LA PARED 34
5.2.2. DISEÑO DE LA BASE 34
6. EJEMPLO DE DISEÑO DE MURO DE CONTENCIÓN AL VOLADIZO 35
6.1. EJEMPLO 1 – MURO DE CONTENCION SUJETO A SOBRECARGA 35
REFERENCIAS 58
APÉNDICE 60
A.1. PROGRAMA PARA DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN UTILIZANDO MATLAB 61
A.2. INSTRUCCIONES PARA UTILIZAR PROGRAMA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCION AL VOLADIZO (MATLAB) 82
A.3. PLANOS MODELO PARA LA CONSTRUCCION DE MUROS DE CONTENCION DE HORMIGON ARMADO AL VOLADIZO 84

LISTADO DE FIGURAS

NÚMERO TÍTULO PÁGINA

Figura 1. Muros de contención típicos de (a) gravedad y (b) al voladizo (Kim, 1991)..... 3
Figura 2. Muros de contención con (a) contrafuertes y (b) arbotantes (Kim, 1991) 3
Figura 3. Muro con paneles prefabricados (http://www.vsl.cz/en/prod_steny.html) 4
Figura 4. Tela de filtración (Foto por R. Guzmán) 11
Figura 5. Sistemas de drenaje: (a) hueco de drenaje y (b) tubos perforados (Coduto, 2001)..... 11
Figura 6. Círculos de Mohr para coeficientes de presión del suelo (Kim, 1991) 13
Figura 7. Relación entre el movimiento del muro y la presión del suelo (Coduto, 2001)16
Figura 8. Parámetros para la ecuación de presión activa de Coulomb. Las paredes inclinadas en la dirección opuesta tienen un α negativo (Coduto, 2001)..... 18
Figura 9. Presiones activas para un muro sin fricción con nivel freático (Kim, 1991) ... 23
Figura 10. Cuña sísmica para la condición activa (Kim, 1991)..... 26
Figura 11. Localización de las fuerzas resultantes (Das, 2002)..... 27
Figura 12. Modos de falla para muros de contención (Coduto, 2001) 29
Figura 13. Dimensiones preliminares sugeridas para un muro de contención al voladizo (Coduto, 2001)..... 30
Figura 14. Ejemplo de diseño para un muro de contención al voladizo (Figura por R. Guzmán) 36
Figura 15. Muro diseñado del Ejemplo 1 (Figura por R. Guzmán)..... 57

LISTADO DE TABLAS

NÚMERO TÍTULO PÁGINA

Tabla 1. Factores de seguridad utilizados 8

Tabla 2. Movimiento del muro requerido para alcanzar la condición activa en relación a la altura, H 15

Tabla 3. Ángulos de fricción ϕ_w entre varios materiales de construcción y tipos de suelo 19

Tabla 4. Altura equivalente de suelo para cargas vehiculares (AASHTO, 1989) 22

1. INTRODUCCIÓN

Los muros de contención son utilizados para retener el suelo para poder mantener un cambio abrupto en elevación. En este trabajo se crea un programa en computadora para diseñar muros de contención al voladizo. Este diseño incluye el análisis de estabilidad interna y externa del muro y también el diseño estructural. El programa también va a incluir el efecto ocasionado por terremotos utilizando el método de Mononobe-Okabe. El diseño se va a trabajar utilizando los métodos del Diseño de Esfuerzos Permisibles ("Allowable Stress Design", ASD) y el método de Diseño de Factor de Carga y Resistencia ("Load and Resistance Factor Design", LRFD) para el diseño estructural. El Apéndice A.3 presenta una serie de planos modelo para la construcción de muros de contención al voladizo para distintos tipos y configuraciones de suelo.

En este informe se van a presentar varios tipos de muros de contención. Además se van a discutir varios aspectos del diseño y las teorías utilizadas en el programa para hallar las fuerzas actuando sobre el muro, tales como las teorías de Rankine y de Coulomb.

2. TIPOS DE MUROS DE CONTENCIÓN

Los muros de contención se pueden dividir en dos categorías: muros de contención convencionales y muros de contención alternativos o innovadores.

2.1. MUROS DE CONTENCIÓN CONVENCIONALES

Los muros de contención convencionales se pueden subdividir a su vez en dos tipos principales: muros de gravedad y muros al voladizo. Los muros de gravedad, Figura 1(a), dependen de su masa y la fuerza de gravedad para resistir las fuerzas del suelo y el agua a la que son sometidos. Los muros al voladizo de hormigón reforzado, Figura 1(b), resisten las fuerzas a las que son sometidos por su capacidad en flexión. Estos consisten de una pared, una punta (“toe”), un talón (“heel”) y posiblemente una llave para prevenir deslizamiento (“shear key”). Los muros de hormigón reforzado con contrafuertes y arbotantes (Figura 2), pueden ser usados cuando la altura del muro es bastante excesiva (mayor de 25 pies) y los muros al voladizo dejan de ser económicos debido a los altos costos de construcción necesarios para construir un muro de contención que requiera una excavación extensa, grandes cantidades de hormigón y acero de refuerzo en comparación con otras alternativas disponibles.

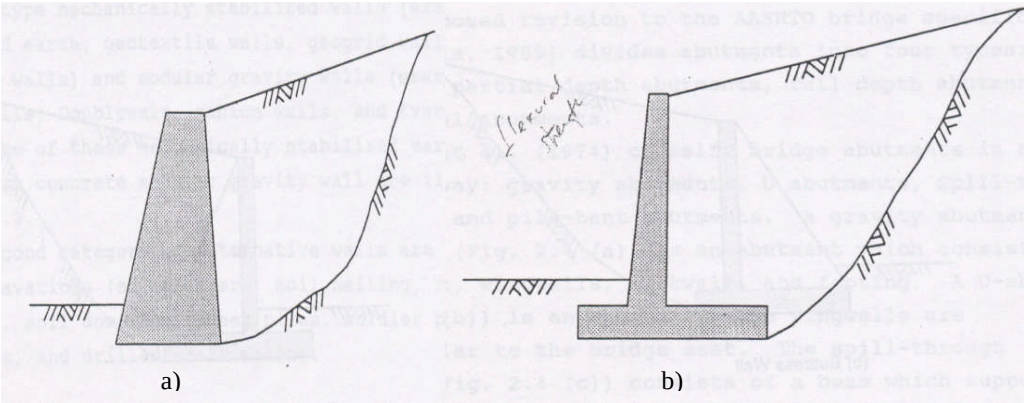


Figura 1. Muros de contención típicos de (a) gravedad y (b) al voladizo (Kim, 1991)

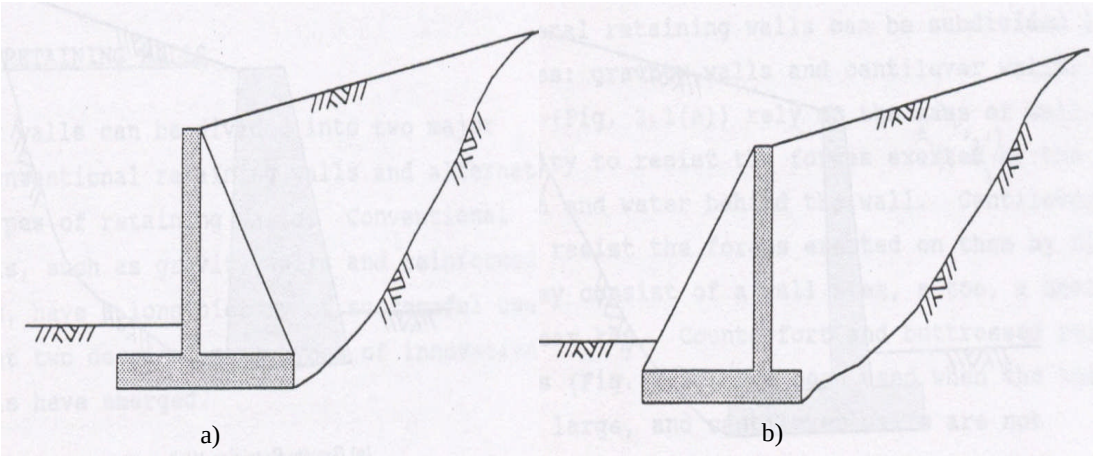


Figura 2. Muros de contención con (a) contrafuertes y (b) arbotantes (Kim, 1991)

2.2. MUROS DE CONTENCIÓN ALTERNATIVOS

Últimamente se han desarrollado un número de muros de contención alternativos. Munfakh (1990) clasifica estos muros alternativos en dos grandes categorías: muros reteniendo relleno y muros soportando excavaciones.

La primera categoría incluye muros estabilizados mecánicamente (algunos ejemplos son: muros con paneles prefabricados, muros con geotextiles, muros con

geomallas y muros con mallas de alambre soldadas) y muros modulares de gravedad (algunos ejemplos son: muros Criblock™, muros de doble pared, muros de gaviones y muros siempreverdes). La Figura 3 muestra un muro construido utilizando paneles prefabricados.

La segunda categoría de muros alternativos son aquellos que soportan excavaciones. Algunos ejemplos son: clavos de anclaje, micro pilotes reticulados, dovelas de anclaje, tabla estacas, pilotes soldados, pilotes secantes y paredes de fustes barrenados.

Figura 3. Muro con paneles prefabricados (http://www.vsl.cz/en/prod_steny.html)

2.3. SELECCIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN

La selección del muro de contención más apropiado se basa en un número de consideraciones, que incluyen las siguientes:

1. costos de construcción y mantenimiento,
2. la situación del corte o relleno,
3. el mantenimiento del tráfico durante la construcción,
4. periodo de construcción,

5. la seguridad de los trabajadores en la construcción,
6. la disponibilidad y costo del material de relleno,
7. tamaño del muro,
8. cambios en la alineación vertical y horizontal,
9. área de excavación,
10. estética y similitud a estructuras adyacentes,
11. experiencias previas con el tipo de muro en consideración,
12. accesibilidad para inspección y mantenimiento, y
13. vida útil, condiciones de carga y deformaciones permisibles.

3. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO

En este capítulo se discutirán las consideraciones envueltas en el diseño de muros de contención. Estas incluyen métodos de diseño, estados límite, factores de seguridad, factores de cargas, cargas de diseño, combinaciones de carga, tipo de relleno, drenaje del muro y las juntas de contracción y expansión.

3.1. MÉTODOS DE DISEÑO

El diseño de los muros de contención en voladizo se llevo a cabo mediante el desarrollo de un programa de computadora en Matlab, el cual utiliza el Diseño de Esfuerzos Permisibles (ASD, por sus siglas en inglés) para el diseño de la estabilidad interna y externa del muro y utiliza el método de Diseño de Factor de Carga y Resistencia (LRFD, por sus siglas en inglés) para el diseño estructural del muro. En el Apendice A se muestra el desarrollo del programa de computadora en Matlab.

El ASD es un método que garantiza la seguridad restringiendo el valor de los esfuerzos obtenidos a valores que no sean mayores que un valor permisible. Los valores permisibles de esfuerzo son generalmente seleccionados como una función de su capacidad a cedencia y son determinados dividiendo su capacidad a cadencia por un factor de seguridad global. El método del ASD no considera los distintos grados de incertidumbre para diferentes tipos de carga; la carga viva se trata igual que la carga muerta, aunque usualmente tiene una mayor variación durante la vida de la estructura y una mayor incertidumbre.

El LRFD es un método de diseño de fuerzas o un método de diseño de estado límite. Este método toma en consideración la naturaleza aleatoria de las fuerzas y resistencias y diferentes niveles de incertidumbre para distintos tipos de cargas. Las cargas de diseño o factorizadas se obtienen multiplicando los valores esperados normalmente, llamados cargas nominales, por un factor de carga usualmente mayor de uno. Las capacidades o resistencias de diseño son calculadas multiplicando la capacidad nominal por factores de resistencia, que tienen valores menores de uno. Para que un diseño sea aceptable, la capacidad factorizada tiene que ser mayor o igual a la demanda de capacidad que resulta de las cargas de diseño factorizadas para un estado límite en particular. El LRFD utiliza la teoría de confiabilidad ("reliability theory") para derivar los factores de carga y de resistencia.

3.2. ESTADOS LÍMITE

Si un muro de contención no satisface su función, se considera que alcanzó el estado límite. Los estados límite se pueden categorizar en dos tipos: Estado Límite Último y Estado Límite de Servicio.

Un muro alcanza el estado límite último cuando la capacidad de por lo menos uno de sus componentes se moviliza por completo o cuando la estructura se hace inestable. En este estado límite último el muro de contención puede experimentar serios problemas y daños estructurales, localmente y globalmente. Además, se pueden identificar varios modos de falla en el suelo que aguanta el muro. Algunos de estos estados límite último

son: la falla de la capacidad del suelo, el deslizamiento del muro, y el vuelco e inestabilidad global del muro.

Un muro de contención experimenta un estado límite de servicio cuando no logra realizar las funciones para las que fue diseñado completamente, debido a deformaciones excesivas o deterioro. El estado límite de servicio incluye: asentamiento total o diferencial excesivo, movimiento lateral, fatiga, vibración y agrietamiento.

3.3. FACTORES DE SEGURIDAD

En el ASD se utiliza un factor de seguridad global para asegurar la seguridad de una estructura o fundación. La Tabla 1 muestra los valores de los factores de seguridad utilizados en el programa de computadora.

Tabla 1. Factores de seguridad utilizados

Tipo de Falla	Factor de Seguridad	
	Estático	Terremoto
Vuelco	2.0	1.4
Deslizamiento	1.5	1.1
Capacidad Portante (“Bearing Capacity”)	1.0	1.0

3.4. FACTORES DE CARGA

Los factores de carga se aplican a las cargas para tomar en consideración las incertidumbres envueltas en el proceso de la selección de cargas y sus efectos.

3.5. CARGAS DE DISEÑO Y COMBINACIONES DE CARGA

En el diseño de estructuras se utilizan varias combinaciones de distintas cargas. Estas cargas incluyen la carga muerta, la carga viva, la presión lateral del suelo, la carga de viento, la carga de terremoto, la carga de nieve y las cargas relacionadas a la deformación como la deformación a largo plazo ("creep") y el encogimiento en el hormigón. Las ecuaciones 3.1 a la 3.3 muestran las diferentes combinaciones de carga y sus factores, según recomienda el Uniform Building Code (1997), utilizadas en el programa en Matlab para calcular las cargas de diseño.

$$1.4D \tag{3.1}$$

$$1.2D + 1.6L \tag{3.2}$$

$$1.2D + 1.0L + 1.0E \tag{3.3}$$

donde:

D = carga muerta,
L = carga viva, y
E = carga de terremoto.

3.6. RELLENO

Varios tipos de suelo se pueden usar como relleno para muros de contención. Los suelos que se drenan libremente tal como las arenas limpias y la gravilla son los materiales más deseables para usarse como relleno. Los suelos arcillosos causan muchos problemas tal como cambios en volumen, drenaje lento, asentamiento, deformación a largo plazo ("creep") y agrietamiento debido al encogimiento. Estas grietas que se forman en la arcilla se pueden llenar de agua y de esa forma aplicarle al muro unas

presiones laterales altas que no se esperaban. Por estas desventajas, los suelos arcillosos no son recomendados para utilizarse como relleno.

El material de relleno debe ser compactado para minimizar los asentamientos debidos al peso propio y a las sobrecargas. La compactación aumenta las fuerzas laterales en el muro y se deben tomar en consideración en el diseño.

Las propiedades del relleno, como su densidad y su capacidad de carga, pueden ser determinadas mediante pruebas de laboratorio o mediante fórmulas analíticas.

3.7. DRENAJE

Una de las razones principales de que un muro no se desempeñe adecuadamente es que el sistema de drenaje se diseñe de forma inapropiada o que se construya de forma inadecuada. El propósito principal de un sistema de drenaje es prevenir que presiones hidrostáticas excesivas actúen sobre el muro de contención. Varios tipos de sistemas de drenaje pueden ser usados basándose en el tipo de muro de contención, en el material de relleno y el nivel freático.

Los materiales compuestos prefabricados para drenar se pueden utilizar en el sistema de drenaje. Los huecos de drenaje (“weep holes”) deben ser de por lo menos tres pulgadas (3”) de diámetro y estar espaciados a no más de 10 pies horizontalmente y verticalmente. Para evitar que los huecos de drenaje se tapen, se debe utilizar material granular y/o tela de filtración (“filter fabric”). Las Figuras 4 y 5 muestran varias alternativas a utilizarse en sistemas de drenaje.

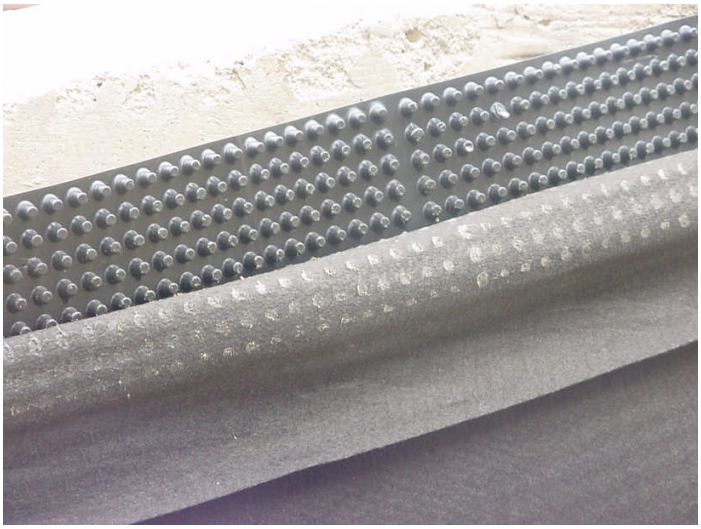


Figura 4. Tela de filtración (Foto por R. Guzmán)

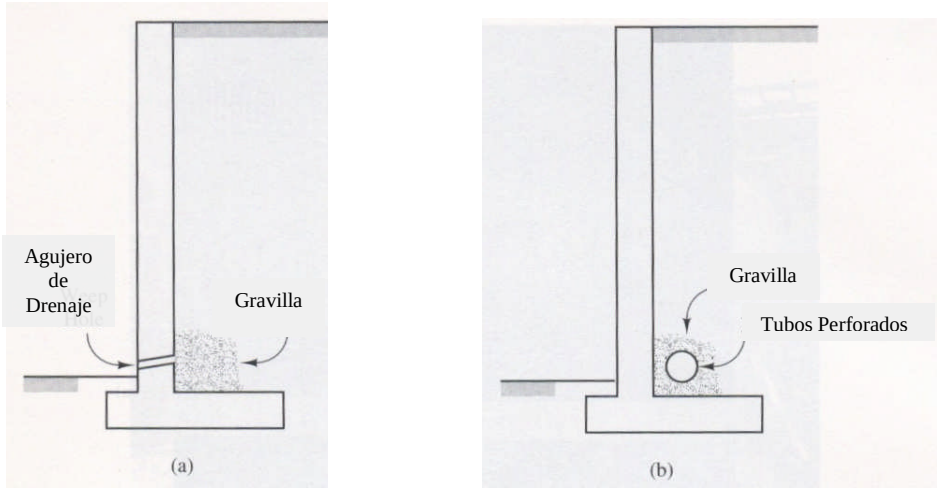


Figura 5. Sistemas de drenaje: (a) hueco de drenaje y (b) tubos perforados (Coduto, 2001)

3.8. JUNTAS DE CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN

Los efectos del encogimiento y esfuerzos termales se deben tener en consideración cuando la longitud del muro de contención es mayor de aproximadamente 30 piés. Las juntas se proveen para permitirle al hormigón que se mueva ligeramente y para controlar el encogimiento y los esfuerzos termales. Hay dos tipos generales de juntas: juntas de expansión y juntas de contracción.

Las juntas de expansión son usadas para permitir el movimiento diferencial horizontal y vertical entre segmentos unidos del muro. Estos consisten de una junta completamente separada rellena con un material compresible que permite al muro expandirse y contraerse con los cambios en humedad y temperatura.

Las juntas de contracción o de control son usadas para controlar la localización de las grietas tensiles creando un plano de debilidad en el muro y forzando a que el agrietamiento ocurra en esos lugares. El plano debilitado se logra mediante ranuras estrechas localizadas en la cara exterior de la pared del muro de contención. Las ranuras usualmente se rellenan con un sellador para prevenir la penetración de la humedad.

Las especificaciones del AASHTO (1989) para puentes requieren que las juntas de contracción estén espaciadas a no más de 30 pies y las juntas de expansión deben ser puestas en intervalos de 90 pies o menos en las paredes de hormigón.

4. FUERZAS ACTUANDO SOBRE LOS MUROS DE CONTENCIÓN

En este capítulo se discutirán las consideraciones envueltas en el estimado de las presiones de suelo estáticas y sísmicas actuando sobre muros de contención.

4.1. PRESIÓN ESTÁTICA DEL SUELO

Las presiones estáticas actuando sobre un muro de contención se pueden clasificar en presiones en condiciones de reposo, activas y pasivas. Los esfuerzos en cualquier punto dentro de una masa de suelo se pueden ilustrar mediante círculos de Mohr, como se muestra en la Figura 8, utilizando un eje de coordenadas que consiste de los esfuerzos efectivos normales, σ'_v, y los esfuerzos cortantes, τ.

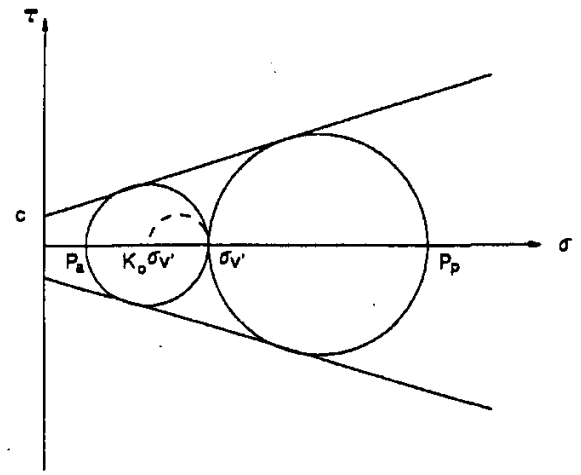


Figura 6. Círculos de Mohr para coeficientes de presión del suelo (Kim, 1991)

4.2. CONDICIÓN EN REPOSO

Los muros que no se mueven o que no se mueven lo suficiente para activar la condición activa, tal como paredes de sótanos, estructuras soterradas y estribos de puentes, están sometidos a presiones de suelo en reposo. Estas presiones aumentan linealmente con la profundidad y se pueden expresar utilizando la Ecuación 4.1.

$$\sigma_0 = K_0 \cdot \gamma \cdot z \tag{4.1}$$

donde:

σ_0 = presión en reposo (fuerza/longitud^2),

K_0 = coeficiente de la presión lateral en reposo,

γ = peso unitario del suelo (fuerza/longitud^3), y

z = profundidad debajo de la superficie del relleno (longitud).

Para suelos normalmente consolidados, el coeficiente K_0 se puede estimar utilizando la Ecuación 4.2 (Jaky, 1944).

$$K_0 = 1 - \sin\phi' \tag{4.2}$$

donde:

ϕ' = ángulo de fricción interna del suelo.

Por su parte, para suelos sobre-consolidados, el coeficiente K_0 se puede estimar utilizando la relación empírica mostrada en la Ecuación 4.3 (Mayne y Kulhawy, 1982).

$$K_0 = (1 - \sin\phi')OCR^{\sin\phi'} \tag{4.3}$$

donde:

OCR = razón de sobre-consolidación del suelo.

4.3. MOVIMIENTO DEL MURO Y PRESIONES DEL SUELO

Las presiones del suelo que actúan en el muro varían con el desplazamiento del muro. Cuando el muro de contención se aleja del relleno, las presiones disminuyen (condición activa) y cuando se mueve hacia el relleno las presiones aumentan (condición pasiva). La Tabla 2 (CGS, 1992) ofrece valores aproximados del movimiento del muro requeridos para alcanzar la condición activa. Como se puede observar en la tabla, los muros con un relleno de material granular necesitan desplazarse menos que los muros en suelos arcillosos para alcanzar la condición activa.

Tabla 2. Movimiento del muro requerido para alcanzar la condición activa en relación a la altura, H

Tipo de Suelo	Movimiento Horizontal Requerido para Alcanzar la Condicion Activa
Arena densa	0.001 H
Arena suelta	0.004 H
Arcilla rígida	0.010 H
Arcilla suave	0.020 H
H = altura del muro	

Como se muestra en la Figura 7, los valores de los coeficientes de la presión del suelo varían con el desplazamiento del muro y eventualmente permanecen constantes.

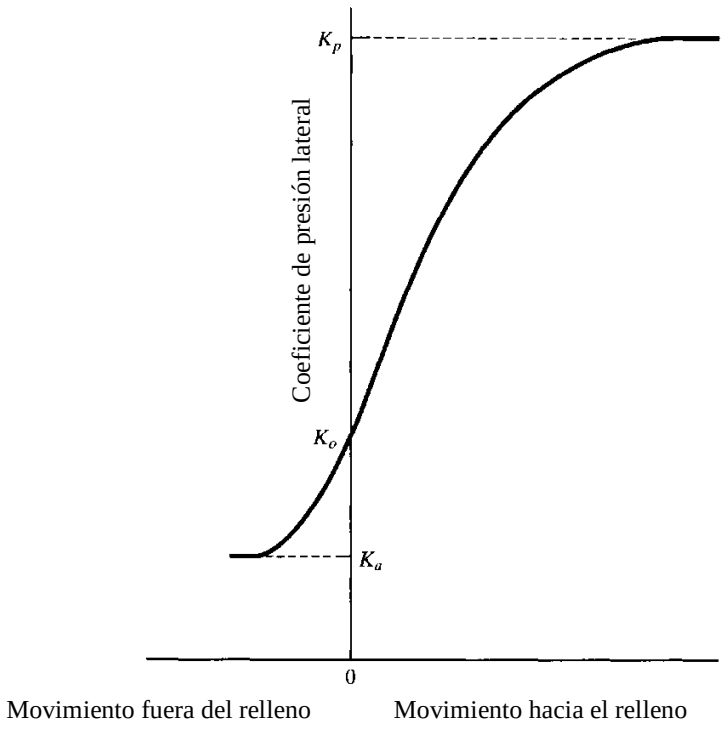


Figura 7. Relación entre el movimiento del muro y la presión del suelo (Coduto, 2001)

4.4. MÉTODOS PARA ESTIMAR K_a Y K_p

Coulomb (1776) y Rankine (1856) desarrollaron métodos simples para calcular las presiones activas y pasivas que actúan sobre estructuras de retención de suelos. Caquot y Kerisel (1948) desarrollaron la teoría de logaritmo-espiral para casos más generales. Estos métodos para calcular las presiones del suelo se pueden usar si el movimiento del muro es lo suficientemente grande para que se movilice por completo la capacidad al cortante del relleno y si las propiedades del suelo se pueden estimar con suficiente precisión. En este trabajo, se utilizaron las teorías de Coulomb y de Rankine para calcular las presiones activas y pasivas, respectivamente. El método de la cuña

("trial wedge") de Coulomb se puede utilizar para configuraciones de rellenos irregulares y la teoría de Rankine se puede usar para configuraciones más regulares. A continuación se discuten estos métodos.

4.4.1. TEORÍA DE COULOMB PARA SUELOS SIN COHESION (c = 0) Y φ ≥ 0 (CONDICIÓN ACTIVA)

La teoría de Coulomb se basa en el concepto de que la fuerza lateral producida por el suelo que actúa sobre el muro se puede evaluar mediante el análisis del equilibrio de una masa de suelo en forma de cuña confinada por el muro, la superficie del relleno y la superficie de falla del suelo. Las suposiciones de éste análisis son:

(a) el suelo es homogéneo e isótropo,

(b) la superficie más crítica es un plano,

(c) la superficie del suelo es un plano (no tiene que ser horizontal),

(d) el muro se mueve lo suficiente como para generar la condición activa o pasiva,

(e) hay fricción entre el suelo y la pared, y

(f) la fuerza resultante está inclinada a un ángulo ϕ_w de una línea perpendicular a la pared como se muestra en la Figura 8.

La fuerza de la presión activa se puede expresar mediante la Ecuación 4.4.

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma \cdot H^2 \cdot K_a \tag{4.4}$$

donde:

P_a = fuerza de la presión activa del suelo (fuerza/longitud),

K_a = coeficiente de la presión activa del suelo y se define a su vez según Coulomb mediante la Ecuación 4.5,

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2(\alpha)\cos(\phi_w + \alpha)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \phi_w)\sin(\phi - \beta)}{\cos(\phi_w + \alpha)\cos(\alpha - \beta)}}\right]^2} \qquad (4.5)$$

γ = peso unitario del suelo (fuerza/longitud^3),

H = altura del muro (longitud),

ϕ = ángulo de fricción interna del suelo (grados),

ϕ_w = ángulo de fricción entre el muro y el suelo (grados),

β = pendiente de la superficie de relleno (grados), y

α = pendiente de la cara de la pared (grados).

La Ecuación 4.5 es válida sólo para $\beta \leq \phi$

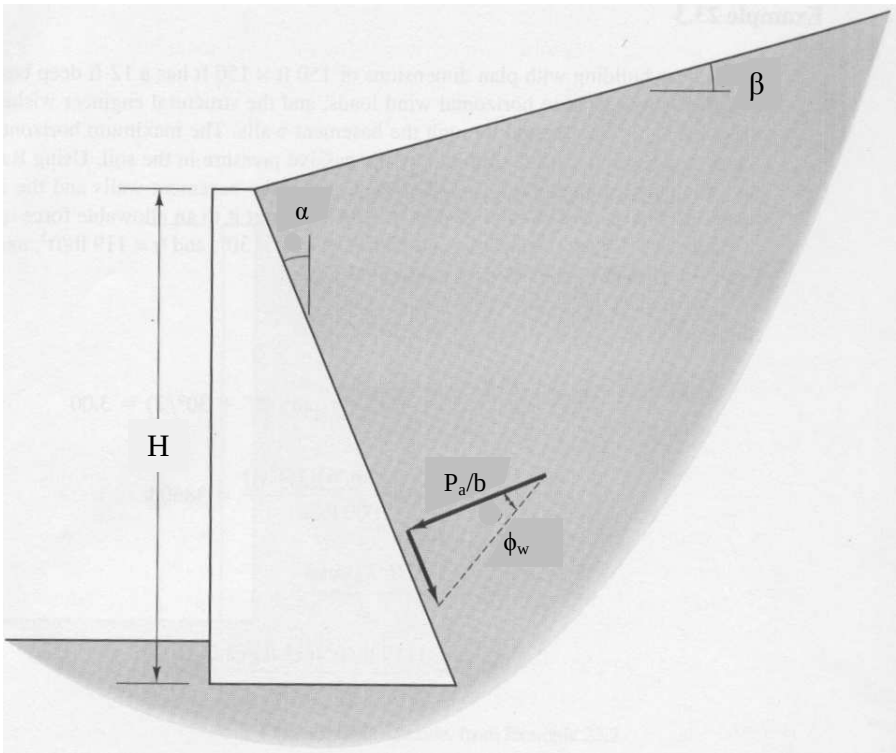


Figura 8. Parámetros para la ecuación de presión activa de Coulomb. Las paredes inclinadas en la dirección opuesta tienen un α negativo (Coduto, 2001)

La fricción entre el muro y el material de relleno tiene un efecto importante en la magnitud de la presión del suelo y tiene un efecto aún más importante en la dirección de la fuerza debido a la presión. En la Tabla 3, se muestran los valores máximos posibles de los ángulos de fricción entre el muro y el suelo para hormigón y distintos tipos de suelo. El coeficiente de fricción μ se puede tomar como $\mu = \tan\phi_w$. Para muros de contención de hormigón, el ángulo ϕ_w se puede tomar entre 0.5ϕ y 0.67ϕ.

Tabla 3. Ángulos de fricción ϕ_w entre varios materiales de construcción y tipos de suelo

Material de Interface	Angulo de Fricción, ϕ_w (grados)
Hormigón en una de las siguientes:	-
Roca	35
Gravilla o arena gruesa	29-31
Arena fina a mediana, arena mediana a gruesa con limo, gravilla limosa o arcillosa	24-29
Arena fina, arena fina a mediana limosa o arcillosa	19-24
Limo arenoso o limo	17-19
Arcilla preconsolidada	22-26
Arcilla semi-rígida a rígida y arcilla limosa	17-19

4.4.2. TEORÍA DE RANKINE PARA SUELOS SIN COHESION (c = 0) Y $\phi \geq 0$ (CONDICIÓN PASIVA)

La teoría de Rankine tiene las siguientes suposiciones:

(a) el suelo es homogéneo e isótropo,

(b) la superficie más crítica es un plano,

(c) la superficie del suelo es un plano (no tiene que ser horizontal),

(d) el muro se mueve lo suficiente como para generar la condición activa o pasiva,

(e) la fuerza resultante está inclinada a un ángulo paralelo a la superficie del suelo,

(f) no hay fricción entre el muro y el suelo,

(g) el muro es infinitamente largo para poder analizar el problema en dos dimensiones, y

(h) esta teoría está limitada a paredes verticales.

La fuerza de la presión activa se puede expresar con la Ecuación 4.6.

$$P_p = \frac{1}{2}\gamma \cdot H^2 \cdot K_p \tag{4.6}$$

donde:

P_p = fuerza de la presión pasiva del suelo (fuerza/longitud),

K_p = coeficiente de la presión pasiva del suelo, donde Kp se define utilizando la Ecuación 4.7,

$$K_p = \cos\beta \frac{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} \tag{4.7}$$

En el caso donde β = 0 (superficie horizontal), K_p se define mediante la Ecuación 4.8,

$$K_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = \tan^2\left(45 + \phi/2\right) \tag{4.8}$$

γ = peso unitario del suelo (fuerza/longitud^3),

H = altura del muro (longitud),

ϕ = ángulo de fricción interna del suelo (grados), y

β = pendiente de la superficie de relleno (grados).

4.5. SOBRECARGAS (“SURCHARGES”)

Las sobrecargas sobre la superficie del suelo retenido producen una presión lateral adicional en los muros de contención. Cuando la sobrecarga es uniforme sobre la superficie del suelo, la presión lateral adicional debido a la sobrecarga se asume que permanece constante con la profundidad y tiene una magnitud, Δp, que se calcula utilizando la Ecuación 4.9.

$$\Delta p = Kq_s \tag{4.9}$$

donde:

Δp = presión lateral del suelo constante debido a una sobrecarga uniforme,

K = coeficiente de la presión lateral del suelo, y

q_s = sobrecarga uniforme aplicada en la superficie del suelo retenido.

La fuerza resultante horizontal de esta presión lateral actúa en la mitad de la altura del muro (0.5 H). Para la condición activa del suelo, K se denota como K_a mientras que para la condición en reposo, K se denota como K_o.

Cuando se anticipa que va a haber tránsito vehicular a una distancia detrás del muro menor o igual a la altura del muro, se asume que una sobrecarga de carga viva va a actuar sobre la superficie de suelo retenido. Esta sobrecarga se puede tomar como una altura equivalente de suelo adicional sobre el muro. En la Tabla 4, se muestran alturas equivalentes, H_L, para cargas vehiculares sobre muros de contención de distintas alturas (AASHTO, 1989).

Tabla 4. Altura equivalente de suelo para cargas vehiculares (AASHTO, 1989)

Altura del Muro (pies)	H_L (pies)
≤ 4’-11”	5’-7”
9’-10”	3’-11”
19’-8”	2’-6”
≥ 29’-6”	2’-0”

La presión lateral activa del suelo se puede expresar según se muestra en la Ecuación 4.10.

$$\Delta p_a = \gamma \cdot H_L \cdot K_a \tag{4.10}$$

donde:

Δp_a = presión lateral activa del suelo,

γ = peso unitario del suelo (fuerza/longitud^3),

H_L = altura equivalente del suelo para cargas vehiculares, y

K_a = coeficiente de la presión activa del suelo.

4.6. EFECTO DEL AGUA

Cuando hay agua detrás del muro, el muro se debe diseñar para que pueda soportar la presión hidrostática del agua en adición a la presión lateral del suelo. La presión hidrostática del agua, p_w, se puede calcular con la Ecuación 4.11.

$$p_w = \gamma_w (z - z_w) \tag{4.11}$$

donde:

γ_w = peso unitario del agua (fuerza/longitud^3) = 62.4 lb/pie^3,

z_w = profundidad del nivel freático (longitud), y

z = profundidad debajo de la superficie del suelo (longitud).

El peso unitario sumergido del suelo, γ', se debe usar para determinar la presión lateral del suelo debajo del nivel freático. La Figura 9 muestra el efecto del agua en las presiones que actúan sobre un muro de contención.

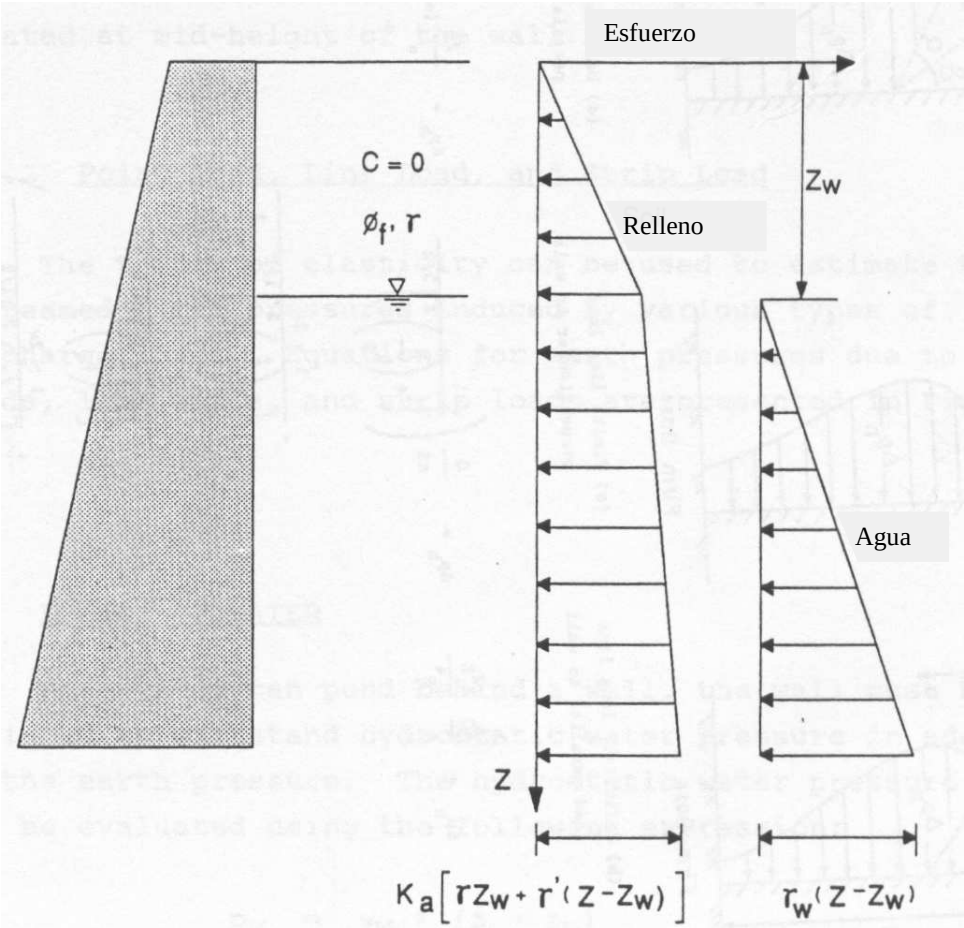


Figura 9. Presiones activas para un muro sin fricción con nivel freático (Kim, 1991)

4.7. EFECTO DE TERREMOTO

Los muros de contención en zonas sísmicas pueden experimentar problemas como asentamiento excesivo o desplome del relleno y movimientos excesivos del muro durante eventos sísmicos. Para tomar en cuenta las presiones activas generadas por los terremotos se va a utilizar la teoría de Mononobe-Okabe.

4.7.1. TEORÍA DE MONONOBE-OKABE

El método más usado para obtener las fuerzas sísmicas del suelo es un enfoque pseudo-estático desarrollado por Mononobe (1929) y Okabe (1926). El análisis de Mononobe-Okabe es una extensión de la teoría de Coulomb para analizar las fuerzas activas. El método hace las siguientes suposiciones:

(a) el muro se mueve lo suficiente como para producir la presión activa mínima durante un terremoto,

(b) la cuña activa de falla detrás del muro se comporta como un cuerpo rígido de forma tal que la aceleración sea constante en toda la masa de suelo,

(c) los suelos detrás del muro no están saturados y no va a ocurrir licuación, y

(d) las superficies de falla son planas.

La fuerza activa actuando sobre el muro debido a la combinación de las presiones estáticas y sísmicas se determina utilizando la Ecuación 4.12.

$$P_{ae} = \frac{1}{2}\gamma H^2 (1 - k_v) K_{ae} \tag{4.12}$$

donde, K_{ae} está definido por la Ecuación 4.13,

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \alpha)}{\cos(\theta)\cos^2(\alpha)\cos(\phi_w + \alpha + \theta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \phi_w)\sin(\phi - \theta - \beta)}{\cos(\phi_w + \alpha + \theta)\cos(\beta - \alpha)}}\right]^2} \tag{4.13}$$

y donde:

P_{ae} = fuerza activa por unidad de longitud de la pared considerando el efecto de terremoto (ver Figura 12),

γ = peso unitario del suelo,

H = altura del muro,

K_{ae} = coeficiente de la presión activa del suelo considerando el efecto de terremoto,

k_v = coeficiente de aceleración vertical,

k_h = coeficiente de aceleración horizontal,

ϕ = ángulo de fricción interna del suelo (grados),

ϕ_w = ángulo de fricción entre el muro y el suelo (grados) = 0.5 ϕ,

β = pendiente de la superficie de relleno (grados),

α = pendiente de la cara de la pared (grados), y

$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right)$.

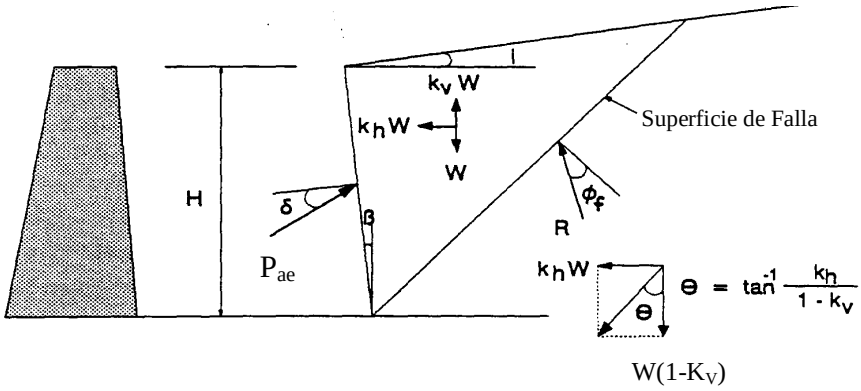


Figura 10. Cuña sísmica para la condición activa (Kim, 1991)

4.7.1.1. PROCEDIMIENTO DE MONONOBE-OKABE

El procedimiento de Mononobe-Okabe para calcular las fuerzas sísmicas sobre un muro de contención se discutirán en esta sección. El procedimiento se lleva a cabo de la siguiente forma:

1. Seleccionar un coeficiente sísmico horizontal, k_h, apropiado basado en el terremoto de diseño y asumir un valor de $k_v = 0$, donde el coeficiente sísmico, k_h, se puede asumir igual a la aceleración pico del suelo (PGA). AASHTO (1989) recomienda que un valor de $k_h = 0.5$ sea utilizado para la mayoría de los casos si el muro se diseña para permitirle movimiento, sin embargo, si no se permite desplazamiento horizontal del muro, AASHTO recomienda utilizar un coeficiente $k_h = 1.5$.
2. Calcular P_{ae} utilizando la teoría de Mononobe-Okabe mediante la Ecuación 4.12.
3. Calcular P_a utilizando la teoría de Coulomb mediante la Ecuación 4.4.
4. Calcular $\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a$.
5. Asumir que P_a actúa a una distancia H/3 medida desde la parte de abajo del muro (ver Figura 11).

6. Asumir que ΔP_{ae} actúa a una distancia 0.6H medida desde la parte de abajo del muro (ver Figura 11).
7. Calcular la fuerza de inercia del muro, Wk_h, para tomar en consideración el movimiento horizontal del muro.
8. Si la cuña de suelo detrás del muro no se puede movilizar, se recomienda que ΔP_{ae} se aumente utilizando un factor de seguridad de 1.5.
9. Si el coeficiente de aceleración horizontal, denotado por k_h, se asume igual a la aceleración pico del suelo, entonces se pueden usar factores de seguridad para deslizamiento y capacidad portante variando entre 1.0 a 1.1 para ambos casos. Para estabilidad por vuelco, se pueden usar factores de seguridad variando entre 1.3 y 1.4.

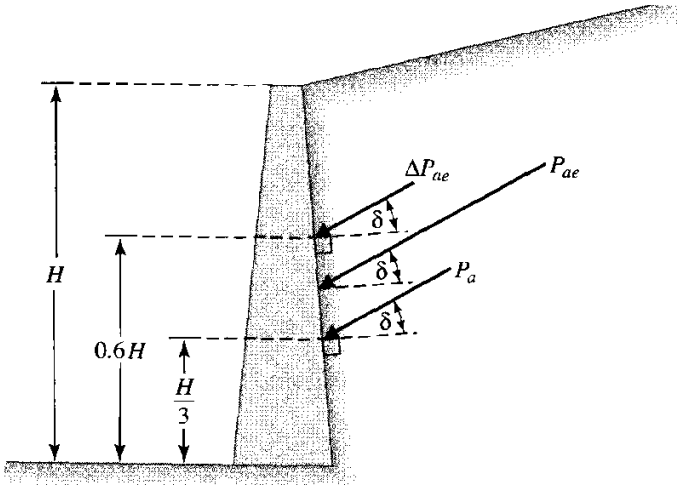


Figura 11. Localización de las fuerzas resultantes (Das, 2002)

5. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Los muros de contención están sometidos a varios estados límites o tipos de falla, como se muestra en la Figura 12. Estas fallas pueden ocurrir en el suelo o en los elementos estructurales. La falla por deslizamiento, Figura 12 (a), ocurre cuando las presiones laterales del suelo actuando sobre el muro exceden la capacidad por fricción entre la base del muro y el suelo. El muro no debe volcarse, como se muestra en la Figura 12 (b). La resultante de la fuerza normal que actúa en la base de la zapata debe estar en el tercio medio de la base como se muestra en la Figura 12 (c). Si la presión que ejerce el muro sobre el suelo en la fundación del muro es mayor que la capacidad del suelo en la fundación ocurre una falla por capacidad portante como se muestra en la Figura 12 (d). También puede ocurrir una falla profunda por cortante si el suelo debajo de la fundación es uno inadecuado, Figura 12 (e). Otro problema que debemos evitar es la generación de asentamientos excesivos, como se muestra en la Figura 12 (f). Además de estas fallas se debe verificar que los elementos estructurales no fallen. La estabilidad externa de un muro en cada uno de estos modos de falla depende de sus dimensiones y de las fuerzas que ejerce el suelo sobre el muro.

En éste capítulo se discuten los métodos utilizados para prevenir algunas de estas fallas de estabilidad externa. Además se discutirán los métodos utilizados en el diseño de los elementos estructurales del muro de contención. En el siguiente capítulo, estos métodos y requisitos de diseño se ilustrarán a través de un problema de ejemplo.

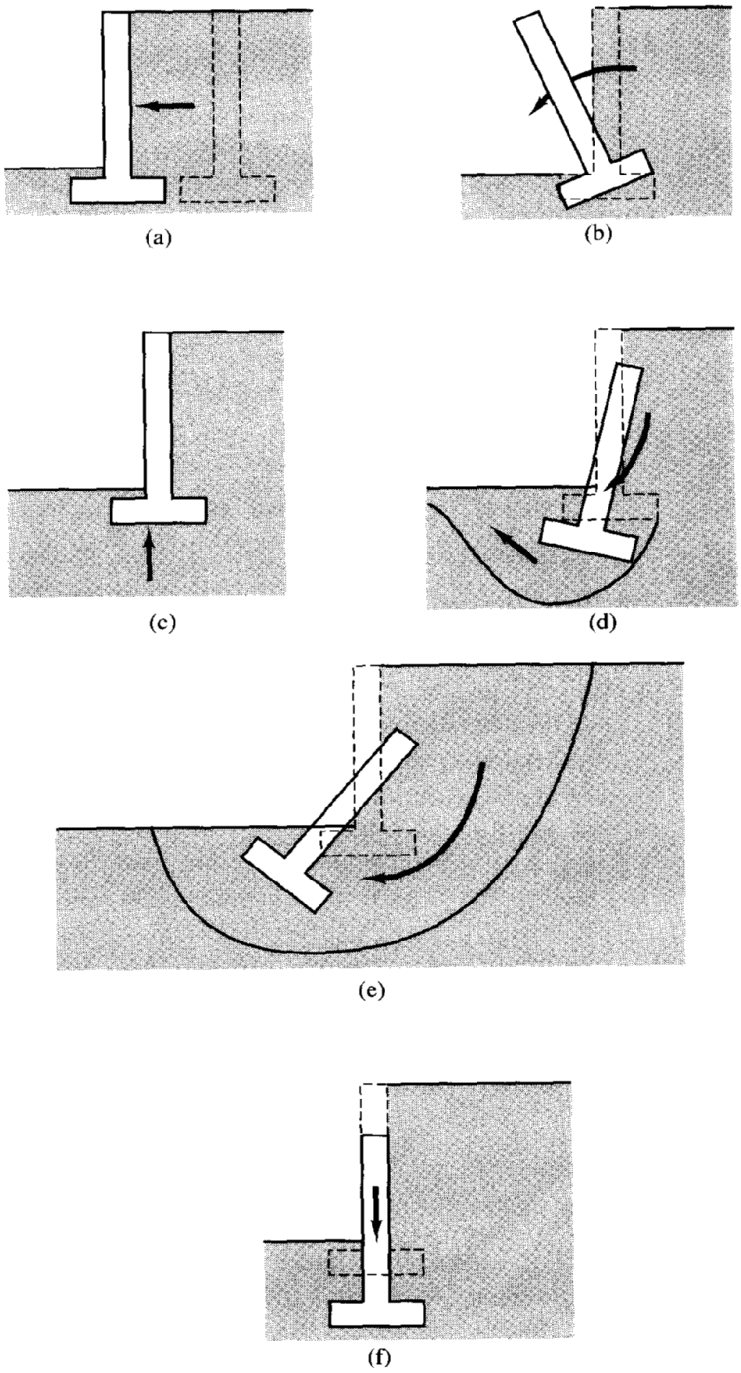


Figura 12. Modos de falla para muros de contención (Coduto, 2001)

a) Falla por deslizamiento
b) Falla por vuelco
c) Falla por localización de la resultante
d) Falla por capacidad de sustentación
e) Falla profunda por cortante
f) Falla por asentamiento

5.1. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN

En esta sección, se discutirá el procedimiento a seguir para llevar a cabo el diseño de un muro de contención de hormigón armado al voladizo. Los pasos a seguir para el diseño del muro son los siguientes:

1. Seleccionar dimensiones preliminares para el muro. En la Figura 13 se muestran unas dimensiones preliminares para muros al voladizo que se pueden utilizar para una primera iteración.

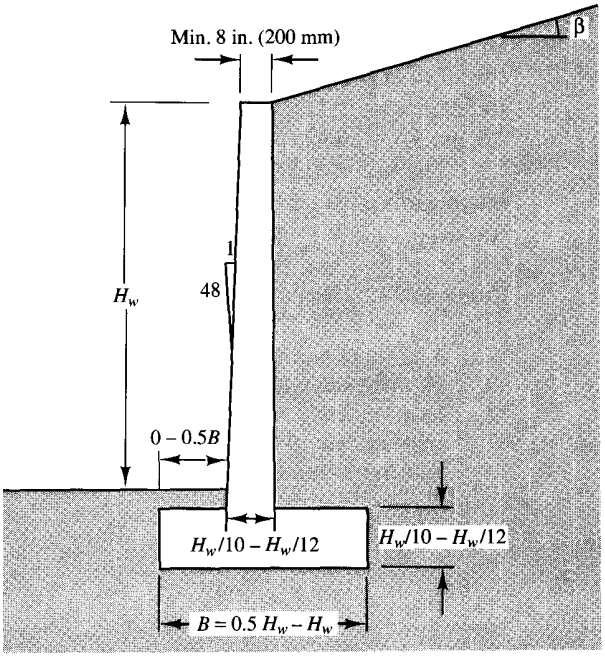


Figura 13. Dimensiones preliminares sugeridas para un muro de contención al voladizo (Coduto, 2001)

2. Determinar las cargas y las presiones de suelo como se explicó en el Cápitulo 4.
3. Verificar la estabilidad y los criterios de seguridad
   (a) Localización de la fuerza resultante en la base. La localización de la resultante en la base se determina realizando un balance de momentos en la base del muro. La resultante debe actuar en el tercio medio de la base.

(b) Capacidad de presión del suelo. Para mantener seguridad contra una falla por capacidad portante del suelo, se aplica un factor de seguridad a la capacidad portante última del suelo (ver Tabla 1). La capacidad portante del suelo se puede calcular mediante exploraciones in-situ o mediante procedimientos semi-empíricos.

La distribución de la capacidad a presión del suelo se puede tratar como un triángulo, un trapezoide o como un rectángulo. La resultante de las distribuciones triangulares y trapezoidales pasará por el centroide de las mismas y pasará por el centro de una distribución uniforme.

En una distribución trapezoidal, la presión máxima ejercida por el suelo cuando la resultante está ubicada dentro del tercio medio de la base se obtienen utilizando la Ecuación 5.1.

$$q_{u,\max} = \frac{R}{L} + \frac{6\,\mathrm{Re}}{L^2} \tag{5.1}$$

donde:

R = resultante de las fuerzas verticales (fuerza/longitud),

L = ancho de la base del muro (longitud), y

e = excentricidad de la resultante R (longitud).

(c) Factor de seguridad contra deslizamiento. La Ecuación 5.2 muestra la expresión requerida para satisfacer los criterios de estabilidad debidos al deslizamiento del muro.

$$\frac{F_{friction}}{FS_{sliding}} \geq F_{sliding} \tag{5.2}$$

donde:

$F_{friction}$ = resistencia friccional (fuerza/longitud)

= $\mu R = R \tan \phi_w$,

ϕ_w = ángulo de fricción entre el muro y el suelo (grados),

$F_{sliding}$ = fuerzas horizontales que causan deslizamiento (fuerza/longitud), y

$FS_{sliding}$ = factor de seguridad contra vuelco (ver Tabla 1).

La presión lateral ejercida por el suelo ocasiona que la pared trate de deslizarse. Este movimiento, a su vez, es resistido por la fricción entre la base del muro de contención y el suelo debajo de la base. La presión pasiva, denotada por P_p, generada por el suelo frente al muro podría tomarse en cuenta para resistir el deslizamiento, pero se tendría que tener mucha certeza de que el suelo frente al muro va a existir permanentemente. En adición a esto, la falla debido a deslizamiento ocurre antes de que la presión pasiva se active por completo en muchos casos. Por tales razones, en este proyecto no se consideraron los efectos de la presión pasiva para contrarrestar el deslizamiento ocasionado por las fuerzas horizontales.

(d) Factor de seguridad contra vuelco. Para que el muro satisfaga los criterios de estabilidad contra vuelco tiene que cumplir con la relación mostrada en la Ecuación 5.3.

$$\frac{\sum M_r}{FS_{vuelco}} \geq \sum M_{vuelco} \tag{5.3}$$

donde:

ΣM_r = momentos que resisten vuelco (fuerza*longitud),

ΣM_{vuelco} = momentos que ocasionan vuelco (fuerza*longitud), y

FS_{vuelco} = factor de seguridad contra vuelco (ver Tabla 1).

4. Revisar las dimensiones del muro y repetir los pasos 2 y 3 hasta cumplir con los requisitos de estabilidad para luego verificar:
   (a) asentamiento permisible, y
   (b) factor de seguridad para fallas profundas en el suelo de la fundación.
5. Si las proporciones de la base del muro son demasiado grandes, considerar el uso de pilotes o fustes barrenados en la fundación.
6. Comparar el costo del muro diseñado con el costo de otros sistemas retención de suelos.

5.2. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

A continuación discutiremos sobre los procedimientos realizados para el diseño de los elementos estructurales del muro de contención al voladizo. Los elementos estructurales del muro se diseñan utilizando los requisitos establecidos en el código del ACI 318-99, como se demostrará en el ejemplo del Capítulo 6.

El muro de contención se compone de los siguientes elementos estructurales:

a) pared, y
b) base.

5.2.1. DISEÑO DE LA PARED

La pared del muro de contención se diseña como una viga vertical al voladizo soportada por la base del muro. La pared de un muro está sujeta a cargas axiales y a flexión. Las cargas axiales se deben al peso propio de la pared, cargas de estructuras sobre la pared y al componente vertical de la presión del suelo actuando sobre el muro. Los momentos que ocasionan flexión son generados por el componente horizontal de la presión del suelo actuando sobre la pared, las cargas sobreimpuestas y las cargas verticales excéntricas.

5.2.2. DISEÑO DE LA BASE

La base de hormigón de un muro de contención al voladizo se diseña como una viga horizontal al voladizo soportada en la pared del muro. La base del muro por lo general se divide en dos partes por la localización de la pared. El lado de la base por el cual el muro tiende a rotar se le conoce como la punta (“toe) y el otro lado se le conoce como el talón (“heel”). Por lo general la punta de la base está localizada en el frente del muro y el talón está en el lado del relleno.

Los momentos máximos utilizados en el diseño de la base ocurren en la cara de el frente de la pared para la punta (“toe”) y en la cara posterior de la pared para el talón. El diseño toma en consideración también las fuerzas cortantes actuando sobre la base.

6. EJEMPLO DE DISEÑO DE MURO DE CONTENCIÓN AL VOLADIZO

En este capítulo se presentarán los procedimientos de diseño mostrados en los capítulos anteriores mediante un problema de ejemplo. El problema incluirá el diseño de la geometría del muro para que cumpla con los criterios de estabilidad y se presentará el diseño estructural del mismo.

El ejemplo presentado será un muro de contención al voladizo de hormigón reforzado con un relleno a nivel sujeto a una sobrecarga de carga viva. El muro será construido sobre una capa de arena.

6.1. EJEMPLO 1 – MURO DE CONTENCION SUJETO A SOBRECARGA

Problema:

La estabilidad y seguridad del muro de contención mostrado en la Figura 14 serán verificados y diseñados utilizando los métodos del ASD y el LRFD.

El muro está fundado sobre una arena con una capacidad portante permisible de 5,000 libras por pié cuadrado.

El relleno soportado por el muro es una arena con un ángulo de fricción interno igual a 35°. El peso unitario del relleno es igual a 120 libras por pié cúbico y la densidad del hormigón es de 150 libras por pié cúbico.

Se considera utilizar un acero de refuerzo con un esfuerzo de cedencia, f_y, igual a 60,000 libras por pulgada cuadrada. El hormigón a utilizarse tendrá una capacidad máxima en compresión f_c', igual a 4,000 libras por pulgada cuadrada.

Una sobrecarga de carga viva equivalente a ocho (8) pies de suelo actúa sobre la superficie del relleno.

En este ejemplo, la presión pasiva frente al muro no se considerará para resistir el movimiento del mismo.

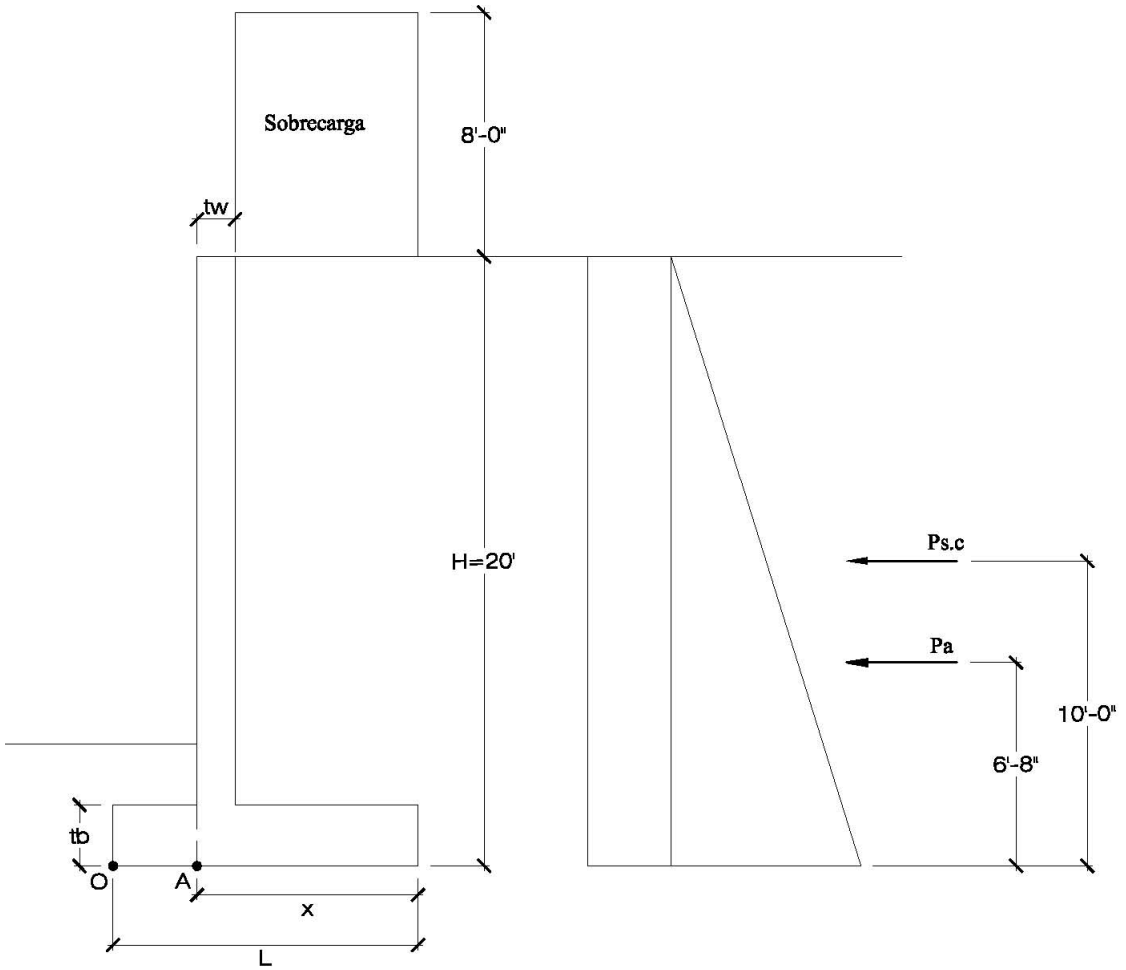


Figura 14. Ejemplo de diseño para un muro de contención al voladizo (Figura por R. Guzmán)

Solución:

1. Calcular las cargas y presión del suelo ejercidas sobre el muro de la siguiente forma:

   a. el coeficiente de presión activa (K_a) utilizando la teoría de Coulomb es igual a:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2(\alpha)\cos(\phi_w + \alpha)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \phi_w)\sin(\phi - \beta)}{\cos(\phi_w + \alpha)\cos(\alpha - \beta)}}\right]^2}$$

   donde:

$$\phi_w = 0.5\phi = 0.5 \cdot 35^\circ = 17.5^\circ$$

$$K_a = \frac{\cos^2(35)}{\cos^2(0)\cos(17.5)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(35 + 17.5)\sin(35)}{\cos(17.5)\cos(0)}}\right]^2}$$

$$K_a = 0.246$$

   b. la fuerza debido a la presión activa (P_a) es igual a:

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_a = \frac{1}{2}(120)(20)^2(0.246) = 5{,}904\, {}^{lb}\!/_{pie}$$

   c. la fuerza debido a la sobrecarga ($P_{s.c.}$) es igual a:

$$P_{s.c.} = K_a \gamma H_L H = 0.246(120)(8)(20) = 4{,}723\, {}^{lb}\!/_{pie.}$$

2. Utilizando como guía la Figura 13 para determinar las dimensiones preliminares del muro, obtenemos los siguientes resultados:

   a. el espesor de la base (t_b) se estima como un 10 porciento de la altura del muro,

      t_b = 0.10(H) = 0.10(20) = 2 pies

   b. determinar el ancho de la base (L) tomando en consideración el peso del relleno y la sobrecarga sobre el talón y calculando los momentos alrededor del punto A mostrado en la Figura 14,

      $$W = \gamma(H + H_L)x = 120(20+8)x = 3{,}360x$$

      $$\sum M_A = 0 = W\left(\frac{x}{2}\right) - P_{s.c.}(10) - P_a\left(\frac{20}{3}\right)$$

      $$\frac{3{,}360x^2}{2} = 4{,}723(10) + 5{,}904(6.67)$$

      $$x = 7.18\,pies$$

      El ancho de la base se puede estimar como 1.5 veces *x*,

      $$L = 1.5x = 1.5(7.18) = 10.77\,pies$$

      entonces, utilizar un ancho de base de $L = 11.0\,pies$

   c. el espesor de la pared (t_w) en la base del muro se estima calculando el momento máximo factorizado (M_u) en la pared debido al relleno y a la sobrecarga. El momento máximo ocurre en la base de la pared y se calcula de la siguiente forma:

      $$y = H - t_b = 20 - 2 = 18\,pies$$

      $$M_u = 1.6\left(\frac{1}{2}K_a\gamma H_L y^2 + \frac{1}{6}K_a\gamma y^3\right)$$

$$M_u = 1.6\left(\frac{1}{2}\cdot 0.246\cdot 0.120\cdot 8\cdot 18^2 + \frac{1}{6}\cdot 0.246\cdot 0.120\cdot 18^3\right) = 107{,}120 lb\cdot pie$$

Utilizando este valor de momento máximo y asumiendo una razón de acero $\rho = 0.5\rho_{\max} = 0.5(0.016) = 0.008$

calculamos el espesor efectivo (d) de la pared como se detalla a continuación,

$$m = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = \frac{60{,}000}{0.85(3{,}000)} = 23.53$$

$$R_n = \rho f_y\left(1 - \frac{1}{2}\rho m\right) = 0.008\cdot 60{,}000\left(1 - \frac{1}{2}\cdot 0.008\cdot 23.53\right) = 435\, {lb}/{pu\lg^2}$$

calcular el espesor efectivo de la pared (*d*) utilizando la siguiente ecuación,

$$d = \sqrt{\frac{M_u}{\phi b R_n}} = \sqrt{\frac{107{,}120(12)}{0.9\cdot 12\cdot 435}} = 16.54\, pu\lg.$$

$$t_w = d + c.c + \frac{d_{\text{var}illa}}{2} = 16.54 + 2 + \frac{1(\#8)}{2} = 19.04\, pu\lg.$$

utilizar un espesor en la base de la pared de $t_w = 20\, pu\lg$.

$$d = 20 - 2 - 0.5 = 17.5\, pu\lg.$$

Verificar si la pared resiste la fuerza cortante máxima, donde el punto de cortante máximo es en la base de la pared, a una distancia $y = 18\, pies$, desde el tope del muro, de la siguiente forma:

$$V_u = 1.6\left(K_a \gamma H_L y + \frac{1}{2} K_a \gamma y^2\right)$$

$$V_u = 1.6\left(0.246 \cdot 120 \cdot 8 \cdot 18 + \frac{1}{2} \cdot 0.246 \cdot 120 \cdot 18^2\right) = 14{,}450 lb$$

$$\phi V_c = \phi \cdot 2\sqrt{f_c'}bd = 0.85 \cdot 2\sqrt{3000} \cdot 12 \cdot 17.5 = 19{,}550 lb > V_u = 14{,}450 lb$$

Lo que demuestra que el espesor de la pared resiste el cortante máximo.

3. Verificar la estabilidad externa del muro de contención de la siguiente forma:

   a. calcular el factor de seguridad contra vuelco (debe de ser mayor de 2.0, como se indica en la Tabla 1), proporcionando la base como se detalla a continuación:

$$L_{heel} = \frac{L}{1.5} - t_w = \frac{11}{1.5} - \frac{20}{12} = 5.67\, pies$$

$$L_{toe} = \frac{L}{3} = \frac{11}{3} = 3.67\, pies$$

A. Fuerzas Verticales (sin factorizar):

Elemento	Fuerza, V (lb/pie)	Brazo alrededor de O (pies)	Momento alrededor de O (lb-pie/pie)
$W_1 = 150(1.67)(18)$	4,510	4.5	20,300
$W_2 = 150(2)(11)$	3,300	5.5	18,150
$W_3 = 120(5.67)(18)$	12,250	8.17	100,080
$W_4 = 120(5.67)(8)$	5,440	8.17	44,440
TOTAL	$R = 25{,}500$		$M_{resist} = 182{,}970$

B. Fuerzas Horizontales (sin factorizar):

Elemento	Fuerza, P (lb/pie)	Brazo alrededor de O (pies)	Momento alrededor de O (lb-pie/pie)
P_a	5,904	$\frac{H}{3} = 6.67$	39,360
$P_{s.c.}$	4,723	$\frac{H}{2} = 10$	47,230
TOTAL	10,627		$M_{vuelco} = 86{,}590$

donde:

W_1 = peso de la pared de hormigón,

W_2 = peso de la base del muro en hormigón,

W_3 = peso del suelo sobre el talón de la base, y

W_4 = peso de la sobrecarga sobre el talon de la base

$$FS_{vuelco} = \frac{M_{resist}}{M_{vuelco}} = \frac{182{,}970}{86{,}590} = 2.11 > 2.00$$

lo cual indica que cumple con los requisitos para resistir el vuelco,

b. verificar que la localización de la resultante (*R*) esté dentro del tercio medio de la base de la siguiente manera:

$\bar{x}_O$ = localización de la resultante desde el punto O

$$\bar{x}_O = \frac{M_{resist} - M_{vuelco}}{R} = \frac{(182{,}970 - 86{,}590)}{25{,}500} = 3.78\,pies$$

$$e = \frac{L}{2} - \bar{x}_O = \frac{11}{2} - 3.78 = 1.72\,pies$$

$$\frac{6e}{L} = \frac{6(1.72)}{11} = 0.94 < 1.00$$

lo cual indica que la resultante está dentro del tercio medio de la base,

c. verificar la capacidad portante del suelo como sigue:

$$q_{\max} = \frac{R}{L}\left(1 + \frac{6e}{L}\right) = \frac{25{,}500}{11}(1 + 0.94) = 4{,}490\,{}^{lb}\!/_{pie^2} < 5{,}000\,{}^{lb}\!/_{pie^2}$$

$$q_{\min} = \frac{R}{L}\left(1 - \frac{6e}{L}\right) = \frac{25.50}{11}(1 - 0.94) = 140\,{}^{lb}\!/_{pie^2}$$

ambas presiones están por debajo de la capacidad portante del suelo debajo de la fundación, lo cual significa que cumple con este requisito,

d. verificar el deslizamiento asumiendo que el suelo frente a la zapata, desde la base hasta el tope de la zapata, únicamente ayudará a prevenir el deslizamiento mediante la presión pasiva (P_p),

$$K_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = \frac{1+\sin 35°}{1-\sin 35°} = 3.69$$

$$P_p = \frac{1}{2}\gamma t_z^2 K_p = \frac{1}{2}(120)(2)^2(3.69) = 890\, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$F_{sliding} = P_a + P_{s.c.} = 10{,}627\, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$F_{fr} = R \cdot \tan(\phi_w) + P_p = 25{,}500 \cdot \tan(17.5°) + 890 = 8{,}930\, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$FS_{sliding} = \frac{F_{fr}}{F_{sliding}} = \frac{8{,}930}{10{,}627} = 0.84 < 1.5$$

debido a que el muro no cumple con el criterio de seguridad contra el deslizamiento, tenemos varias opciones para lograr que el muro cumpla con este requisito. Entre las opciones con las que contamos están:

* incrementar el ancho de la base,

* incrementar el espesor de la base, y

* proveer un “shear key” al muro.

Para este ejemplo incrementaremos el ancho del talón (L_{heel}) para aumentar la resultante. Luego de varias iteraciones, encontramos que el ancho del talón debe de ser mayor de 12.25 pies para que el muro resista el deslizamiento. Es muy probable que si se le añade

una llave (“shear key”) al muro en vez de aumentar el ancho de la base, o una combinación de ambos, la construcción de el mismo sea más económica. Sin embargo para este ejemplo consideraremos solamente aumentar el tamaño de la base como sigue:

$$L_{heel} = 5.67 + 6.58 = 12.25\, pies$$

$$L = L_{toe} + t_w + L_{heel} = 3.67 + 1.67 + 12.25 = 17.58\, pies$$

A. Fuerzas Verticales (sin factorizar):

Elemento	Fuerza, V (lb/pie)	Brazo alrededor de O (pie)	Momento alrededor de O (lb-pie/pie)
$W_1 = 150(1.67)(18)$	4,510	4.5	20,300
$W_2 = 150(2)(17.58)$	5,270	8.79	46,360
$W_3 = 120(12.25)(18)$	26,460	11.47	303,500
$W_4 = 120(12.25)(8)$	11,760	11.47	134,890
TOTAL	$R = 48{,}000$		$M_{resist} = 505{,}050$

B. Fuerzas Horizontales (sin factorizar):

Elemento	Fuerza, V (lb/pie)	Brazo alrededor de O (pie)	Momento alrededor de O (lb-pie/pie)
P_a	5,904	$\frac{H}{3} = 6.67$	39,360
$P_{s.c.}$	4,723	$\frac{H}{2} = 10$	47,230
TOTAL	10,627		$M_{vuelco} = 86.59$

$$FS_{vuelco} = \frac{M_{resist}}{M_{vuelco}} = \frac{505{,}050}{86{,}590} = 5.83 > 2.00$$

lo cual indica que el muro resiste las cargas que ocasionan el vuelco,

e. verificar que la localización de la resultante (*R*) esté dentro del tercio medio de la base de la siguiente forma:

$$\bar{x}_O = \frac{M_{resist} - M_{vuelco}}{R} = \frac{(505{,}050 - 86{,}590)}{48{,}000} = 8.72\, pies$$

$$e = \frac{L}{2} - \bar{x}_O = \frac{17.58}{2} - 8.72 = 0.07\, pies$$

$$\frac{6e}{L} = \frac{6(0.07)}{17.58} = 0.03 < 1.00$$

lo cual indica que la resultante está dentro del tercio medio de la base,

f. verificar la capacidad portante del suelo como sigue:

$$q_{\max} = \frac{R}{L}\left(1+\frac{6e}{L}\right) = \frac{48{,}000}{17.58}(1+0.03) = 2{,}800\, {}^{lb}\!/_{pie^2} < 5{,}000\, {}^{lb}\!/_{pie^2}$$

$$q_{\min} = \frac{R}{L}\left(1-\frac{6e}{L}\right) = \frac{48{,}000}{17.58}(1-0.03) = 2{,}660\, {}^{lb}\!/_{pie^2}$$

ambas presiones están por debajo de la capacidad portante del suelo debajo de la fundación, lo cual significa que cumple con este requisito,

g. verificar el deslizamiento como sigue:

$$F_{sliding} = P_a + P_{s.c.} = 10{,}627\, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$F_{fr} = R \cdot \tan(\phi_w) + P_p = 48{,}000 \cdot \tan(17.5°) + 0.89 = 16{,}020\, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$FS_{sliding} = \frac{F_{fr}}{F_{sliding}} = \frac{16{,}020}{10{,}627} = 1.51 > 1.5$$

lo cual significa que cumple con los requisitos para resistir el deslizamiento.

4. Verificar la estabilidad externa del muro de contención tomando en consideración las cargas sísmicas utilizando el método de Mononobe-Okabe de la siguiete manera:

a. calcular las cargas sísmicas utilizando los valores para los coficientes de aceleración vertical y horizontal recomendados por AASHTO (1989) para Puerto Rico,

$$k_h = PGA = 0.2$$

$$k_v = 0$$

$$\phi_w = 0.5\phi = 0.5 \cdot 35° = 17.5°$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.2}{1-0}\right) = 11.31°$$

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi-\theta-\alpha)}{\cos(\theta)\cos^2(\alpha)\cos(\phi_w+\alpha+\theta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\phi_w)\sin(\phi-\theta-\beta)}{\cos(\phi_w+\alpha+\theta)\cos(\beta-\alpha)}}\right]^2}$$

$$\cos^2(\phi-\theta-\alpha) = \cos^2(35-11.31-0) = 0.839$$

$$\cos(\theta)\cos^2(\alpha)\cos(\phi_w+\alpha+\theta) = \cos(11.31)\cos^2(0)\cos(17.5+0+11.31) = 0.859$$

$$\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\phi_w)\sin(\phi-\theta-\beta)}{\cos(\phi_w+\alpha+\theta)\cos(\beta-\alpha)}}\right]^2 = \left[1+\sqrt{\frac{\sin(35+17.5)\sin(35-11.31-0)}{\cos(17.5+0+11.31)\cos(0-0)}}\right]^2 = 2.57$$

$$K_{ae} = \frac{0.839}{0.859(2.57)} = 0.38$$

$$P_{ae} = \frac{1}{2}\gamma H^2(1-k_v)K_{ae} = \frac{1}{2}(0.120)(20)^2(1-0)(0.38) = 9.12\ {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a = 9.121 - 5.904 = 3.217\ {}^{lb}\!/_{pie}$$

esta fuerza actúa a 0.6H sobre la base del muro,

b. calcular el factor de seguridad contra vuelco (debe de ser mayor de 1.3):

A. Fuerzas Verticales para resistir el vuelco (sin factorizar):

Elemento	Fuerza, V (lb/pie)	Brazo alrededor de O (pie)	Momento alrededor de O (lb-pie/pie)
$W_1 = 150(1.67)(18)$	4,510	4.5	20,300
$W_2 = 150(2)(17.58)$	5,270	8.79	46,360
$W_3 = 120(12.25)(18)$	26,460	11.47	303,500
TOTAL	$R = 36{,}240$		$M_{resist} = 370{,}160$

B. Fuerzas Horizontales que ocasionan vuelco (sin factorizar):

Elemento	Fuerza, V (lb/pie)	Brazo alrededor de O (pie)	Momento alrededor de O (lb-pie/pie)
P_a	5,904	$\frac{H}{3} = 6.67$	39,360
ΔP_{ae}	3,217	$0.6H = 12.0$	38,600
$W_1 k_h = 4{,}510(0.2)$	902	11.00	9,922
$W_2 k_h = 5{,}270(0.2)$	1,054	1.00	1,054
$W_3 k_h = 26{,}460(0.2)$	5,292	11.00	58,212
TOTAL	16,369		$M_{vuelco} = 147{,}150$

$$FS_{vuelco} = \frac{M_{resist}}{M_{vuelco}} = \frac{370{,}160}{147{,}150} = 2.52 > 1.30$$

lo que indica que cumple con los requisitos para resistir el vuelco ocasionado por las fuerzas sísmicas,

c. verificar que la localización de la resultante, R, esté dentro del tercio medio de la base como sigue:

$$\bar{x}_O = \frac{M_{resist} - M_{vuelco}}{R} = \frac{(370{,}160 - 147{,}150)}{36{,}240} = 6.15\,pies$$

$$e = \frac{L}{2} - \bar{x}_O = \frac{17.58}{2} - 6.15 = 2.64\,pies$$

$$\frac{6e}{L} = \frac{6(2.64\,ft)}{17.58\,ft} = 0.90 < 1.00$$

esto representa que la resultante está dentro del tercio medio de la base,

d. verificar la capacidad portante del suelo como sigue:

$$q_{\max} = \frac{R}{L}\left(1 + \frac{6e}{L}\right) = \frac{36{,}240}{17.58}(1 + 0.90) = 3{,}920\,{}^{lb}\!/_{pie^2} < 5{,}000\,{}^{lb}\!/_{pie^2}$$

$$q_{\min} = \frac{R}{L}\left(1 - \frac{6e}{L}\right) = \frac{36{,}240}{17.58}(1 - 0.90) = 210\,{}^{lb}\!/_{pie^2}$$

ambas presiones están por debajo de la capacidad portante del suelo debajo de la fundación, lo cual significa que cumple con este requisito,

e. verificar el deslizamiento de la siguiente forma:

$$F_{sliding} = 16{,}370 \, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$F_{fr} = R \cdot \tan(\phi_w) = 36{,}240 \cdot \tan(35°) = 25{,}380 \, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$FS_{sliding} = \frac{F_{fr}}{F_{sliding}} = \frac{25{,}380}{16{,}370} = 1.55 > 1.0$$

lo cual significa que cumple con los requisitos para resistir el deslizamiento.

5. Diseñar los elementos estructurales del muro de contención:

a. El diseño estructural del talón se lleva a cabo como sigue,

calcular el peso del suelo sobre el talon (W_{soil}),

$$W_{soil} = \gamma_{soil} h_w = 120(18) = 2{,}160 \, {}^{lb}\!/_{pie}$$

calcular el peso de la sobrecarga actuando sobre el muro ($W_{s.c.}$),

$$W_{s.c.} = \gamma_{soil} H_L = 120(8) = 960 \, {}^{lb}\!/_{pie}$$

calcular el peso propio de la base de hormigón (W_{conc}),

$$W_{conc} = \gamma_{conc} t_b = 150(2) = 300 \, {}^{lb}\!/_{pie}$$

utilizando estos valores, calcular la carga factorizada actuando sobre el talón de la base,

$$W_u = 1.2(W_{soil} + W_{conc}) + 1.6(W_{s.c.}) = 1.2(2{,}160 + 300) + 1.6(960) = 4{,}490 \, {}^{lb}\!/_{pie}$$

el espesor efectivo de la base se expresa de la siguiente forma,

$$d = t_z - c.c. - \frac{d_l}{2} = 24 - 2 - \frac{0.5}{2} = 21.75 \, pu\lg.$$

determinar si la base resiste el cortate máximo, que se toma a una distancia *d* de la cara del muro,

$$V_u = W_u\left(L_{heel} - d\right) = 4{,}490\left(12.25 - \frac{21.75}{12}\right) = 46{,}860\, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$\phi V_c = \phi(2)\sqrt{f_c^{'}}bd = 0.85(2)\sqrt{3000}(12)(21.75) = 24{,}300\, {}^{lb}\!/_{pie} < V_u$$

esto indica que el espesor de la zapata no es capaz de resistir el cortante, entonces considraremos utilizar un espesor de zapata de t_b=3.5 pies y se verificará si resiste el cortante,

$$W_{soil} = \gamma_{soil} h_w = 120(16.5) = 1{,}980\, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$W_{conc} = \gamma_{conc} t_z = 150(3.5) = 530\, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$W_u = 1.2\left(W_{soil} + W_{conc}\right) + 1.6\left(W_{s.c.}\right) = 1.2(1{,}980 + 530) + 1.6(960) = 4{,}540\, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$d = t_z - c.c. - \frac{d_l}{2} = 42 - 2 - \frac{0.5}{2} = 39.75\, pu\lg.$$

$$V_u = W_u\left(L_{heel} - d\right) = 4{,}540\left(12.25 - \frac{39.75}{12}\right) = 40.59\, {}^{lb}\!/_{pie}$$

$$\phi V_c = \phi(2)\sqrt{f_c^{'}}bd = 0.85(2)\sqrt{3000}(12)(39.75) = 44{,}410\, {}^{lb}\!/_{pie} > V_u$$

el espesor de zapata de 3.5 pies resiste el cortante máximo, entonces procederemos a calcular la capacidad en flexión del talón,

$$M_u = \frac{1}{2}W_u\left(L_{heel} + c.c.\right)^2 = \frac{1}{2}(4{,}540)(12.25 + 0.17)^2 = 350{,}320 lb \cdot pie$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{350{,}320(12)}{0.9(12)(39.75)^2} = 246\, {}^{lb}\!/_{pu\lg.^2}$$

$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}}\right) = \frac{1}{23.53}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(23.53)(246)}{60{,}000}}\right) = 0.00432$$

$$\rho_{\min} = \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y} = \frac{3\sqrt{3000}}{60{,}000} = 0.00274 > \frac{200}{f_y} = \frac{200}{60{,}000} = 0.00333$$

entonces,

$$\rho = 0.00432$$

el área acero de refuerzo (A_s) necesario para resistir la flexion en el talón es igual a,

$$A_s = \rho bd = 0.00432(12)(39.75) = 2.06 \; pu\lg ada^2 \Big/ pie$$

utilizar varilla #8 espaciada a 4-1/2” (A_s=2.11 pulgada^2/pie).

Calcular el largo de desarrollo del acero de refuerzo del talón,

$$l_d = \frac{3}{40}\frac{f_y}{\sqrt{f_c'}}\frac{\alpha\beta\gamma\lambda}{\left[\frac{c + k_{tr}}{d_l}\right]}\eta d_l \geq 12\, pu\lg.$$

$$\frac{c + k_{tr}}{d_l} = \frac{2.25 + 0}{8/8} = 2.25 < 2.5$$

$$l_d = \frac{3}{40}\frac{60{,}000}{\sqrt{3{,}000}}\frac{1.3(1)(1)(1)}{2.25}\frac{11}{8}\frac{8}{8} = 65.27\, pu\lg.$$

b. el diseño estructural de la punta se lleva a cabo como sigue, verificar cortante en la punta de la base a una distancia *d* de la cara del muro,

$$d = t_z - c.c. - \frac{d_l}{2} = 42 - 3 - \frac{0.5}{2} = 38.75\, pu\lg.$$

calcular la presión del suelo (q_d) a una distancia d de la cara del muro,

$$q_d = \frac{q_{\max}}{L}\left(L - L_{toe} + d\right) = \frac{2{,}800}{17.58}\left(17.58 - 3.67 + 38.75/12\right) = 2{,}730\, lb/pie^2$$

el cortante máximo factorizado se expresa mediante la siguiente ecuación,

$$V_u = 1.6\left(\frac{q_{\max} + q_d}{2} - W_{conc}\right)\left(L_{toe} - d\right)$$

$$V_u = 1.6\left(\frac{2{,}800 + 2{,}730}{2} - 530\right)\left(3.67 - 38.75/12\right) = 1{,}570\, lb$$

la resistencia a cortante del hormigón se calcula utilizando la siguiente ecuación,

$$\phi V_c = \phi(2)\sqrt{f_c'}\,(bd) = 0.85(2)\sqrt{3000}(12)(38.75) = 43{,}300\, lb > V_u$$

esto indica que el espesor de la base es suficiente para resistir el cortante máximo ejercido.

Calcular la flexión de la zapata en la cara frontal del muro. El momento máximo se calcula tomando en cuenta la presión del suelo sobre la zapata y el peso propio de la base,

$$q_{toe} = \frac{q_{\max}}{L}\left(L - L_{toe}\right) = \frac{2{,}800}{17.58}\left(17.58 - 3.67\right) = 2{,}220\, lb/pie^2$$

el momento máximo factorizado (M_u) se calcula de la siguiente forma,

$$M_u = 1.6\left(L_{toe}\right)^2\left[\frac{1}{3}\left(q_{\max} - q_{toe}\right) + \frac{1}{2}q_{toe} - \frac{1}{2}W_{conc}\right]$$

$$M_u = 1.6(3.67)^2\left[\frac{1}{3}(2{,}800-2{,}220)+\frac{1}{2}(2{,}220)-\frac{1}{2}(530)\right] = 22{,}370 lb\cdot pie$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{22{,}370(12)}{0.9(12)(38.75)^2} = 16.5\, {}^{lb}\!/_{pu\lg.^2}$$

$$\rho = \frac{1}{m}\left(1-\sqrt{1-\frac{2mR_n}{f_y}}\right) = \frac{1}{23.53}\left(1-\sqrt{1-\frac{2(23.53)(16.5)}{60{,}000}}\right) = 0.00028$$

$$\rho_{\min} = \frac{3\sqrt{f'_c}}{f_y} = \frac{3\sqrt{3000}}{60{,}000} = 0.00274 > \frac{200}{f_y} = \frac{200}{60{,}000} = 0.00333$$

debido a que la razón de refuerzo requerida es menor que la razón minima, entonces,

$$\rho = 0.00333$$

el área de acero en la punta de la base se calcula de la siguiente forma,

$$A_s = \rho bd = 0.00333(12)(38.75) = 1.55\, {}^{pu\lg^2}\!/_{pie}$$

utilizar varilla #8 espaciada a 6” (A_s=1.58 pulgada^2/pie).

Calcular el largo de desarrollo del acero de refuerzo de la punta como sigue:

$$l_d = 65.27\left(\frac{1}{1.3}\right) = 50.21 pu\lg.$$

el acero de temperatura de la base es el siguiente:

$$A_s = 0.0018bh = 0.0018(12)(42) = 0.91\, {}^{pu\lg.^2}\!/_{pie}$$

utilizar varilla #8 espaciada a 10” (A_s=0.95 pulgada^2/pie)

c. el diseño estructural de la pared se lleva a cabo como sigue:

el momento máximo factorizado se encuentra sobre la base del muro a una profundiad *y*,

$$y = H - t_b = 20 - 3.5 = 16.5\, pies$$

$$M_u = 1.6\left(\frac{1}{2}K_a \gamma H_L y^2 + \frac{1}{6}K_a \gamma y^3\right)$$

$$M_u = 1.6\left(\frac{1}{2}\cdot 0.246\cdot 120\cdot 8\cdot (16.5)^2 + \frac{1}{6}\cdot 0.246\cdot 120\cdot (16.5)^3\right) = 86{,}800\, lb\cdot pie$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{86{,}800(12)}{0.9(12)(17.5)^2} = 315\, {lb}/{pu\lg.^2}$$

$$\rho = \frac{1}{m}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}}\right) = \frac{1}{23.53}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(23.53)(315)}{60{,}000}}\right) = 0.00562 > \rho_{\min} = 0.0033$$

$$A_s = \rho b d = 0.00562(12)(17.5) = 1.18\, {pu\lg.^2}/{pie}$$

utilizar varilla #8 espaciada a 8” (A_s=1.18 pulgada^2/pie).

Calcular el largo de desarrollo para una varilla en tensión terminando en un gancho de 90° de la siguiente manera:

$$l_{dh} = 0.02\frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}\lambda\beta\eta d_l \geq 8d_l \geq 6\, pu\lg.$$

$$l_{dh} = 0.02\frac{60{,}000}{\sqrt{3{,}000}}(1)(1)\frac{11}{8}\frac{8}{8} = 30.12\, pu\lg. > 8\left(\frac{8}{8}\right) = 8\, pu\lg. > 6\, pu\lg.$$

el acero de temperatura de la pared es igual a:

$$A_s = 0.0025bh = 0.0025(12)(20) = 0.60\, {pu\lg.^2}/{pie}$$

el acero horizontal en cara frontal de la pared es igual a:

$$\frac{2}{3}A_s = \frac{2}{3}(0.60) = 0.40\ {}^{pu\lg.^2}\!/_{pie}$$

utilizar varilla #4 espaciada a 6” (A_s=0.40 pulgada^2/pie)

el acero horizontal en cara posterior de la pared es igual a:

$$\frac{1}{3}A_s = \frac{1}{3}(0.60) = 0.20\ {}^{pu\lg.^2}\!/_{pie}$$

utilizar varilla #4 espaciada a 12” (A_s=0.20 pulgada^2/pie)

el acero vertical en cara frontal de la pared es igual a:

$$A_s = 0.0015bh = 0.0015(12)(20) = 0.36\ {}^{pu\lg.^2}\!/_{pie}$$

utilizar varilla #5 espaciada a 10” (A_s=0.37 pulgada^2/pie).

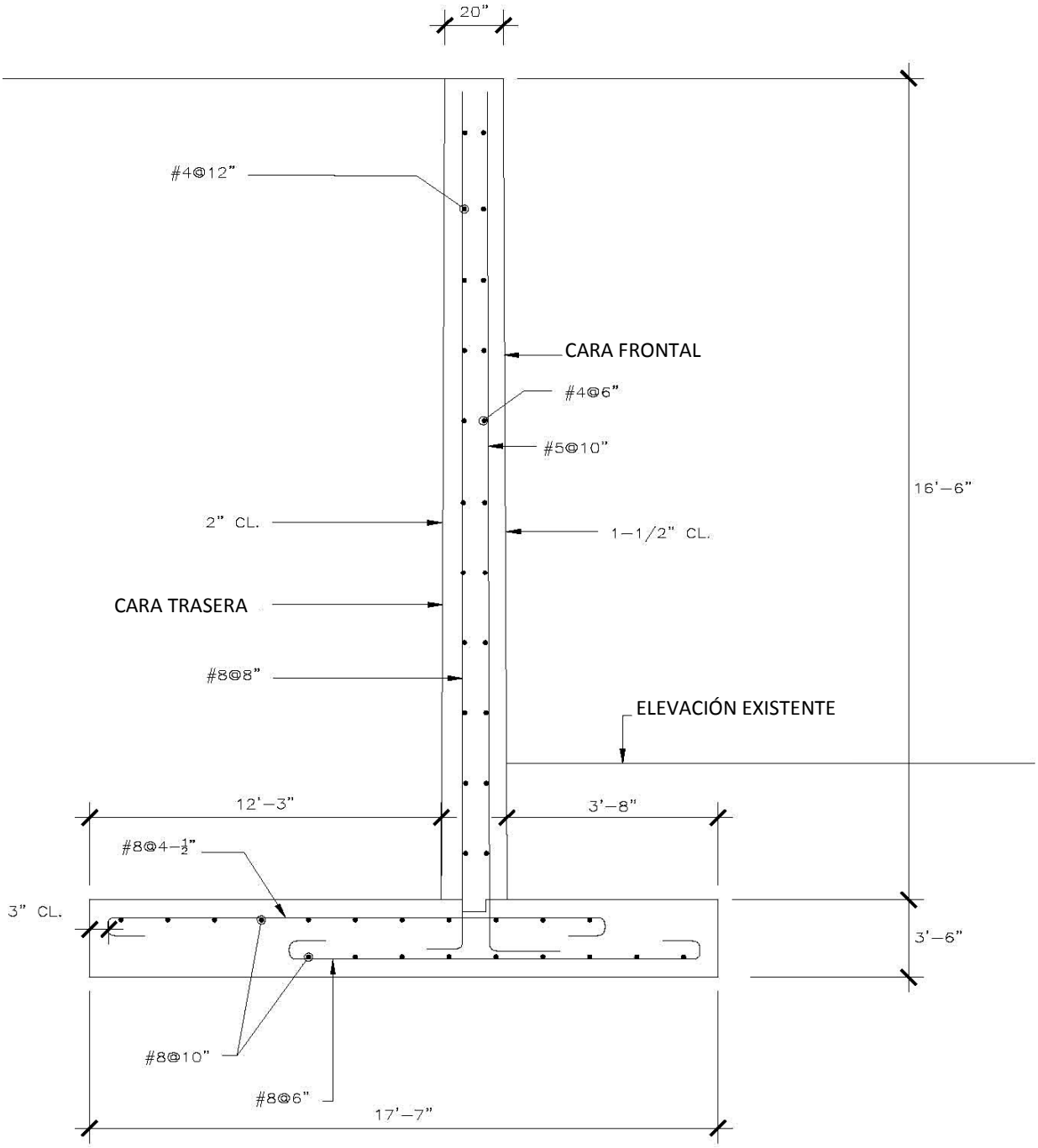


Figura 15. Muro diseñado del Ejemplo 1 (Figura por R. Guzmán)

REFERENCIAS

AASHTO, “Standard Specifications for Highway Bridges”, 1989.

ACI (1999), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-99) and Commentary (ACI 318R-99), American Concrete Institute.

Caquot, A. and Kerisel, J., “Tables for the Calculation of Passive Pressure, Active Pressure and Bearing Capacity of Foundations”, Gauthier-Villars, Imprimeur-Libraire, Libraire du Bureau des Longitudes, de L’Ecole Polytechnique, Paris, 1948.

CGS, “Canadian Foundation Engineering Manual”, Third Edition, Canadian Geotechnical Society, Bitech Publishers, 1992.

Coduto, D.P., “Foundation Design: Principles and Practices”, Second Edition, Prentice-Hall, Inc., 2001.

Coulomb, C.A., “Essai Sur une Application des Regles des Maximis et Minimis a Quelques Problemes de Statique Relatifs a L'Architecture”, Memoires de l'Academie Royale pres Divers Savants, Vol. 7, 1776.

Das, B.M., “Principles of Geotechnical Engineering”, Fifth Edition, Brooks/Cole, 2002.

Jaky, J., “The Coefficient of Earth Pressure At-Rest”, Journal for Society of Hungarian Architects and Engineers, 1944.

Kim, S.G., “Engineering Manual for Retaining Walls and Abutments”, Virginia Plytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 1991.

Mayne, P.W. and Kulhawy, F.H., “K_0-OCR Relationships in Soils”, Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 108, No. GT6, 1982.

Mononobe, N. and Matsuo, H., “On the Determination of Earth Pressures During Earthquakes”, Proceedings of the World Engineering Congress, 1929.

Munfakh, G.A., “Innovative Earth Retaining Structures: Selection, Design & Performance”, Proceeding of Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures, ASCE, Cornell University, Ithaca, New York, 1990.

Okabe, S., “General Theory of Earth Pressures”, Journal of the Japanese Society of Civil Engineers, 1926.

Rankine, W., “On The Stability of Loose Earth”, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Royal Society of London, Vol. 147, 1856.

International Code Council, “Uniform Building Code”, Delmar Cengage Learning, 1997.

VSL Systems, VSL Retained Earth, http://www.vsl.cz/en/prod_steny.html, 2007.

APÉNDICE

A.1. PROGRAMA PARA DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN UTILIZANDO MATLAB


```
%%%%%%%%%%%%%%%%%% Universidad de Puerto Rico %%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%% Recinto Universitario de Mayaguez %%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%% Departamento de Ingenieria Civil y Agrimensura %%%%%%
%-----------------------------------%
% Programa para diseno de Muros de Contencion
% Por: Ricardo Guzman (Estudiante Graduado)
% Dr. Jose O. Guevara
% Dr. Luis E. Suárez
% Dra. Beatriz I. Camacho Padron
%-----------------------------------%

clc; clear all; close all;

% Datos Geometricos

hoSI = 0.6952 : 0.25 : 9.1952; % Altura visible del muro [m]
ho = hoSI*3.2808399; % Altura visible del muro [ft]
D = 3; % Profundidad de la zapata [ft]
beta = 0*pi/180; % Angulo del muro de contencion

% Propiedades del suelo y de materiales de construccion

disp('Soil Properties:');
w = input(' Enter the unit weight of the soil in pcf: '); % Peso unitario del suelo [pcf]
phi = input(' Enter the friction angle of the soil in degrees: ')*pi/180; % Angulo de friccion del suelo [grados]
mu = input(' Enter the friction coeficient: '); % Coeficiente de friccion entre el suelo y la zapata
angsoil = input(' Enter the backfill slope in degrees: '); % Angulo del relleno [grados]
ii = angsoil*pi/180; % Angulo del relleno [radianes]
delta = phi/2;
qall = input(' Enter the allowable bearing pressure in ksf: '); % Presion permisible en el suelo [ksf]

% Coeficiente de Presion Activa segun Coulomb
k1 = cos(phi-beta)^2;
k2 = cos(beta)^2*cos(delta+beta);
k3 = (1 + sqrt(sin(delta+phi)*sin(phi-ii)/cos(delta+beta)/cos(beta-ii)))^2;
Ka = k1/(k2*k3); % Coeficiente de presion activa de Coulomb

% Coeficiente de Presion Pasiva segun Rankine
Kp = tan((45*pi/180+phi/2))^2; % Coeficiente de presion pasiva de Rankine

fc = 3; % Capacidad a compresion del hormigon [ksi]
fy = 60; % Esfuerzo de cedencia del acero [ksi]
if fc <= 4
B1 = 0.85; %%%%%%%%%%% Beta 1
else
B1 = 0.85-0.05*(fc-4);
if B1 < 0.65
B1 = 0.65;
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Datos para cargas sismicas %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
ae = 0.20;
Kh = ae;
Kv = 0;
theta = atan(Kh/(1-Kv));
ec1 = cos(phi-theta-beta)^2;
ec2 = cos(theta)*cos(beta)^2*cos(delta+beta+theta);
ec3 = (1+sqrt(sin(phi+delta)*sin(phi-theta-ii)/cos(delta+beta+theta)/cos(ii-beta)))^2;
Kae = ec1/(ec2*ec3);

%%%%%%%%%%%%%%%% Cuantia de acero %%%%%%%%%%%%%%%%%
pmax = 0.75*0.85*fc*B1*(87/(87+fy))/fy; %%%%%%%% Cuantia de acero maxima
pmin = 3*sqrt(fc*1000)/(fy*1000); %%%%%%%% Cuantia de acero minima
if pmin < 200/(fy*1000)
pmin = 200/(fy*1000);
```



```
end

% Presumir que p = 0.5*pmax
p = 0.5*pmax;

%%%%%%%%%%%%%%% DISENO %%%%%%%%%%%%%%%
for j = 1:length(ho)
h(j) = ho(j)+D; % Altura desde la base de la zapata hasta el tope del muro [ft]
%--- a) Espesor de la zapata (0.07h <= tb(j) <= 0.10h) [ft]

tb(j) = 0.05*h(j); %#ok<*SAGROW> % Espesor de la zapata [ft]
a = tb(j)-fix(tb(j));
b = 0;
if a > 0 && a < 0.25
b = 0.25-a;
elseif a > 0.25 && a < 0.5
b = 0.5-a;
elseif a > 0.5 && a < 0.75
b = 0.75-a;
elseif a > 0.75 && a < 1
b = 1-a;
end
tb(j) = tb(j) + b; % Espesor de la zapata [ft]
if tb(j) < 1
tb(j) = 1;
end
dh = tb(j)*12-2-0.5; % Espesor efectivo del "heel" [in]
dt = tb(j)*12-3-0.5; % Espesor efectivo del "toe" [in]
hw(j) = ho(j) + 1; % Altura de la pared [ft]
h(j) = hw(j)+tb(j); % Altura desde la base de la zapata hasta el tope del muro [ft]

%- Altura equivalente para el "surcharge" [ft]
if hw(j) <= 4.92126
heq = 5.57743;
elseif hw(j) > 4.92126 && hw(j) <= 9.84252
heq = 7.21785-hw(j)/3;
elseif hw(j) > 9.84252 && hw(j) <= 19.68504
heq = 5.38058-11/75*hw(j);
elseif hw(j) > 19.68504 && hw(j) <= 29.52756
heq = 3.47769-hw(j)/20;
elseif hw(j) > 29.52756
heq = 2.00131;
end
if ii ~= 0
heq = 0;
end
```

```
%—— b) Ancho de la zapata(L(j)) [ft]

P1(j) = heq*Ka*w/1000*h(j); % Fuerza debido al surcharge [kip]
P2(j) = 0.5*(h(j)*Ka*w/1000)*h(j)*cos(delta); % Fuerza horizontal debido al suelo [kip]
Wx = w/1000*(h(j)+heq);
x = sqrt((P1(j)*h(j)+2/3*P2(j)*h(j))/Wx);
L(j) = 1.5*x; % Ancho de la zapata [ft]
a = L(j)-fix(L(j));
b = 0;
if a > 0 && a < 0.25
b = 0.25-a;
elseif a > 0.25 && a < 0.5
b = 0.5-a;
elseif a > 0.5 && a < 0.75
b = 0.75-a;
elseif a > 0.75 && a < 1
b = 1-a;
end
L(j) = L(j) + b; % Ancho de la zapata [ft]

%—— c) Espesor de la pared(tw(j)) [in]
```

```

M = [ Ka*w/1000/6 , heq*Ka*w/1000/2 , 0 , 0 ];
My = polyval(M,hw(j)); % Momento en la base de la pared [k(j)-ft]
Mu = 1.6*My; % Momento de diseno [k(j)-ft]
m = fy/0.85/fc;
Rn = p*fy*(1-0.5*p*m);
d = sqrt(Mu*12/0.85/12/Rn);
tw1 = d + 2 + 0.5;
tw(j) = ceil(tw1); % Espesor de la pared [in]
d = tw(j) - 2 - 0.5;

% Verificar cortante en la base de la pared
V = [ Ka*w/1000/2 , heq*Ka*w/1000 , 0 ];
Vy = polyval(V,hw(j));
Vu = 1.6*Vy;
Vc = 0;
while Vc < Vu
Vc = 0.85*2*sqrt(fc*1000)*12*d/1000;
if Vc < Vu
tw(j) = tw(j)+1;
d = tw(j) - 2 - 0.5;
end
end
if tw(j) < 8
tw(j) = 8;
d = tw(j) - 2 - 0.5;
end

%—— d) Verificar vuelco

Lh(j) = L(j)/1.5-tw(j)/12; % Ancho del "heel" [ft]
Lt(j) = 1/3*L(j); % Ancho del "toe" [ft]
FSv(j) = 1; FSvae(j) = 1;
while FSv(j) < 2 || eL(j) > 1 || eLae(j) > 1 || FSvae(j) < 1.4 || qmax(j) > qall || qmin(j) > qall || qmaxae > qall || qminae > qall
L(j) = Lt(j)+Lh(j)+tw(j)/12;
h(j) = hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii); % Altura desde la base de la zapata hasta el tope del muro [ft]
P1(j) = heq*Ka*w/1000*h(j); % Fuerza debido al surcharge [kip]
P2(j) = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*cos(delta); % Fuerza horizontal debido al suelo [kip]
```

```
175 P3 = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*sin(delta); % Fuerza vertical debido al suelo [kip]
176 W1 = w/1000*hw(j)*Lh(j); % Suelo detras de muro
177 W2 = 0.150*hw(j)*tw(j)/12; % "Stem"
178 W3 = 0.150*tb(j)*L(j); % Base
179 W4 = 0.5*Lh(j)^2*tan(ii)*w/1000; % Suelo detras de muro(triangular)
180 Weq = w/1000*heq*Lh(j); % Surcharge
181 R = W1+W2+W3+W4+P3;%+Weq; % Resultante [kips]
182 % Brazos de momento con respecto al toe [ft]
183 b1 = L(j)-Lh(j)/2;
184 b2 = Lt(j)+tw(j)/12/2;
185 b3 = L(j)/2;
186 b4 = L(j)-Lh(j)/3;
187 b5 = L(j);
188 % Momentos [k(j)-ft]
189 M1 = W1*b1;
190 M2 = W2*b2;
191 M3 = W3*b3;
192 M4 = W4*b4;
193 M5 = P3*b5;
194 Meq = Weq*b1;
195 Mres = M1+M2+M3+M4+M5;%+Meq;
196 Mvue = P1(j)*h(j)/2 + P2(j)*h(j)/3;
197 FSv(j) = Mres/Mvue; % Factor de Seguridad contra vuelco
198
199 % Verificar para cargas sismicas
200 Eaeh = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*cos(delta); % Carga horizontal debido a terremoto
201 Eaev = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*sin(delta); % Carga vertical debido a terremoto
202 M1h = Kh*W1*(hw(j)/2+tb(j));
203 M2h = Kh*W2*(hw(j)/2+tb(j));
204 M3h = Kh*W3*tb(j)/2;
04-04-11 08:03 PM C:\Users\Ricardo\Documents\Muros de
Contencion\ACT\DisenoMurosContencionCoulomb3b.m 4 of 19
205 M4h = Kh*W4*(hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii)/3);
206 Meqh = Kh*Weq*(hw(j)+tb(j)+heq/2);
207 DEaeh = Eaeh-P2(j);
208 DEaev = Eaev-P3;
209 Rae = R+DEaev; %%%%%%%% check %%%%%%%%%
210 Mvueae = P1(j)*h(j)/2+P2(j)*h(j)/3+DEaeh*0.6*h(j)+M1h+M2h+M3h+M4h;%Meqh;
211 Mresae = Mres+DEaev*L(j);
212 FSvae(j) = Mresae/Mvueae; % Factor de seguridad contra vuelco para cargas sismicas
213
214 %—— e) Localizacion de la resultante y presion del suelo en la zapata
215
216 xe = (Mres - Mvue)/R;
217 er = abs(L(j)/2 - xe); %%%%%%%% check %%%%%%%%%
218 eL(j) = 6*er/L(j);
219 qmax(j) = R/L(j)*(1 + eL(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
220 qmin(j) = R/L(j)*(1 - eL(j));
221
222 % Verificar para cargas sismicas %%%%%%%%check%%%%%%%%%
223 xeae = (Mresae - Mvueae)/Rae;
224 erae = abs(L(j)/2 - xeae); %%%%%%%% check %%%%%%%%%
225 eLae(j) = 6*erae/L(j);
226 qmaxae = Rae/L(j)*(1 + eLae(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
227 qminae = Rae/L(j)*(1 - eLae(j)); %%%%%%%%check%%%%%%%%%
228
229 if FSv(j) < 2 || FSvae(j) < 1.4 || eL(j) > 1 || eLae(j) > 1 || qmax(j) > qall || qmin(j) > qall || qmaxae > qall
|| qminae > qall
230 Lt(j) = Lt(j) + 1/12;
231 %elseif eL(j) > 1 | eLae(j) > 1 | qmax(j) > qall | qmin(j) > qall | qmaxae > qall | qminae > qall
232 %Lt(j) = Lt(j) + 1/12;
233 if Lt(j)>30 %| Lh(j)>20
234 break
```

```
end
end
end
if Lt(j)>30 %| Lh(j)>20
break
end

%—— f) Verificar deslizamiento

h1 = tb(j);
Fsliding = P1(j) + P2(j);
Ffrict = mu*R;
Pp = 1/2*Kp*w/1000*h1^2;
FSsliding(j) = (Ffrict+Pp)/Fsliding; % Factor de seguridad contra deslizamiento

ak(j) = 0; k(j) = 0;
Lplus = 0;
Lprov = Lh(j);
Lpt = Lt(j);
while FSsliding(j) < 1.5 || eLae(j) > 1 || eL(j) > 1 || FSv(j) < 2 || FSvae(j) < 1.4 || qmax(j) > qall || qmin(j) > qall || qmaxae > qall
|| qminae > qall
Lplus = Lplus + 1/12;
Lh(j) = Lh(j) + 1/12;
L(j) = Lt(j)+Lh(j)+tw(j)/12;
h(j) = hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii); % Altura desde la base de la zapata hasta el tope del muro [ft]
P1(j) = heq*Ka*w/1000*h(j); % Fuerza debido al surcharge [kip]
P2(j) = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*cos(delta); % Fuerza horizontal debido al suelo [kip]
P3 = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*sin(delta); % Fuerza vertical debido al suelo [kip]
W1 = w/1000*hw(j)*Lh(j); % Suelo detras de muro
W2 = 0.150*hw(j)*tw(j)/12; % "Stem"
W3 = 0.150*tb(j)*L(j); % Base
W4 = 0.5*Lh(j)^2*tan(ii)*w/1000; % Suelo detras de muro(triangular)
Weq = w/1000*heq*Lh(j); % Surcharge
R = W1+W2+W3+W4+P3;%+Weq; % Resultante [kips]
Fsliding = P1(j) + P2(j);
Ffrict = mu*R;
FSsliding(j) = (Ffrict+Pp)/Fsliding; % Factor de seguridad contra deslizamiento
% Brazos de momento con respecto al toe [ft]
```

04-04-11 08:03 PM C:\Users\Ricardo\Documents\Muros de Contencion\ACT\DisenoMurosContencionCoulomb3b.m 5 of 19

```
b1 = L(j)-Lh(j)/2;
b2 = Lt(j)+tw(j)/12/2;
b3 = L(j)/2;
b4 = L(j)-Lh(j)/3;
b5 = L(j);
% Momentos [k(j)-ft]
M1 = W1*b1;
M2 = W2*b2;
M3 = W3*b3;
M4 = W4*b4;
M5 = P3*b5;
Meq = Weq*b1;
Mres = M1+M2+M3+M4+M5;%+Meq;
Mvue = P1(j)*h(j)/2 + P2(j)*h(j)/3;
FSv(j) = Mres/Mvue; % Factor de Seguridad contra vuelco

% Verificar para cargas sismicas
Eaeh = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*cos(delta); % Carga horizontal debido a terremoto
Eaev = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*sin(delta); % Carga vertical debido a terremoto
M1h = Kh*W1*(hw(j)/2+tb(j));
M2h = Kh*W2*(hw(j)/2+tb(j));
M3h = Kh*W3*tb(j)/2;
```

```
M4h = Kh*W4*(hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii)/3);
Meqh = Kh*Weq*(hw(j)+tb(j)+heq/2);
DEaeh = Eaeh-P2(j);
DEaev = Eaev-P3;
Rae = R+DEaev; %%%%%%%% check %%%%%%%%%
Mvueae = P1(j)*h(j)/2+P2(j)*h(j)/3+DEaeh*0.6*h(j)+M1h+M2h+M3h+M4h;%Meqh;
Mresae = Mres+DEaev*L(j);
FSvae(j) = Mresae/Mvueae; % Factor de seguridad contra vuelco para cargas sismicas

%— e) Localizacion de la resultante y presion del suelo en la zapata

xe = (Mres - Mvue)/R;
er = abs(L(j)/2 - xe); %%%%%%%% check %%%%%%%%%
eL(j) = 6*er/L(j);
qmax(j) = R/L(j)*(1 + eL(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
qmin(j) = R/L(j)*(1 - eL(j));

% Verificar para cargas sismicas %%%%%%%%check%%%%%%%%%
xeae = (Mresae - Mvueae)/Rae;
erae = abs(L(j)/2 - xeae); %%%%%%%% check %%%%%%%%%
eLae(j) = 6*erae/L(j);
qmaxae = Rae/L(j)*(1 + eLae(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
qminae = Rae/L(j)*(1 - eLae(j)); %%%%%%%%check%%%%%%%%%

if FSv(j) < 2 || FSvae(j) < 1.4 || eL(j) > 1 || eLae(j) > 1 || qmax(j) > qall || qmin(j) > qall || qmaxae > qall
|| qminae > qall
Lt(j) = Lt(j) + 1/12;
if Lt(j)>30 %| Lh(j)>20
break
end
end
if Lplus > 3
FSsliding(j) = 1;
break
end
end


if FSsliding(j) < 1.5 % Disenar "shear key"
Lh(j) = Lprov;
Lt(j) = Lpt;
L(j) = Lt(j)+Lh(j)+tw(j)/12;
h(j) = hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii); % Altura desde la base de la zapata hasta el tope del muro [ft]
P1(j) = heq*Ka*w/1000*h(j); % Fuerza debido al surcharge [kip]
P2(j) = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*cos(delta); % Fuerza horizontal debido al suelo [kip]
P3 = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*sin(delta); % Fuerza vertical debido al suelo [kip]
W1 = w/1000*hw(j)*Lh(j); % Suelo detras de muro
```



```
W2 = 0.150*hw(j)*tw(j)/12; % "Stem"
W3 = 0.150*tb(j)*L(j); % Base
W4 = 0.5*Lh(j)^2*tan(ii)*w/1000; % Suelo detras de muro(triangular)
Weq = w/1000*heq*Lh(j); % Surcharge
R = W1+W2+W3+W4+P3;%+Weq; % Resultante [kips]
Fsliding = P1(j) + P2(j);
Ffrict = mu*R;
FSsliding(j) = (Ffrict+Pp)/Fsliding; % Factor de seguridad contra deslizamiento
% Brazos de momento con respecto al toe [ft]
b1 = L(j)-Lh(j)/2;
b2 = Lt(j)+tw(j)/12/2;
b3 = L(j)/2;
b4 = L(j)-Lh(j)/3;
b5 = L(j);
```

```
% Momentos [k(j)-ft]
M1 = W1*b1;
M2 = W2*b2;
M3 = W3*b3;
M4 = W4*b4;
M5 = P3*b5;
Meq = Weq*b1;
Mres = M1+M2+M3+M4+M5;%+Meq;
Mvue = P1(j)*h(j)/2 + P2(j)*h(j)/3;
FSv(j) = Mres/Mvue; % Factor de Seguridad contra vuelco

% Verificar para cargas sismicas
Eaeh = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*cos(delta); % Carga horizontal debido a terremoto
Eaev = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*sin(delta); % Carga vertical debido a terremoto
M1h = Kh*W1*(hw(j)/2+tb(j));
M2h = Kh*W2*(hw(j)/2+tb(j));
M3h = Kh*W3*tb(j)/2;
M4h = Kh*W4*(hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii)/3);
Meqh = Kh*Weq*(hw(j)+tb(j)+heq/2);
DEaeh = Eaeh-P2(j);
DEaev = Eaev-P3;
Rae = R+DEaev; %%%%%%%% check %%%%%%%%%
Mvueae = P1(j)*h(j)/2+P2(j)*h(j)/3+DEaeh*0.6*h(j)+M1h+M2h+M3h+M4h;%Meqh;
Mresae = Mres+DEaev*L(j);
FSvae(j) = Mresae/Mvueae; % Factor de seguridad contra vuelco para cargas sismicas

%— e) Localizacion de la resultante y presion del suelo en la zapata

xe = (Mres - Mvue)/R;
er = abs(L(j)/2 - xe); %%%%%%%% check %%%%%%%%%
eL(j) = 6*er/L(j);
qmax(j) = R/L(j)*(1 + eL(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
qmin(j) = R/L(j)*(1 - eL(j));

% Verificar para cargas sismicas %%%%%%%%check%%%%%%%%%
xeae = (Mresae - Mvueae)/Rae;
erae = abs(L(j)/2 - xeae); %%%%%%%% check %%%%%%%%%
eLae(j) = 6*erae/L(j);
qmaxae = Rae/L(j)*(1 + eLae(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
qminae = Rae/L(j)*(1 - eLae(j));

mu1 = tan(phi);
q1 = (qmax(j)-qmin(j))*(Lh(j)+5/12)/L(j)+qmin(j);
h1 = tb(j);
R1 = (qmax(j)+q1)/2*(L(j)-Lh(j)-5/12);
R2 = (q1+qmin(j))/2*(Lh(j)+5/12);
F = mu1*R1+mu*R2;
Pp = 1.5*Fsliding-F;
ak(j) = (-Kp*w*h1+sqrt((Kp*w*h1)^2+2000*Kp*w*Pp))/(Kp*w);
if Pp < 0
ak(j) = 0.5;
Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
end
FSsliding(j) = (F+Pp)/(P1(j)+P2(j));
```

```
end

% Verificar deslizamiento para cargas sismicas
if ak(j) == 0
ak(j) = 0;
Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
FSsae(j) = (mu*Rae+Pp)/(P1(j)+P2(j)+DEaeh);
```

```
415 elseif ak(j) > 0
416 q1ae = (qmaxae-qminae)*(Lh(j)+5/12)/L(j)+qminae;
417 R1ae = (qmaxae+q1ae)/2*(L(j)-Lh(j)-5/12);
418 R2ae = (q1ae+qminae)/2*(Lh(j)+5/12);
419 Fae = mu1*R1ae+mu*R2ae;
420 Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
421 FSsae(j) = (Pp+Fae)/(P1(j)+P2(j)+DEaeh);
422 end
423
424 if FSsae(j) < 1.1 %Redisenar "shear key"
425 h1 = tb(j);
426 mu1 = tan(phi);
427 q1ae = (qmaxae-qminae)*(Lh(j)+5/12)/L(j)+qminae;
428 R1ae = (qmaxae+q1ae)/2*(L(j)-Lh(j)-5/12);
429 R2ae = (q1ae+qminae)/2*(Lh(j)+5/12);
430 Fae = mu1*R1ae+mu*R2ae;
431 Pp = (1.5/1.3)*(P1(j)+P2(j)+DEaeh)-Fae;
432 ak(j) = (-Kp*w*h1+sqrt((Kp*w*h1)^2+2000*Kp*w*Pp))/(Kp*w);
433 if Pp < 0
434 ak(j) = 0.5;
435 Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
436 end
437 q1 = (qmax(j)-qmin(j))*(Lh(j)+5/12)/L(j)+qmin(j);
438 R1 = (qmax(j)+q1)/2*(L(j)-Lh(j)-5/12);
439 R2 = (q1+qmin(j))/2*(Lh(j)+5/12);
440 F = mu1*R1+mu*R2;
441 FSsae(j) = (Pp+Fae)/(P1(j)+P2(j)+DEaeh);
442 FSsliding(j) = (F+Pp)/(P1(j)+P2(j));
443 end
444
445 if ak(j) > 0
446 o = ak(j)-fix(ak(j));
447 b = 0;
448 if o > 0 && o < 0.25
449 b = 0.25-o;
450 elseif o > 0.25 && o < 0.5
451 b = 0.5-o;
452 elseif o > 0.5 && o < 0.75
453 b = 0.75-o;
454 elseif o > 0.75 && o < 1
455 b = 1-o;
456 end
457 ak(j) = 12*(ak(j) + b); % Alto del shear key ("k(j)") [in]
458 k(j) = ceil(ak(j)/2); % Ancho del shear key ("t") [in]
459 Vk = [ Kp*w/1000/2 , 0 , 0 ];
460 Vyk = polyval(Vk,h1);
461 Vuk = 1.7*Vyk;
462 Vck = 0;
463 while Vck < Vuk
464 Vck = 0.85*2*sqrt(fc*1000)*12*(k(j))/1000;
465 if Vck < Vuk
466 k(j) = k(j)+1;
467 end
468 end
469 if ak(j) < 6 && ak(j) > 0
470 ak(j) = 6;
471 end
472 if k(j) < 12 && k(j) > 0
473 k(j) = 12;
474 end
475 end
```

```
ak(j) = ak(j)/12;
if ak(j) > 0
Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
FSsliding(j) = (F+Pp)/(P1(j)+P2(j));
FSsae(j) = (Pp+Fae)/(P1(j)+P2(j)+DEaeh);
end

%—g) Diseno del "Heel"

phiVc = 0; Vu = 1;
while phiVc < Vu
Wsoil = w/1000*hw(j) + w/1000*Lh(j)*tan(ii)/2;
Wsurch = w/1000*heq;
Wconc = 0.150*tb(j);
Lhd = Lh(j)+(2+0.5)/12; % Largo del heel + d [ft]
Wu = 1.2*(Wsoil+Wconc)+1.6*Wsurch;
Mu = 0.5*Wu*Lhd^2;
Vu = Wu*(Lhd-dh/12);
phiVc = 0.85*2*sqrt(fc*1000)*12*dh/1000;
if phiVc < Vu
dh = dh+0.25; % Espesor efectivo del heel
tb(j) = ceil(dh+2+0.5)/12;
end
end

% Acero del heel
Rn = Mu/(0.9*12*dh^2);
m = fy/0.85/fc;
pheel = 1/m*(1-sqrt(1-2*m*Rn/fy));
if pheel < pmin
pheel = pmin;
end
Asheel = pheel*12*dh; % Cuantia de acero en el heel [in^2/ft]
if Asheel >= 0 && Asheel < 0.44
varheel(j) = 4;
Avarheel = 0.2;
elseif Asheel >= 0.44 && Asheel < 0.79
varheel(j) = 6;
Avarheel = 0.44;
elseif Asheel >= 0.79 && Asheel < 1.27
varheel(j) = 8;
Avarheel = 0.79;
elseif Asheel >= 1.27
varheel(j) = 10;
Avarheel = 1.27;
end
Sheel(j) = floor(12/(Asheel/Avarheel));
if Sheel(j) > 18
Sheel(j) = 18;
end

% Largo de desarrollo varillas del heel

dl = varheel(j)/8; % Diametro de la varilla
alpha1 = 0.7;
alpha2 = 1;
alpha3 = 1;
alpha4 = 1;
alpha5 = 1;
eta = 11/8; % Factor de reversal
ldheel(j) = ceil(0.02*(fy*1000)/sqrt(fc*1000)*eta*dl*alpha1*alpha2*alpha3*alpha4*alpha5); % Largo de desarrollo varillas del
heel
```

```
537 div = ldheel(j)/3;
538 while div-floor(div) ~= 0
539 ldheel(j) = ldheel(j)+1;
540 div = ldheel(j)/3;
541 end
542 ldheelav = 12*(L(j)-(Lh(j)+2/12));
04-04-11 08:03 PM C:\Users\Ricardo\Documents\Muros de
Contencion\ACT\DisenoMurosContencionCoulomb3b.m 9 of 19
543 if ldheel(j) > ldheelav
544 Lt(j) = Lt(j) + (ldheel(j)-ldheelav+3)/12;
545 L(j) = Lh(j)+Lt(j)+tw(j)/12;
546 end
547
548 %—h(j)) Diseno del "Toe"
549
550 phiVc = 0; Vu = 1; Vuae = 1;
551 while phiVc < Vu || phiVc < Vuae || eLae(j) > 1 || eL(j) > 1 || FSv(j) < 2 || FSvae(j) < 1.4 || qmax(j) > qall
|| qmin(j) > qall ||
qmaxae > qall || qminae > qall
552 Ldt = Lt(j)-dt/12;
553
554 P1(j) = heq*Ka*w/1000*h(j); % Fuerza debido al surcharge [kip]
555 P2(j) = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*cos(delta); % Fuerza horizontal debido al suelo [kip]
556 P3 = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*sin(delta); % Fuerza vertical debido al suelo [kip]
557 W1 = w/1000*hw(j)*Lh(j); % Suelo detras de muro
558 W2 = 0.150*hw(j)*tw(j)/12; % "Stem"
559 W3 = 0.150*tb(j)*L(j); % Base
560 W4 = 0.5*Lh(j)^2*tan(ii)*w/1000; % Suelo detras de muro(triangular)
561 Weq = w/1000*heq*Lh(j); % Surcharge
562 R = W1+W2+W3+W4+P3;%+Weq; % Resultante [kips]
563 % Brazos de momento con respecto al toe [ft]
564 b1 = L(j)-Lh(j)/2;
565 b2 = Lt(j)+tw(j)/12/2;
566 b3 = L(j)/2;
567 b4 = L(j)-Lh(j)/3;
568 b5 = L(j);
569 % Momentos [k(j)-ft]
570 M1 = W1*b1;
571 M2 = W2*b2;
572 M3 = W3*b3;
573 M4 = W4*b4;
574 M5 = P3*b5;
575 Meq = Weq*b1;
576 Mres = M1+M2+M3+M4+M5;%+Meq;
577 Mvue = P1(j)*h(j)/2 + P2(j)*h(j)/3;
578 FSv(j) = Mres/Mvue; % Factor de Seguridad contra vuelco
579
580 % Verificar para cargas sismicas
581 Eaeh = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*cos(delta); % Carga horizontal debido a terremoto
582 Eaev = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*sin(delta); % Carga vertical debido a terremoto
583 M1h = Kh*W1*(hw(j)/2+tb(j));
584 M2h = Kh*W2*(hw(j)/2+tb(j));
585 M3h = Kh*W3*tb(j)/2;
586 M4h = Kh*W4*(hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii)/3);
587 Meqh = Kh*Weq*(hw(j)+tb(j)+heq/2);
588 DEaeh = Eaeh-P2(j);
589 DEaev = Eaev-P3;
590 Rae = R+DEaev; %%%%%%%% check %%%%%%%%%
591 Mvueae = P1(j)*h(j)/2+P2(j)*h(j)/3+DEaeh*0.6*h(j)+M1h+M2h+M3h+M4h;%Meqh;
592 Mresae = Mres+DEaev*L(j);
593 FSvae(j) = Mresae/Mvueae; % Factor de seguridad contra vuelco para cargas sismicas
594
595 %— e) Localizacion de la resultante y presion del suelo en la zapata
```

```
596
597 xe = (Mres - Mvue)/R;
598 er = abs(L(j)/2 - xe); %%%%%%%%% check %%%%%%%%%%
599 eL(j) = 6*er/L(j);
600 qmax(j) = R/L(j)*(1 + eL(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
601 qmin(j) = R/L(j)*(1 - eL(j));
602
603 % Verificar para cargas sismicas %%%%%%%%check%%%%%%%%%%
604 xeae = (Mresae - Mvueae)/Rae;
605 erae = abs(L(j)/2 - xeae); %%%%%%%%% check %%%%%%%%%%
606 eLae(j) = 6*erae/L(j);
607 qmaxae = Rae/L(j)*(1 + eLae(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
608 qminae = Rae/L(j)*(1 - eLae(j)); %%%%%%%%%check%%%%%%%%%%
609
04-04-11 08:03 PM C:\Users\Ricardo\Documents\Muros de
Contencion\ACT\DisenoMurosContencionCoulomb3b.m 10 of 19
610 qt1 = (qmax(j) - qmin(j))*(1-Ldt/L(j))+qmin(j);
611 qt2 = (qmax(j) - qmin(j))*(1-Lt(j)/L(j))+qmin(j);
612 Vu = 1.6*((qmax(j) + qt1)/2-Wconc)*Ldt;
613 phiVc = 0.85*2*sqrt(fc*1000)*12*dt/1000;
614 Mu = 1.6*(1/3*(qmax(j)-qt2)+1/2*qt2-1/2*Wconc)*Lt(j)^2;
615 % Cargas sismicas
616 qt1ae = (qmaxae - qminae)*(1-Ldt/L(j))+qminae;
617 qt2ae = (qmaxae - qminae)*(1-Lt(j)/L(j))+qminae;
618 Vuae = 1.6*((qmaxae + qt1ae)/2-Wconc)*Ldt;
619 Muae = 1.6*(1/3*(qmaxae-qt2ae)+1/2*qt2ae-1/2*Wconc)*Lt(j)^2;
620 if phiVc < Vu || phiVc < Vuae
621 dt = dt+0.25; % Espesor efectivo del toe
622 tb(j) = (dt+3+0.5)/12;
623 end
624 if FSv(j) < 2 || FSvae(j) < 1.4 || eL(j) > 1 || eLae(j) > 1 || qmax(j) > qall || qmin(j) > qall || qmaxae > qall
|| qminae > qall
625 Lt(j) = Lt(j) + 1/12;
626 if Lt(j)>30 %| Lh(j)>20
627 break
628 end
629 end
630 end
631
632 % Acero del "toe"
633 Rn = (max(Mu,Muae))/(0.9*12*dt^2);
634 ptoe = 1/m*(1-sqrt(1-2*m*Rn/fy));
635 if ptoe < pmin
636 ptoe = pmin;
637 end
638 Astoe = ptoe*12*dt; % Cuantia de acero en el toe [in^2/ft]
639 if Astoe >= 0 && Astoe < 0.44
640 vartoe(j) = 4; % Numero de varilla
641 Avartoe = 0.2;
642 elseif Astoe >= 0.44 && Astoe < 0.79
643 vartoe(j) = 6;
644 Avartoe = 0.44;
645 elseif Astoe >= 0.79 && Astoe < 1.27
646 vartoe(j) = 8;
647 Avartoe = 0.79;
648 elseif Astoe >= 1.27 && Astoe < 1.41
649 vartoe(j) = 10;
650 Avartoe = 1.27;
651 elseif Astoe >= 1.41
652 vartoe(j) = 11;
653 Avartoe = 1.41;
654 end
655 Stoe(j) = floor(12/(Astoe/Avartoe)); % Espaciado de la varilla
```

```
if Stoe(j) > 18
Stoe(j) = 18;
end

% Largo de desarrollo varillas del toe

dl = vartoe(j)/8; % Diametro de la varilla
alpha1 = 0.7;
alpha2 = 1;
alpha3 = 1;
alpha4 = 1;
alpha5 = 1;
eta = 11/8; % Factor de reversal
ldtoe(j) = ceil(0.02*(fy*1000)/sqrt(fc*1000)*eta*dl*alpha1*alpha2*alpha3*alpha4*alpha5); % Largo de desarrollo varillas del
heel
div = ldtoe(j)/3;
while div-floor(div) ~= 0
ldtoe(j) = ldtoe(j)+1;
div = ldtoe(j)/3;
end
ldtoeav = 12*(L(j)-(Lt(j)+2/12));
if ldtoe(j) > ldtoeav
```



```
Lh(j) = Lh(j) + (ldtoe(j)-ldtoeav+3)/12;
L(j) = Lh(j)+Lt(j)+tw(j)/12;
h(j) = hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii);
end

%% Acero de temperatura

Asbase = 0.0018*tb(j)*144; % Acero de temperatura en la base [in^2]
if Asbase >= 0 && Asbase < 0.44
varbase(j) = 4;
Avarbase = 0.2;
elseif Asbase >= 0.44 && Asbase < 0.79
varbase(j) = 6;
Avarbase = 0.44;
elseif Asbase >= 0.79 && Asbase < 1.27
varbase(j) = 8;
Avarbase = 0.79;
elseif Asbase >= 1.27 && Asbase < 1.41
varbase(j) = 10;
Avarbase = 1.27;
elseif Asbase >= 1.41
varbase(j) = 11;
Avarbase = 1.41;
end
Sbase = 12/(Asbase/Avarbase);
cantvar(j) = ceil((ceil(L(j)*12/Sbase)+1)/2); % Cantidad de varillas de temperatura para el heel y el toe
if cantvar(j) <= 3
cantvar(j) = 3;
end

%—— d) Verificar vuelco
while FSv(j) < 2 || eL(j) > 1 || eLae(j) > 1 || FSvae(j) < 1.4 || qmax(j) > qall || qmin(j) > qall || qmaxae > qall || qminae > qall
h(j) = hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii); % Altura desde la base de la zapata hasta el tope del muro [ft]
P1(j) = heq*Ka*w/1000*h(j); % Fuerza debido al surcharge [kip]
P2(j) = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*cos(delta); % Fuerza horizontal debido al suelo [kip]
P3 = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*sin(delta); % Fuerza vertical debido al suelo [kip]
W1 = w/1000*hw(j)*Lh(j); % Suelo detras de muro
```

```
W2 = 0.150*hw(j)*tw(j)/12; % "Stem"
W3 = 0.150*tb(j)*L(j); % Base
W4 = 0.5*Lh(j)^2*tan(ii)*w/1000; % Suelo detras de muro(triangular)
Weq = w/1000*heq*Lh(j); % Surcharge
R = W1+W2+W3+W4+P3;%+Weq; % Resultante [kips]
% Brazos de momento con respecto al toe [ft]
b1 = L(j)-Lh(j)/2;
b2 = Lt(j)+tw(j)/12/2;
b3 = L(j)/2;
b4 = L(j)-Lh(j)/3;
b5 = L(j);
% Momentos [k(j)-ft]
M1 = W1*b1;
M2 = W2*b2;
M3 = W3*b3;
M4 = W4*b4;
M5 = P3*b5;
Meq = Weq*b1;
Mres = M1+M2+M3+M4+M5;%+Meq;
Mvue = P1(j)*h(j)/2 + P2(j)*h(j)/3;
FSv(j) = Mres/Mvue; % Factor de Seguridad contra vuelco

% Verificar para cargas sismicas
Eaeh = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*cos(delta); % Carga horizontal debido a terremoto
Eaev = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*sin(delta); % Carga vertical debido a terremoto
M1h = Kh*W1*(hw(j)/2+tb(j));
M2h = Kh*W2*(hw(j)/2+tb(j));
M3h = Kh*W3*tb(j)/2;
M4h = Kh*W4*(hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii)/3);
Meqh = Kh*Weq*(hw(j)+tb(j)+heq/2);
DEaeh = Eaeh-P2(j);
```



```
DEaev = Eaev-P3;
Rae = R+DEaev; %%%%%%%%% check %%%%%%%%%%
Mvueae = P1(j)*h(j)/2+P2(j)*h(j)/3+DEaeh*0.6*h(j)+M1h+M2h+M3h+M4h;%Meqh;
Mresae = Mres+DEaev*L(j);
FSvae(j) = Mresae/Mvueae; % Factor de seguridad contra vuelco para cargas sismicas

%—— e) Localizacion de la resultante y presion del suelo en la zapata

xe = (Mres - Mvue)/R;
er = abs(L(j)/2 - xe); %%%%%%%%% check %%%%%%%%%%
eL(j) = 6*er/L(j);
qmax(j) = R/L(j)*(1 + eL(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
qmin(j) = R/L(j)*(1 - eL(j));

% Verificar para cargas sismicas
xeae = (Mresae - Mvueae)/Rae;
erae = abs(L(j)/2 - xeae);
eLae(j) = 6*erae/L(j);
qmaxae = Rae/L(j)*(1 + eLae(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
qminae = Rae/L(j)*(1 - eLae(j));
if FSv(j) < 2 || FSvae(j) < 1.4 || eL(j) > 1 || eLae(j) > 1 || qmax(j) > qall || qmin(j) > qall || qmaxae > qall
|| qminae > qall
Lt(j) = Lt(j) + 1/12;
if Lt(j)>30 %| Lh(j)>20
break
end
end
end

%—— f) Verificar deslizamiento
```

```
774
775 ak(j) = 0; h1 = tb(j);
776 Fsliding = P1(j) + P2(j);
777 Ffrict = mu*R;
778 Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
779 FSsliding(j) = (Ffrict+Pp)/Fsliding; % Factor de seguridad contra deslizamiento
780
781 ak(j) = 0; k(j) = 0;
782 if FSsliding(j) < 1.5 % Disenar "shear key"
783 mu1 = tan(phi);
784 q1 = (qmax(j)-qmin(j))*(Lh(j)+5/12)/L(j)+qmin(j);
785 h1 = tb(j);
786 R1 = (qmax(j)+q1)/2*(L(j)-Lh(j)-5/12);
787 R2 = (q1+qmin(j))/2*(Lh(j)+5/12);
788 F = mu1*R1+mu*R2;
789 Pp = 1.5*Fsliding-F;
790 ak(j) = (-Kp*w*h1+sqrt((Kp*w*h1)^2+2000*Kp*w*Pp))/(Kp*w);
791 if Pp < 0
792 ak(j) = 0.5;
793 Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
794 end
795 FSsliding(j) = (F+Pp)/(P1(j)+P2(j));
796 end
797
798 % Verificar deslizamiento para cargas sismicas
799 if ak(j) == 0
800 ak(j) = 0;
801 Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
802 FSsae(j) = (mu*Rae+Pp)/(P1(j)+P2(j)+DEaeh);
803 elseif ak(j) > 0
804 q1ae = (qmaxae-qminae)*(Lh(j)+5/12)/L(j)+qminae;
805 R1ae = (qmaxae+q1ae)/2*(L(j)-Lh(j)-5/12);
806 R2ae = (q1ae+qminae)/2*(Lh(j)+5/12);
807 Fae = mu1*R1ae+mu*R2ae;
808 Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
809 FSsae(j) = (Pp+Fae)/(P1(j)+P2(j)+DEaeh);
810 end
811
812 if FSsae(j) < 1.1 %Redisenar "shear key"
```

```
813 h1 = tb(j);
814 mu1 = tan(phi);
815 q1ae = (qmaxae-qminae)*(Lh(j)+5/12)/L(j)+qminae;
816 R1ae = (qmaxae+q1ae)/2*(L(j)-Lh(j)-5/12);
817 R2ae = (q1ae+qminae)/2*(Lh(j)+5/12);
818 Fae = mu1*R1ae+mu*R2ae;
819 Pp = (1.5/1.3)*(P1(j)+P2(j)+DEaeh)-Fae;
820 ak(j) = (-Kp*w*h1+sqrt((Kp*w*h1)^2+2000*Kp*w*Pp))/(Kp*w);
821 if Pp < 0
822 ak(j) = 0.5;
823 Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
824 end
825 q1 = (qmax(j)-qmin(j))*(Lh(j)+5/12)/L(j)+qmin(j);
826 R1 = (qmax(j)+q1)/2*(L(j)-Lh(j)-5/12);
827 R2 = (q1+qmin(j))/2*(Lh(j)+5/12);
828 F = mu1*R1+mu*R2;
829 FSsae(j) = (Pp+Fae)/(P1(j)+P2(j)+DEaeh);
830 FSsliding(j) = (F+Pp)/(P1(j)+P2(j));
831 end
832
833 if ak(j) > 0
834 o = ak(j)-fix(ak(j));
```

```
b = 0;
if o > 0 && o < 0.25
b = 0.25-o;
elseif o > 0.25 && o < 0.5
b = 0.5-o;
elseif o > 0.5 && o < 0.75
b = 0.75-o;
elseif o > 0.75 && o < 1
b = 1-o;
end
ak(j) = 12*(ak(j) + b); % Alto del shear key ("k(j)") [in]
k(j) = ceil(ak(j)/2); % Ancho del shear key ("t") [in]
Vk = [ Kp*w/1000/2 , 0 , 0 ];
Vyk = polyval(Vk,h1);
Vuk = 1.7*Vyk;
Vck = 0;
while Vck < Vuk
Vck = 0.85*2*sqrt(fc*1000)*12*(k(j))/1000;
if Vck < Vuk
k(j) = k(j)+1;
end
end
if ak(j) < 6 && ak(j) > 0
ak(j) = 6;
end
if k(j) < 12 && k(j) > 0
k(j) = 12;
end
ak(j) = ak(j)/12;
k(j) = k(j)/12;
end
if ak(j) > 0
Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
FSsliding(j) = (F+Pp)/(P1(j)+P2(j));
FSsae(j) = (Pp+Fae)/(P1(j)+P2(j)+DEaeh);
end

%—i)Diseno de la pared

M = [ Ka*w/1000/6 , heq*Ka*w/1000/2 , 0 , 0 ];
Mu = 1.6*polyval(M,hw(j));
Rn = Mu*12/(0.9*12*d^2);
pwall = 1/m*(1-sqrt(1-2*m*Rn/fy));
if pwall < pmin
pwall = pmin;
end
```



```
Asw = pwall*12*d; % Cuantia de acero en la pared [in^2/ft]

% Acero de temperatura en la pared
Astemp = 0.0025*12*tw(j); % Acero de temperatura total [in^2/ft]

Ashorizf = 2/3*Astemp; % Acero de temperatura horizontal en la cara frontal
if Ashorizf >= 0 && Ashorizf < 0.44
varhorizf(j) = 4;
Avarhorizf = 0.2;
elseif Ashorizf >= 0.44 && Ashorizf < 0.79
varhorizf(j) = 6;
Avarhorizf = 0.44;
elseif Ashorizf >= 0.79 && Ashorizf < 1.27
varhorizf(j) = 8;
Avarhorizf = 0.79;
```

```
896 elseif Ashorizf >= 1.27
897 varhorizf(j) = 10;
898 Avarhorizf = 1.27;
899 end
900 Shorizf(j) = floor(12/(Ashorizf/Avarhorizf));
901 if Shorizf(j) > 18
902 Shorizf(j) = 18;
903 end
904
905 Asvertf = 0.0015*12*tw(j); % Acero de temperatura vertical en la cara frontal
906 if Asvertf >= 0 && Asvertf < 0.44
907 varvertf(j) = 4;
908 Avarvertf = 0.2;
909 elseif Asvertf >= 0.44 && Asvertf < 0.79
910 varvertf(j) = 6;
911 Avarvertf = 0.44;
912 elseif Asvertf >= 0.79 && Asvertf < 1.27
913 varvertf(j) = 8;
914 Avarvertf = 0.79;
915 elseif Asvertf >= 1.27
916 varvertf(j) = 10;
917 Avarvertf = 1.27;
918 end
919 Svertf(j) = floor(12/(Asvertf/Avarvertf));
920 if Svertf(j) > 18
921 Svertf(j) = 18;
922 end
923
924 Ashorizr = 1/3*Astemp; % Acero de temperatura horizontal en la cara trasera
925 if Ashorizr >= 0 && Ashorizr < 0.44
926 varhorizr(j) = 4;
927 Avarhorizr = 0.2;
928 elseif Ashorizr >= 0.44 && Ashorizr < 0.79
929 varhorizr(j) = 6;
930 Avarhorizr = 0.44;
931 elseif Ashorizr >= 0.79 && Ashorizr < 1.27
932 varhorizr(j) = 8;
933 Avarhorizr = 0.79;
934 elseif Ashorizr >= 1.27
935 varhorizr(j) = 10;
936 Avarhorizr = 1.27;
937 end
938 Shorizr(j) = floor(12/(Ashorizr/Avarhorizr));
939 if Shorizr(j) > 18
940 Shorizr(j) = 18;
941 end
942
943 % Verificar diseno de la pared para cargas sismicas
944 Wsur = heq*Ka*w/1000;
945 Wae = Eaeh/hw(j);
946 Wu = 1.0*(Wsur+Wae);
947 Mu = 1/2*Wu*hw(j)^2;
948 Rn = Mu*12/(0.9*12*d^2);
04-04-11 08:03 PM C:\Users\Ricardo\Documents\Muros de
Contencion\ACT\DisenoMurosContencionCoulomb3b.m 15 of 19
949 pwall = 1/m*(1-sqrt(1-2*m*Rn/fy));
950 Aswallae = pwall*12*d;
951 if Aswallae > Asw
952 Aswall(j) = Aswallae; % Cuantia de acero en la pared [in^2/ft]
953 else
954 Aswall(j) = Asw; % Cuantia de acero en la pared [in^2/ft]
955 end
956
```

```
if Aswall(j) >= 0 && Aswall(j) < 0.44
varwall(j) = 4;
Avarwall = 0.2;
elseif Aswall(j) >= 0.44 && Aswall(j) < 0.79
varwall(j) = 6;
Avarwall = 0.44;
elseif Aswall(j) >= 0.79 && Aswall(j) < 1.27
varwall(j) = 8;
Avarwall = 0.79;
elseif Aswall(j) >= 1.27 && Aswall(j) < 3
varwall(j) = 10;
Avarwall = 1.27;
elseif Aswall(j) >= 3
varwall(j) = 11;
Avarwall = 1.56;
end
Swall(j) = floor(12/(Aswall(j)/Avarwall));
if Swall(j) > 18
Swall(j) = 18;
end
Asprov = 12*Avarwall/Swall(j);

% Largo de desarrollo varillas principales de la pared en la base

dl = varwall(j)/8; % Diametro de la varilla
alpha1 = 0.7;
alpha2 = 1;
alpha3 = 1;
alpha4 = 1;
alpha5 = 1;
eta = 11/8; % Factor de reversal
ldwallb(j) = ceil(0.02*(fy*1000)/sqrt(fc*1000)*eta*dl*alpha1*alpha2*alpha3*alpha4*alpha5); % Largo de desarrollo varillas principales en la base
div = ldwallb(j)/3;
while div-floor(div) ~= 0
ldwallb(j) = ldwallb(j)+1;
div = ldwallb(j)/3;
end
ldwallav = 12*tb(j)+ak(j)-3;
if ldwallb(j) > ldwallav
if ldwallb(j)-ldwallav <= 3 && ak(j) == 0
tb(j) = tb(j)+(ldwallb(j)-ldwallav)/12;
ldwallav = 12*tb(j)-3;
P1(j) = heq*Ka*w/1000*h(j); % Fuerza debido al surcharge [kip]
P2(j) = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*cos(delta); % Fuerza horizontal debido al suelo [kip]
P3 = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*sin(delta); % Fuerza vertical debido al suelo [kip]
W1 = w/1000*hw(j)*Lh(j); % Suelo detras de muro
W2 = 0.150*hw(j)*tw(j)/12; % "Stem"
W3 = 0.150*tb(j)*L(j); % Base
W4 = 0.5*Lh(j)^2*tan(ii)*w/1000; % Suelo detras de muro(triangular)
Weq = w/1000*heq*Lh(j); % Surcharge
R = W1+W2+W3+W4+P3;%+Weq; % Resultante [kips]
Fsliding = P1(j) + P2(j);
Ffrict = mu*R;
FSsliding(j) = (Ffrict+Pp)/Fsliding; % Factor de seguridad contra deslizamiento
% Brazos de momento con respecto al toe [ft]
b1 = L(j)-Lh(j)/2;
b2 = Lt(j)+tw(j)/12/2;
b3 = L(j)/2;
b4 = L(j)-Lh(j)/3;
```

```
b5 = L(j);
% Momentos [k(j)-ft]
M1 = W1*b1;
M2 = W2*b2;
M3 = W3*b3;
M4 = W4*b4;
M5 = P3*b5;
Meq = Weq*b1;
Mres = M1+M2+M3+M4+M5;%+Meq;
Mvue = P1(j)*h(j)/2 + P2(j)*h(j)/3;
FSv(j) = Mres/Mvue; % Factor de Seguridad contra vuelco

% Verificar para cargas sismicas
Eaeh = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*cos(delta); % Carga horizontal debido a terremoto
Eaev = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*sin(delta); % Carga vertical debido a terremoto
M1h = Kh*W1*(hw(j)/2+tb(j));
M2h = Kh*W2*(hw(j)/2+tb(j));
M3h = Kh*W3*tb(j)/2;
M4h = Kh*W4*(hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii)/3);
Meqh = Kh*Weq*(hw(j)+tb(j)+heq/2);
DEaeh = Eaeh-P2(j);
DEaev = Eaev-P3;
Rae = R+DEaev; %%%%%%%% check %%%%%%%%%
Mvueae = P1(j)*h(j)/2+P2(j)*h(j)/3+DEaeh*0.6*h(j)+M1h+M2h+M3h+M4h;%Meqh;
Mresae = Mres+DEaev*L(j);
FSvae(j) = Mresae/Mvueae; % Factor de seguridad contra vuelco para cargas sismicas

%--- e) Localizacion de la resultante y presion del suelo en la zapata

xe = (Mres - Mvue)/R;
er = abs(L(j)/2 - xe); %%%%%%%% check %%%%%%%%%
eL(j) = 6*er/L(j);
qmax(j) = R/L(j)*(1 + eL(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
qmin(j) = R/L(j)*(1 - eL(j));

% Verificar para cargas sismicas %%%%%%%%check%%%%%%%%%
xeae = (Mresae - Mvueae)/Rae;
erae = abs(L(j)/2 - xeae); %%%%%%%% check %%%%%%%%%
eLae(j) = 6*erae/L(j);
qmaxae = Rae/L(j)*(1 + eLae(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
qminae = Rae/L(j)*(1 - eLae(j));
if FSv(j) < 2 || eL(j) > 1 || eLae(j) > 1 || FSvae(j) < 1.4 || qmax(j) > qall || qmin(j) > qall || qmaxae > qall
|| qminae > qall
tb(j) = tb(j)-(ldwallb(j)-ldwallav)/12;
ldwallav = 12*tb(j)-3;
ak(j) = ak(j)+(ldwallb(j)-ldwallav);
ldwallav = 12*tb(j)+ak(j)-3;
P2(j) = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*cos(delta); % Fuerza horizontal debido al suelo [kip]
P3 = 0.5*(Ka*w/1000)*h(j)^2*sin(delta); % Fuerza vertical debido al suelo [kip]
W1 = w/1000*hw(j)*Lh(j); % Suelo detras de muro
W2 = 0.150*hw(j)*tw(j)/12; % "Stem"
W3 = 0.150*tb(j)*L(j); % Base
W4 = 0.5*Lh(j)^2*tan(ii)*w/1000; % Suelo detras de muro(triangular)
Weq = w/1000*heq*Lh(j); % Surcharge
R = W1+W2+W3+W4+P3;%+Weq; % Resultante [kips]
Fsliding = P1(j) + P2(j);
Ffrict = mu*R;
FSsliding(j) = (Ffrict+Pp)/Fsliding; % Factor de seguridad contra deslizamiento
% Brazos de momento con respecto al toe [ft]
b1 = L(j)-Lh(j)/2;
b2 = Lt(j)+tw(j)/12/2;
b3 = L(j)/2;
b4 = L(j)-Lh(j)/3;
```

```
b5 = L(j);
% Momentos [k(j)-ft]
M1 = W1*b1;
M2 = W2*b2;
M3 = W3*b3;
M4 = W4*b4;
```

```
M5 = P3*b5;
Meq = Weq*b1;
Mres = M1+M2+M3+M4+M5;%+Meq;
Mvue = P1(j)*h(j)/2 + P2(j)*h(j)/3;
FSv(j) = Mres/Mvue; % Factor de Seguridad contra vuelco

% Verificar para cargas sismicas
Eaeh = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*cos(delta); % Carga horizontal debido a terremoto
Eaev = 1/2*w*h(j)^2*(1-Kv)*Kae/1000*sin(delta); % Carga vertical debido a terremoto
M1h = Kh*W1*(hw(j)/2+tb(j));
M2h = Kh*W2*(hw(j)/2+tb(j));
M3h = Kh*W3*tb(j)/2;
M4h = Kh*W4*(hw(j)+tb(j)+Lh(j)*tan(ii)/3);
Meqh = Kh*Weq*(hw(j)+tb(j)+heq/2);
DEaeh = Eaeh-P2(j);
DEaev = Eaev-P3;
Rae = R+DEaev;
Mvueae = P1(j)*h(j)/2+P2(j)*h(j)/3+DEaeh*0.6*h(j)+M1h+M2h+M3h+M4h;%Meqh;
Mresae = Mres+DEaev*L(j);
FSvae(j) = Mresae/Mvueae; % Factor de seguridad contra vuelco para cargas sismicas

%--- e) Localizacion de la resultante y presion del suelo en la zapata

xe = (Mres - Mvue)/R;
er = abs(L(j)/2 - xe); %%%%%%%% check %%%%%%%%%
eL(j) = 6*er/L(j);
qmax(j) = R/L(j)*(1 + eL(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
qmin(j) = R/L(j)*(1 - eL(j));

% Verificar para cargas sismicas %%%%%%%%check%%%%%%%%%
xeae = (Mresae - Mvueae)/Rae;
erae = abs(L(j)/2 - xeae); %%%%%%%% check %%%%%%%%%
eLae(j) = 6*erae/L(j);
qmaxae = Rae/L(j)*(1 + eLae(j)); % Presion del suelo en la zapata [ksf]
qminae = Rae/L(j)*(1 - eLae(j));
end
else
ak(j) = ak(j)+(ldwallb(j)-ldwallav);
ldwallav = 12*tb(j)+ak(j)-3;
end
end

if ak(j) < 6 && ak(j) > 0
ak(j) = 6;
end
k(j) = ceil(ak(j)/2);
if k(j) < 12 && k(j) > 0
k(j) = 12;
end

if ak(j) > 0
Pp = Kp*w/1000*(h1+ak(j))^2/2;
q1 = (qmax(j)-qmin(j))*(Lh(j)+5/12)/L(j)+qmin(j);
q1ae = (qmaxae-qminae)*(Lh(j)+5/12)/L(j)+qminae;
R1 = (qmax(j)+q1)/2*(L(j)-Lh(j)-5/12);
```

```
1139 R2 = (q1+qmin(j))/2*(Lh(j)+5/12);
1140 R1ae = (qmaxae+q1ae)/2*(L(j)-Lh(j)-5/12);
1141 R2ae = (q1ae+qminae)/2*(Lh(j)+5/12);
1142 mu1 = tan(phi);
1143 F = mu1*R1+mu*R2;
1144 Fae = mu1*R1ae+mu*R2ae;
1145 FSsliding(j) = (F+Pp)/(P1(j)+P2(j));
1146 FSsae(j) = (Pp+Fae)/(P1(j)+P2(j)+DEaeh);
1147 end
1148 ak(j) = ak(j)/12;
1149 k(j) = k(j)/12;
1150
1151 LH = floor(Lh(j)); lh = round(12*(Lh(j)-LH));
04-04-11 08:03 PM C:\Users\Ricardo\Documents\Muros de
Contencion\ACT\DisenoMurosContencionCoulomb3b.m 18 of 19
1152 LT = floor(Lt(j)); lt = 12*(Lt(j)-LT);
1153 W = floor(L(j)); Lw = round(12*(L(j)-W));
1154 if Lw == 12
1155 W = W+1;
1156 Lw = 0;
1157 end
1158 cy(j) = (tw(j)/12*hw(j)+tb(j)*L(j)+ak(j)*k(j)/144)/27; % Concrete Quantity [cy(j)/ft]
1159 if hw(j) <= 10
1160 note(j) = 1;
1161 elseif hw(j) > 10
1162 note(j) = 2;
1163 end
1164
1165 qmax(j) = max(qmax(j),qmaxae);
1166 qmin(j) = max(qmin(j),qminae);
1167
1168 hw(j) = hw(j)/3.2808399; tw(j) = tw(j)*0.0254; tb(j) = tb(j)/3.2808399; Lh(j) = Lh(j)/3.2808399; Lt(j) =
Lt(j)/3.2808399;
1169 L(j) = L(j)/3.2808399; k(j) = k(j)/3.2808399; ak(j) = ak(j)/3.2808399; qmax(j) = qmax(j)*1000; qmin(j) =
qmin(j)*1000;
1170 Aswall(j) = Aswall(j)/0.15500031*3.2808399; Swall(j) = Swall(j)*0.0254; ldwallb(j) = ldwallb(j)*0.0254;
Shorizr(j) = Shorizr(j)*0.
0254;
1171 Svertf(j) = Svertf(j)*0.0254; Shorizf(j) = Shorizf(j)*0.0254; Sheel(j) = Sheel(j)*0.0254; ldheel(j) =
ldheel(j)*0.0254; Stoe(j) = Stoe(j)
*0.0254;
1172 ldtoe(j) = ldtoe(j)*0.0254;
1173 cy(j) = (tw(j)*hw(j)+tb(j)*L(j)+ak(j)*k(j)); % Concrete Quantity [cm/m]
1174 end
1175
1176 fid=fopen('TABLA MUROS2.txt','w');
1177 fprintf(fid,'DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS \n');
1178 fprintf(fid,' \n');
1179 fprintf(fid,'Soil Properties: Material Properties: \n');
1180 fprintf(fid,[' Unit Weight = ', num2str(w),' lb/ft^3 f''c = ', num2str(fc),' ksi \n']);
1181 fprintf(fid,[' Friction angle = ', num2str(phi*180/pi),' fy = ', num2str(fy),' ksi \n']);
1182 fprintf(fid,' Friction coeficient = %1.2f \n', mu);
1183 if angsoil ~= 0
1184 fprintf(fid,['Backfill Slope, i = ', num2str(angsoil),' \n']);
1185 elseif angsoil == 0
1186 fprintf(fid,('Backfill Slope, i = LEVEL \n'));
1187 end
1188 fprintf(fid,' \n');
1189 fprintf
(fid,'_____
_____
_____
_____
```

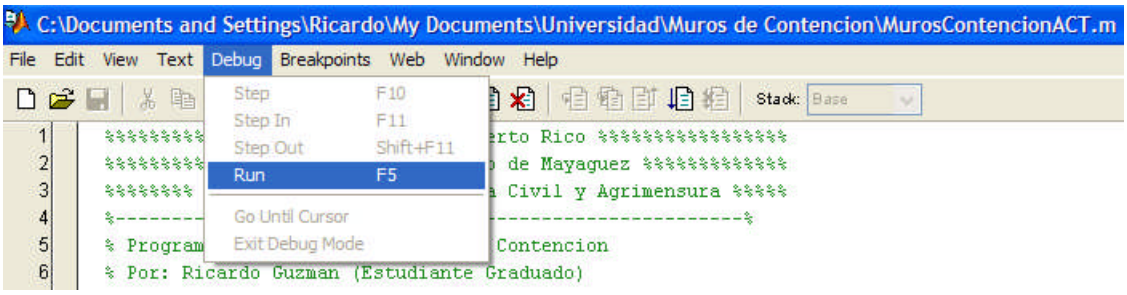
```
_____ \n');
1190 fprintf(fid,'|————————————CONCRETE DIMENSIONS————————————————|————————SERVICE LOAD
ANALYSIS
SUMMARY————————|————————————————————REINFORCEMENT AREAS————————————————————————|
\n');
1191 fprintf
(fid,'_____
_____
_____
_____
_____ \n');
1192 fprintf(fid,' Height \n');
1193 fprintf(fid,' Above Stem Base Width Base Soil |————————Safety Factors————————|
|————————————————Stem————————————————|————————————Base————————————| \n');
1194 fprintf(fid,' Base Thickness Thickness Heel Toe of Base Key Concrete Pressure |———Static———|———
Earthquake———| Area "RV" Length "RH" "FV" "FH" "H" Develop. "T" Develop. "TB" \n');
1195 fprintf(fid,' hw tw tb C T W t x k Quantity Toe Heel Sliding Overturning Sliding
Overturning Req''d Bars into Base Bars Bars Bars Bars Length Bars Length Bars \n');
1196 fprintf(fid,' (m) Note (m) (m) (m) (m) (m) (m x m) (cm/m) (psf) (psf)
(cm^2/lm) (size@m) (m) (size@m) (size@m) (size@m) (size@m) (m) (size@m) (m) (Quant.-size) \n');
1197 fprintf
(fid,'_____
_____
_____
_____
_____ \n');
1198 for j = 1:length(cy)
1199 if ak(j) > 0
1200 fprintf(fid,' %3.2f %3.0f %6.2f %8.2f %3.2f %2.2f %3.2f %4.2fx%2.2f %5.2f %5.0f %5.0f %6.2f %9.2f %
9.2f %9.2f %10.2f #%2.0f@%2.2f %4.2f #%1.0f@%2.2f #%1.0f@%2.2f #%1.0f@%2.2f #%1.0f@%2.2f %3.2f
#%2.0
f@%2.2f %3.2f %4.0f #%1.0f \n',...
1201 hw(j),note(j),tw(j),tb(j),Lh(j),Lt(j),L(j),k(j),ak(j),cy(j),qmax(j),qmin(j),FSsliding(j),FSv(j),FSsae(j),FSvae(j),...
04-04-11 08:03 PM C:\Users\Ricardo\Documents\Muros de
Contencion\ACT\DisenoMurosContencionCoulomb3b.m 19 of 19
1202
Aswall(j),varwall(j),Swall(j),ldwallb(j),varhorizr(j),Shorizr(j),varvertf(j),Svertf(j),varhorizf(j),Shorizf(j),varheel(j),Sh
eel(j),...
1203 ldheel(j),vartoe(j),Stoe(j),ldtoe(j),cantvar(j),varbase(j));
1204 elseif ak(j) == 0
1205 fprintf(fid,' %3.2f %3.0f %6.2f %8.2f %3.2f %1.2f %3.2f NONE %6.2f %6.0f %5.0f %6.2f %9.2f %9.2f
%9.2f %10.2f #%2.0f@%2.2f %4.2f #%1.0f@%2.2f #%1.0f@%2.2f #%1.0f@%2.2f #%1.0f@%2.2f %3.2f
#%2.0f@%2.2f
%2.2f %5.0f #%1.0f \n',...
1206 hw(j),note(j),tw(j),tb(j),Lh(j),Lt(j),L(j),cy(j),qmax(j),qmin(j),FSsliding(j),FSv(j),FSsae(j),FSvae(j),...
1207
Aswall(j),varwall(j),Swall(j),ldwallb(j),varhorizr(j),Shorizr(j),varvertf(j),Svertf(j),varhorizf(j),Shorizf(j),varheel(j),Sh
eel(j),...
1208 ldheel(j),vartoe(j),Stoe(j),ldtoe(j),cantvar(j),varbase(j));
1209 end
1210 if ceil(j/3)-j/3==0
1211 fprintf(fid,' \n');
1212 end
1213 end
1214 fprintf
(fid,'_____
_____
_____
_____
_____ \n');
1215 fclose('all');
```

A.2. INSTRUCCIONES PARA UTILIZAR PROGRAMA DE DISEÑO DE MUROS DE CONTENCION AL VOLADIZO (MATLAB)

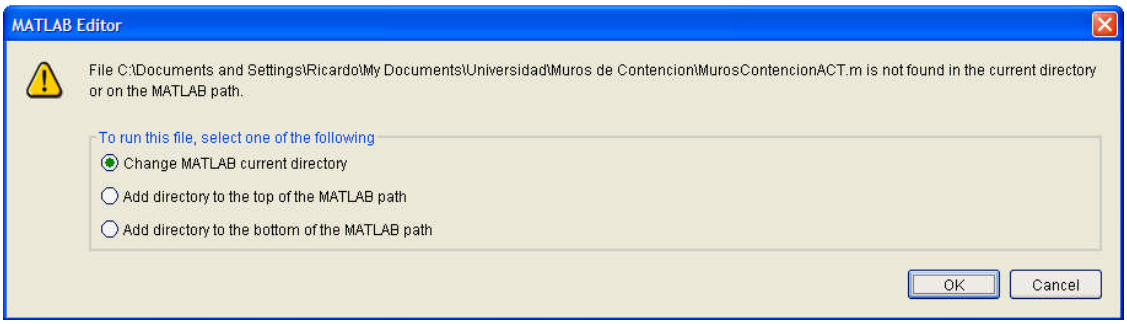
El programa de diseño de muros de contención al voladizo se desarrolló utilizando el programa de computadora MATLAB. A continuación se explica cómo utilizar el programa de diseño de muros de contención al voladizo.

Procedimiento:

1. Abrir el programa MATLAB
2. Abrir el archivo llamado *DisenoMurosContencion.m*. Al hacer esto se va a abrir otra pantalla que es el programa como tal.
3. Para correr el programa oprima el botón de "run" que se encuentra en la parte superior de la pantalla. Otra opción es abriendo el menú de Debug→Run.



4. Si le aparece la pantalla mostrada a continuación, oprima OK.



5. Abra la pantalla del programa MATLAB nuevamente.
6. El programa le va a solicitar las propiedades del suelo en consideración:

a) peso unitario del suelo en lb/pie^3,

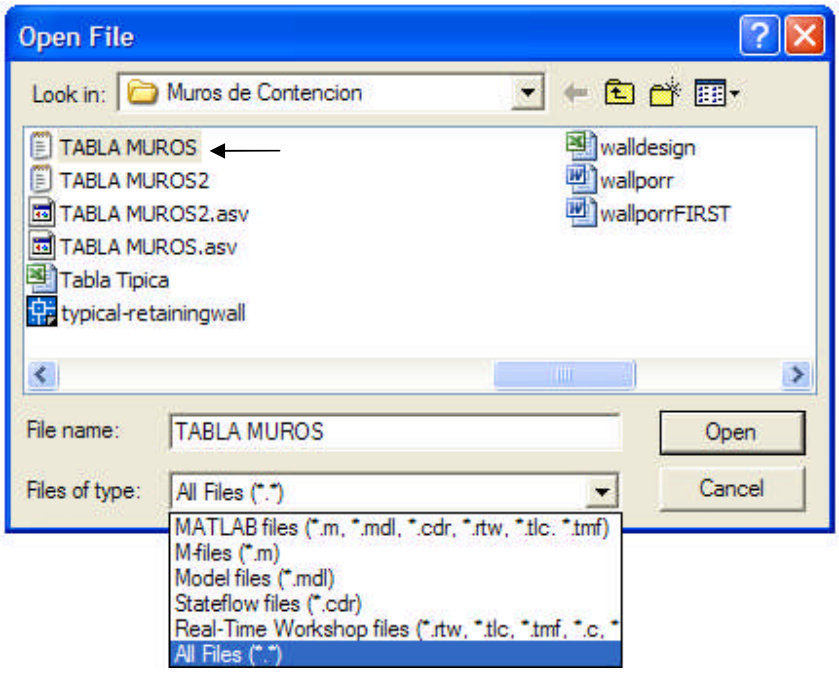
b) ángulo de fricción interna del suelo en grados,

c) coeficiente de fricción del suelo,

d) pendiente del relleno detrás del muro en grados, y

e) presión permisible del suelo debajo de la base en libras por pie cuadrado.

7. Los resultados se encuentran en un archivo creado por el programa llamado *Tablas Muros.txt*. Este archivo se encuentra en el mismo directorio donde grabó el archivo *DisenoMurosContencion.m.* Para abrir el archivo tiene que cambiar los "Files of type:" a "All files (*.*)".



A.3. PLANOS MODELO PARA LA CONSTRUCCION DE MUROS DE CONTENCION DE HORMIGON ARMADO AL VOLADIZO

Para utilizar los planos modelos mostrados a continuación se deben tener las propiedades físicas del suelo y del hormigón armado a ser utilizados para la construcción del muro de contención. Las propiedades físicas del suelo y hormigón necesarias para utilizar los planos son las siguientes:

a) peso unitario del suelo,

b) ángulo de fricción interno del suelo,

c) coeficiente de fricción entre el suelo y la zapata del muro,

d) pendiente del relleno,

e) capacidad máxima en compresión del hormigón, f_c', y

f) esfuerzo de cedencia del acero, f_y.

Los planos modelos presentados están limitados a los valores de las distintas propiedades mencionadas a continuación:

a) peso unitario del suelo igual a 115 ó 120 libras por pie cúbico,

b) angulo de fricción interno del suelo con valores de 28, 30, 35 y 40 grados,

c) se utilizó un coeficiente de fricción entre el suelo y la zapata del muro con valor de 0.40,

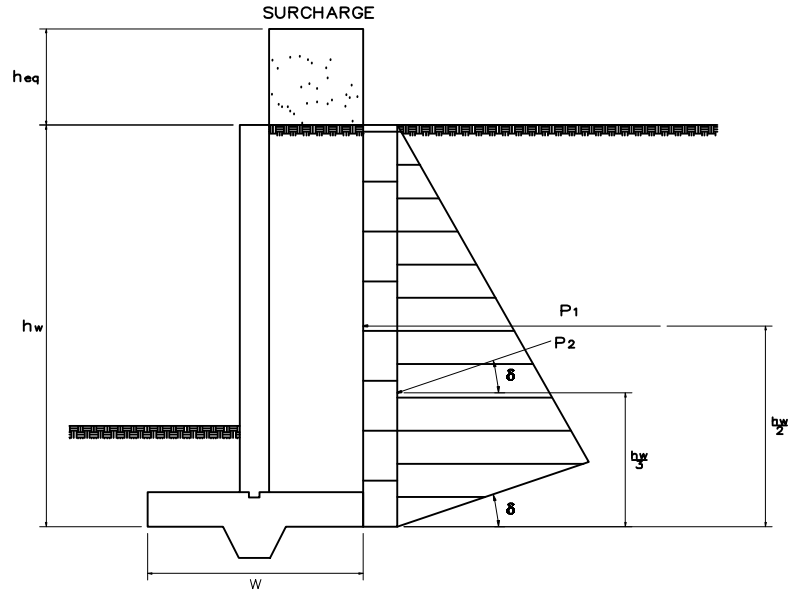
d) se tomaron en consideración valores de pendiente del relleno iguales a 0, 15, 18, 23 y 28 grados,

e) no se consideró el efecto del agua sobre el muro, ya que se le está proveyendo un sistema de drenaje al muro,

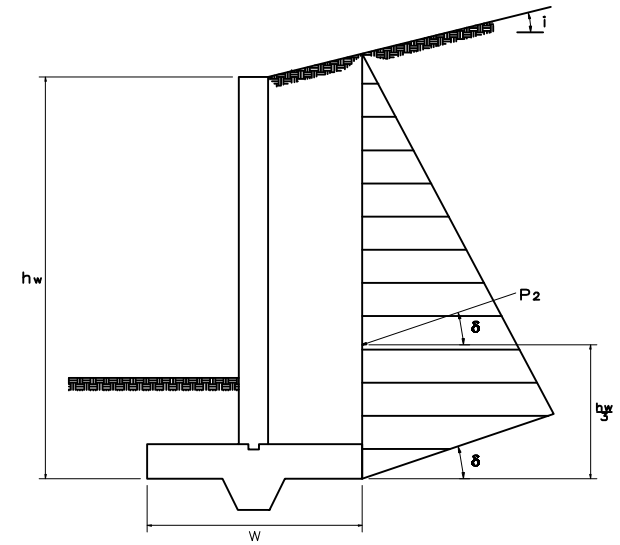
f) se utilizó una capacidad máxima en compresión del hormigón igual a 3,000 libras por pulgada cuadrada, y

g) se utilizó un esfuerzo de cedencia del acero igual a 60,000 libras por pulgada cuadrada.

Luego de obtener los valores previamente mencionados, se procede a buscar la tabla con los valores y buscar el diseño correspondiente a la altura del muro de contención considerado. Es importante mencionar que los planos se prepararon en inglés ya que fue un requisito de parte de la Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico para la presentación de los planos.



CASE I



CASE II

MISCELLANEOUS NOTES

1. THE STANDARD SPECIFICATIONS ARE SPECIFIED IN THE BOOK OF PRHTA STANDARD SPECIFICATIONS FOR ROAD AND BRIDGE CONSTRUCTION (2005).
2. THE WORK AND MATERIALS SHALL CONFORM TO THE APPLICABLE SPECIFICATIONS OF THE PRHTA STANDARD SPECIFICATIONS FOR ROAD AND BRIDGE CONSTRUCTION (2005).
3. ALL EXPOSED CONCRETE CORNERS SHALL BE CHAMFERED 0.025 MT. WHETHER OR NOT SUCH CHAMFERS ARE SHOWN ON THE DETAILS.
4. THE CONSTRUCTION JOINT SHALL BE PLACED INSTEAD OF CONTROL JOINT AS NEEDED ON A SPACING OF 9 METERS.
5. THE EXPANSION JOINT SHALL BE PLACED EVERY FOURTH CONSTRUCTION JOINT.
6. THE FILTER FABRIC SHALL BE CLASS "A" AND IT SHALL MEET THE REQUIREMENTS OF STANDARD SPECIFICATION 712–"MISCELLANEOUS MATERIALS".
7. THE REINFORCED CONCRETE SHALL BE CLASS "A–4" AND IT SHALL MEET THE REQUIREMENTS OF STANDARD SPECIFICATION 601–"STRUCTURAL CONCRETE".
8. IF THE BACK FILL IS NECESSARY, IT SHALL BE BORROW CLASS "B" AS STANDARD SPECIFICATION 203–"EXCAVATION AND EMBANKMENT".
9. THE BACK FILL SHALL BE COMPACTED AT 95% OF ITS MAXIMUM DRY DENSITY AS STANDARD SPECIFICATION 206–"EXCAVATION FOR STRUCTURES".
10. THE PERFORATED PVC PIPE SHALL MEET THE REQUIREMENTS OF STANDARD SPECIFICATION 706–"CONCRETE AND PLASTIC PIPE".
11. THE PERFORATED PVC PIPE, SILICONE SEALANT AND FILTER FABRIC SHALL BE CONSIDERED A SUBSIDIARY OBLIGATION COVERED UNDER "GRANULAR FILTER MATERIAL".
12. THE GRANULAR FILTER MATERIAL SHALL BE 3/4" CLEAN GRAVEL AND IT SHALL BE FREE OF ORGANIC MATERIAL, CLAY BALLS, DIRT OR OTHER DELETERIOUS SUBSTANCES.
13. THE GRANULAR FILTER MATERIAL SHALL MEET THE REQUIREMENTS OF ARTICLES 209–1, 209–3, 209–4, AND 209–5 OF STANDARD SPECIFICATION 209–"SHEATHING".

NOTES

DESIGN SPECIFICATIONS:
1. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) LRFD FOR HIGHWAY BRIDGES, 3RD EDITION (2004) AND INTERIMS.

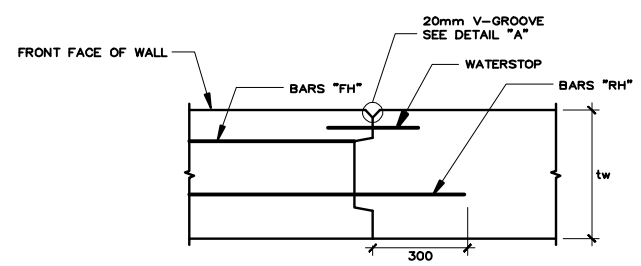
DESIGN LOADS:
1. SURCHARGE: ACCORDING TO AASHTO RECOMMENDATIONS
2. EARTHQUAKE: 0.20g

MATERIAL:
1. RINFORCED CLASS "A–4" CONCRETE: f'c=4,000 psi AT 28 DAYS.
2. MAXIMUM WATER/CEMENT RATIO: 0.50
3. REINFORCING STEEL: fy=60,000 psi AASHTO M 31 (ASTM A 615 GRADE 60).

CONCRETE COVER:
1. FOOTINGS: 0.08 MTS.
2. WALLS: 0.045 MTS.

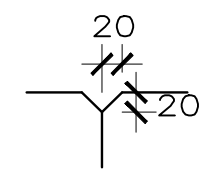
NOTE: ALL DIMENSIONS IN THIS PAGE ARE IN MILLIMETERS UNLESS OTHERWISE NOTED.

ENGINEER OF RECORD SHALL CHECK THE DESIGN AND STABILITY OF THE WALL.

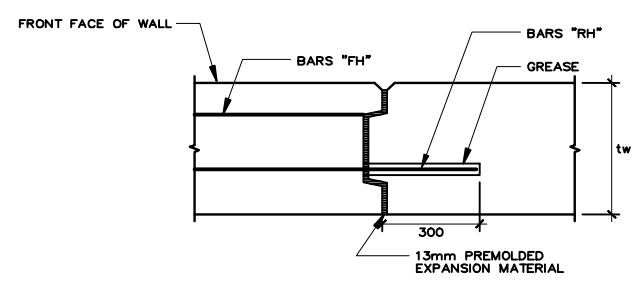


CONSTRUCTION JOINT DETAIL

(SPACED AT 9 METER MAXIMUM)



DETAIL "A"



EXPANSION JOINT DETAIL

(EVERY FOURTH WALL JOINT)
(EXTEND THRU FOOTING)

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA–PR DIVISION
DATE :

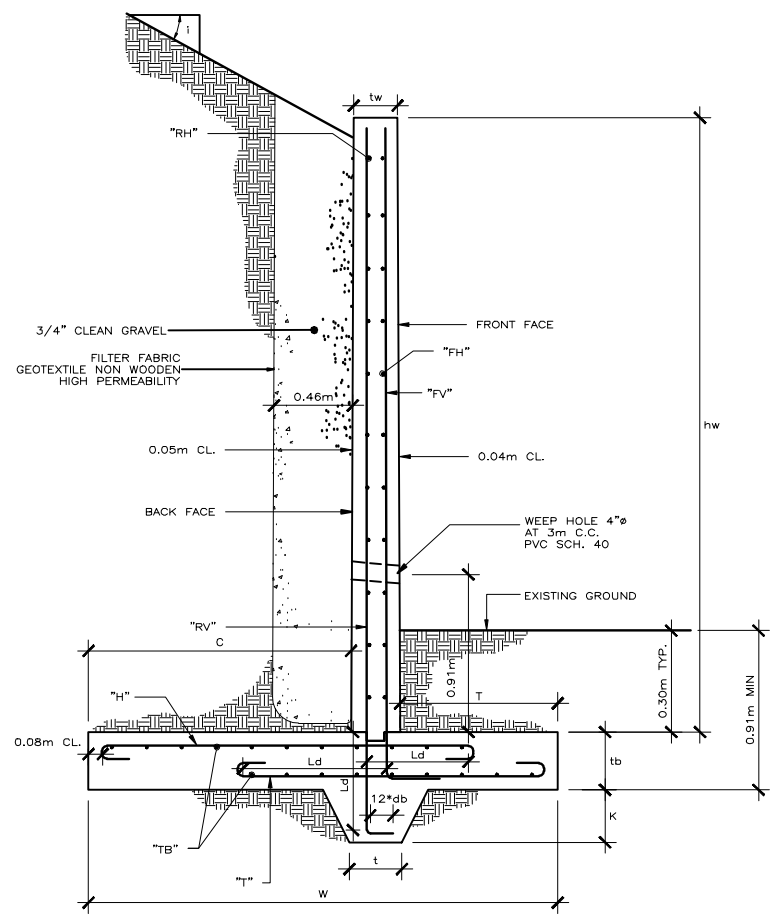
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

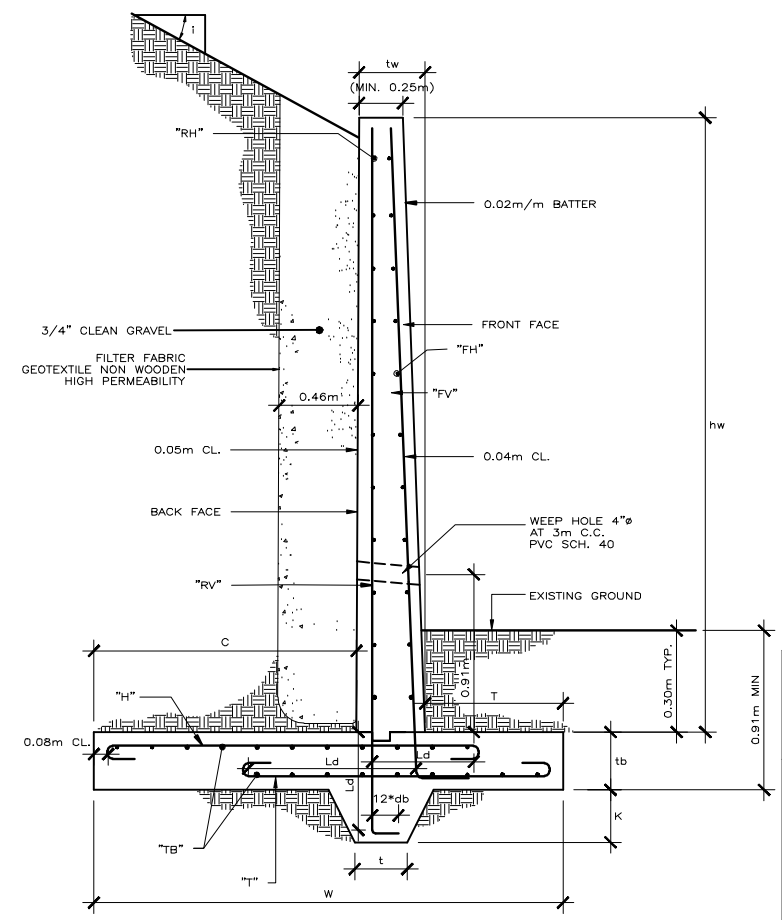
CONCRETE DIMENSIONS									SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY						REINFORCEMENT AREAS										
											Safety Factors					Stem						Base			
											Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Base Soil Pressure Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.46	0.99	1.65	0.30x0.15	0.75	672	172	7.07	2.70	6.28	1.99	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.56	1.09	1.85	0.30x0.15	0.87	773	221	5.80	2.71	5.09	1.94	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.66	1.19	2.06	0.30x0.15	0.98	872	276	4.91	2.74	4.26	1.92	4.67	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.76	1.24	2.21	0.30x0.15	1.08	996	341	4.39	2.80	3.75	1.89	6.46	# 4@0.18	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.81	1.37	2.39	0.30x0.15	1.18	1069	406	3.97	2.85	3.35	1.88	8.60	# 4@0.13	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.25	1	0.23	0.30	0.89	1.42	2.54	0.30x0.15	1.33	1190	491	3.66	2.95	3.05	1.87	9.20	# 4@0.13	0.30	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.50	1	0.23	0.30	0.99	1.47	2.69	0.30x0.23	1.46	1311	578	6.04	3.05	4.93	1.87	11.90	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.75	1	0.25	0.30	1.02	1.55	2.82	0.30x0.23	1.63	1436	645	5.57	3.07	4.49	1.84	12.72	# 6@0.20	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.28	0.30	1.09	1.60	2.97	0.30x0.23	1.81	1559	748	5.20	3.19	4.15	1.84	13.63	# 6@0.20	0.46	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.25	2	0.28	0.30	1.14	1.73	3.15	0.30x0.38	1.98	1632	776	10.78	3.21	8.43	1.83	16.92	# 8@0.28	0.61	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.50	2	0.30	0.32	1.22	1.78	3.30	0.30x0.37	2.23	1784	825	9.41	3.29	7.30	1.83	18.11	# 8@0.28	0.61	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
3.75	2	0.33	0.35	1.30	1.83	3.45	0.30x0.34	2.55	1954	883	7.62	3.39	5.89	1.84	19.40	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 4@0.13	0.30	9 #4
4.00	2	0.33	0.37	1.35	1.96	3.63	0.30x0.31	2.78	2042	894	6.34	3.44	4.87	1.84	23.25	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.28	0.46	10 #4
4.25	2	0.36	0.41	1.42	2.01	3.78	0.30x0.28	3.13	2213	949	5.17	3.53	3.96	1.85	24.65	# 8@0.20	0.61	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 6@0.25	0.46	12 #4
4.50	2	0.38	0.44	1.45	2.13	3.96	0.30x0.25	3.53	2306	960	4.21	3.60	3.22	1.86	26.16	# 8@0.18	0.61	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 6@0.23	0.46	13 #4
4.75	2	0.41	0.48	1.52	2.18	4.11	0.30x0.29	3.98	2483	1016	4.92	3.69	3.72	1.86	27.76	#10@0.28	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.28	0.46	# 6@0.20	0.46	15 #4
5.00	2	0.43	0.51	1.55	2.29	4.27	0.30x0.25	4.40	2616	1047	4.08	3.73	3.08	1.86	29.44	#10@0.25	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.28	0.46	# 6@0.20	0.46	16 #4
5.25	2	0.43	0.54	1.65	2.34	4.42	0.30x0.22	4.72	2786	1098	3.40	3.80	2.57	1.86	33.93	#10@0.23	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 6@0.18	0.46	9 #6
5.50	2	0.46	0.58	1.73	2.46	4.65	0.30x0.18	5.28	2931	1141	2.66	3.84	2.01	1.86	36.66	#10@0.20	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 6@0.15	0.46	10 #6
5.75	2	0.48	0.63	1.75	2.57	4.80	0.30x0.15	5.84	3073	1174	2.34	3.89	1.77	1.86	38.59	#10@0.20	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.28	0.61	11 #6
6.00	2	0.51	0.67	1.83	2.62	4.95	0.30x0.15	6.40	3252	1227	2.34	3.96	1.76	1.86	40.60	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	# 8@0.25	0.61	11 #6
6.25	2	0.53	0.71	1.85	2.74	5.13	0.30x0.15	7.03	3366	1252	2.32	4.00	1.74	1.87	42.90	#10@0.18	0.69	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
6.50	2	0.56	0.76	1.93	2.82	5.31	0.30x0.15	7.69	3523	1301	2.31	4.07	1.73	1.88	45.30	#10@0.18	0.69	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	# 8@0.23	0.61	14 #6
6.75	2	0.58	0.80	1.96	2.95	5.49	0.30x0.15	8.38	3636	1325	2.30	4.09	1.72	1.88	47.78	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
7.00	2	0.61	0.84	2.03	3.00	5.64	0.30x0.15	9.08	3838	1395	2.29	4.13	1.71	1.88	50.36	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	# 8@0.18	0.61	16 #6
7.25	2	0.64	0.91	2.11	3.17	5.87	0.30x0.15	10.02	3997	1441	2.28	4.17	1.70	1.88	54.11	#10@0.13	0.69	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#10@0.28	0.69	18 #6
7.50	2	0.66	1.05	2.13	3.78	6.05	0.30x0.15	11.33	3993	1315	2.36	4.35	1.74	1.94	56.89	#10@0.13	0.69	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#11@0.28	0.76	12 #8

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 115 lb/ft^3
Friction angle = 28°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = LEVEL

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

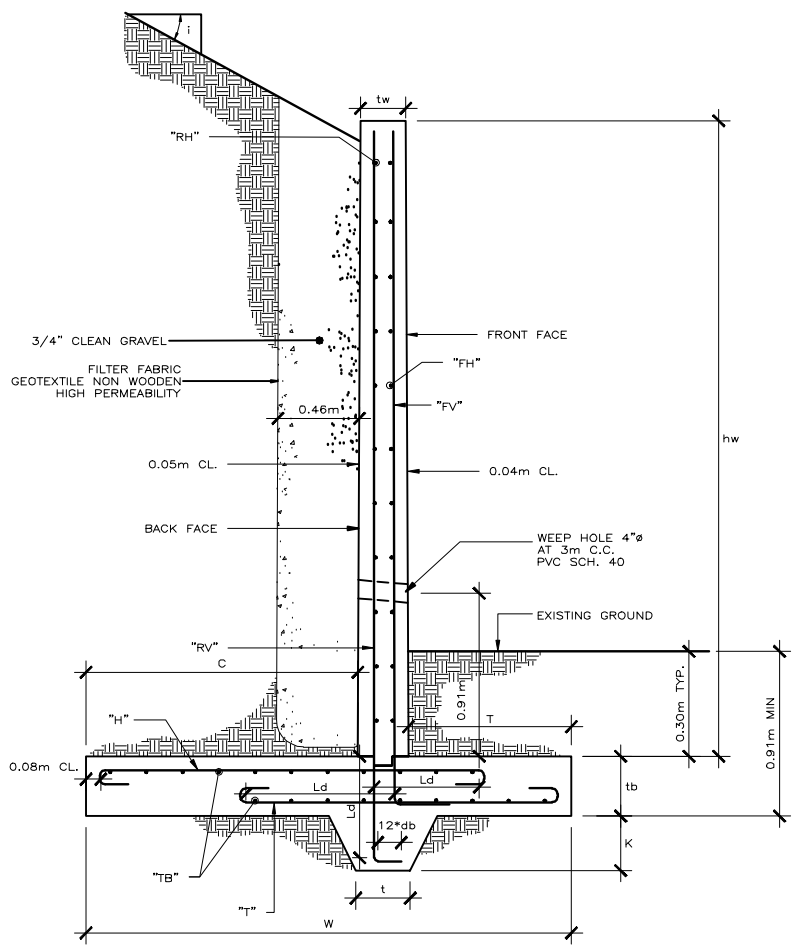
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

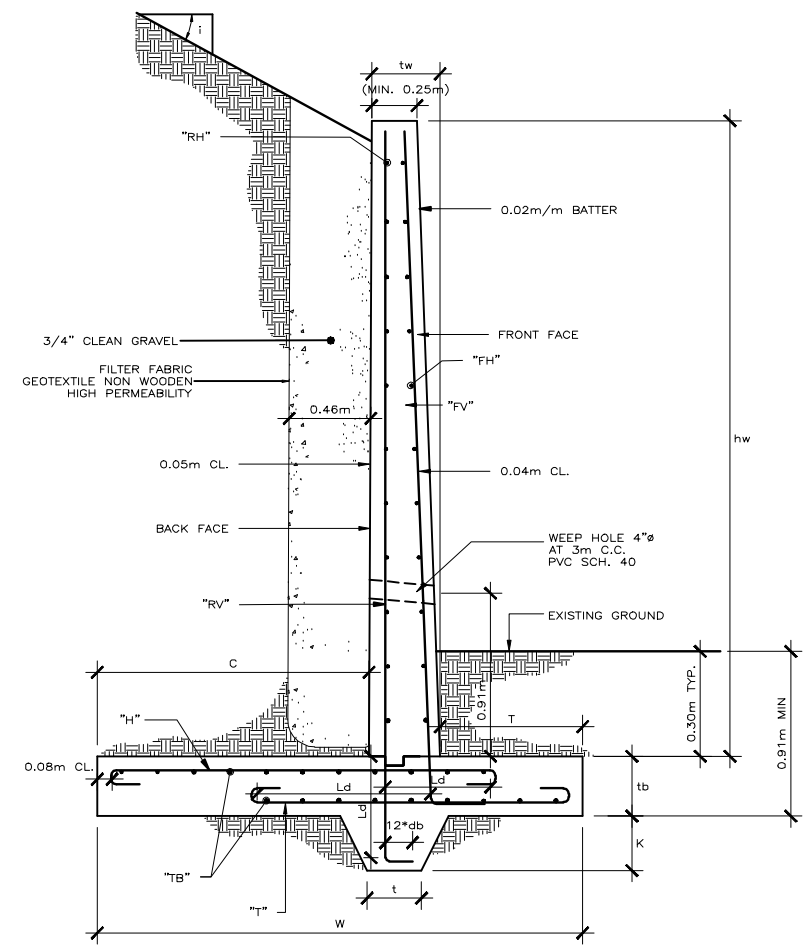
CONCRETE DIMENSIONS											SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS										
									Base Soil Pressure		Safety Factors						Stem					Base			
											Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.30	0.74	1.24	0.30x0.15	0.63	755	224	18.03	5.64	9.53	1.92	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.56	0.89	1.65	0.30x0.15	0.80	790	217	12.52	6.49	6.63	2.15	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.81	1.09	2.11	0.30x0.15	0.99	791	258	9.42	7.34	4.99	2.39	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	1.09	1.24	2.54	0.30x0.15	1.18	937	360	7.47	7.89	3.95	2.53	6.74	# 4@0.18	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.30	1.35	1.40	2.95	0.30x0.23	1.37	1077	446	10.84	8.20	5.71	2.61	10.25	# 6@0.25	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.25	1	0.20	0.30	1.60	1.55	3.35	0.30x0.23	1.55	1216	530	9.02	8.45	4.75	2.67	15.13	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
2.50	1	0.20	0.30	0.86	1.70	2.77	0.30x0.38	1.47	1319	249	19.21	5.00	10.13	1.78	17.88	# 8@0.28	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.75	1	0.20	0.30	0.91	1.90	3.02	0.30x0.38	1.60	1384	244	16.42	4.90	8.67	1.76	24.99	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.23	0.30	0.99	2.03	3.25	0.30x0.38	1.79	1508	257	14.19	4.86	7.50	1.74	26.22	# 8@0.18	0.61	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.25	2	0.23	0.33	1.09	2.18	3.51	0.30x0.43	2.03	1627	276	15.49	4.89	8.19	1.75	36.13	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	9 #4
3.50	2	0.25	0.37	1.17	2.34	3.76	0.30x0.39	2.39	1748	298	11.87	4.98	6.29	1.77	37.25	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.30	0.46	11 #4
3.75	2	0.28	0.41	1.24	2.49	4.01	0.30x0.35	2.81	1874	323	8.91	5.06	4.74	1.79	39.14	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.25	0.46	13 #4
4.00	2	0.30	0.45	1.27	2.67	4.24	0.30x0.31	3.23	1989	344	6.89	5.04	3.68	1.78	41.21	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	14 #4
4.25	2	0.33	0.50	1.35	2.82	4.50	0.30x0.26	3.74	2120	372	5.05	5.13	2.72	1.80	43.98	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	17 #4
4.50	2	0.33	0.55	1.45	2.97	4.75	0.30x0.21	4.17	2258	403	3.71	5.17	2.01	1.81	55.45	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	9 #6
4.75	2	0.36	0.60	1.52	3.10	4.98	0.30x0.16	4.74	2420	441	2.76	5.21	1.52	1.81	58.43	#10@0.13	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 8@0.28	0.61	11 #6
5.00	2	0.38	0.65	1.60	3.25	5.23	0.30x0.15	5.37	2551	470	2.62	5.27	1.44	1.83	61.82	#10@0.13	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 8@0.25	0.61	12 #6
5.25	2	0.41	0.70	1.63	3.45	5.49	0.30x0.15	6.05	2644	487	2.56	5.30	1.41	1.84	65.14	#11@0.15	0.76	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.28	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
5.50	2	0.43	0.78	1.75	3.61	5.79	0.30x0.15	6.94	2866	554	2.51	5.31	1.39	1.84	72.01	#11@0.13	0.76	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
5.75	2	0.46	0.84	1.78	3.81	6.05	0.30x0.15	7.74	2964	574	2.47	5.34	1.37	1.85	75.93	#11@0.13	0.76	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.20	0.61	17 #6
6.00	2	0.48	0.90	1.85	3.94	6.27	0.30x0.15	8.60	3136	618	2.45	5.37	1.36	1.85	80.57	#11@0.10	0.76	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	#10@0.28	0.69	19 #6
6.25	2	0.51	0.97	1.93	4.09	6.53	0.30x0.15	9.56	3282	656	2.44	5.44	1.35	1.86	85.49	#11@0.10	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	#10@0.25	0.69	12 #8
6.50	2	0.53	1.04	2.01	4.22	6.76	0.30x0.15	10.51	3455	700	2.43	5.47	1.35	1.87	90.67	#11@0.10	0.76	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	#11@0.28	0.76	13 #8
6.75	2	0.56	1.10	2.08	4.37	7.01	0.30x0.15	11.56	3601	738	2.42	5.53	1.34	1.88	96.12	#11@0.10	0.76	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	#11@0.25	0.76	15 #8
7.00	2	0.58	1.17	2.11	4.57	7.26	0.30x0.15	12.67	3708	764	2.41	5.56	1.34	1.89	101.35	#11@0.08	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	#11@0.23	0.76	16 #8
7.25	2	0.61	1.27	2.24	4.72	7.57	0.30x0.15	14.08	3946	841	2.40	5.57	1.33	1.89	110.74	#11@0.08	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#8@0.28	0.61	#11@0.23	0.76	18 #8
7.50	2	0.64	1.61	2.31	6.30	7.80	0.30x0.15	17.34	3999	685	2.66	6.07	1.46	2.00	117.09	#11@0.08	0.76	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#11@0.18	0.76	15 #10

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
- Unit Weight = 115 lb/ft^3
- Friction angle = 28°
- Friction coeficient = 0.40

Backfill Slope, i = 15°

Material Properties:
- f'c = 3 ksi
- fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

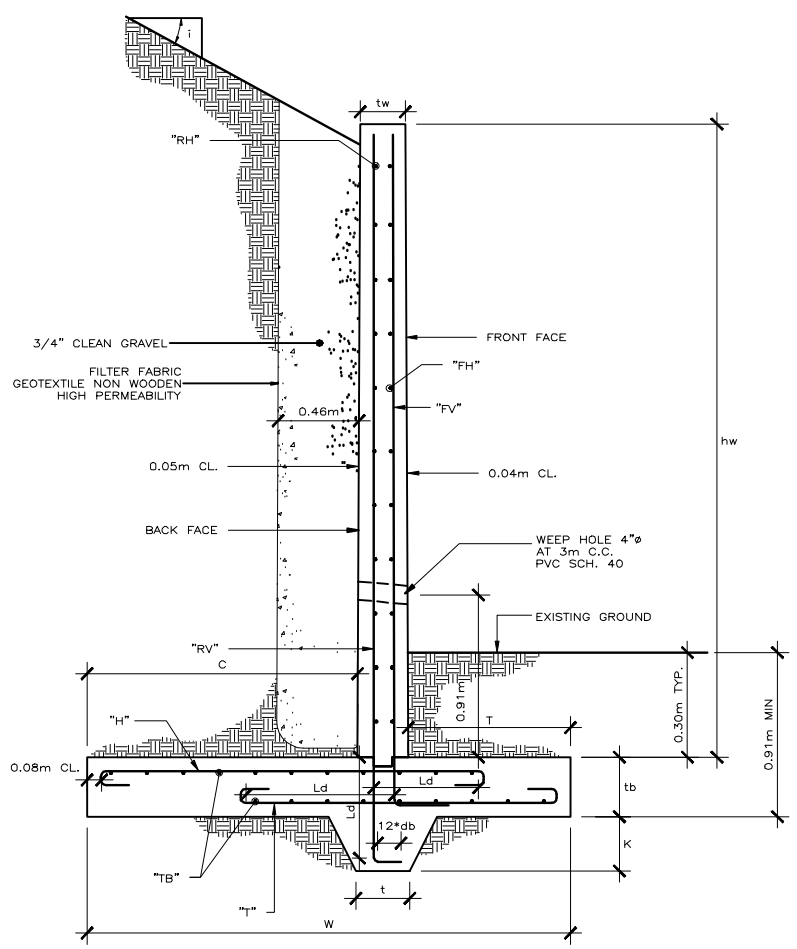
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

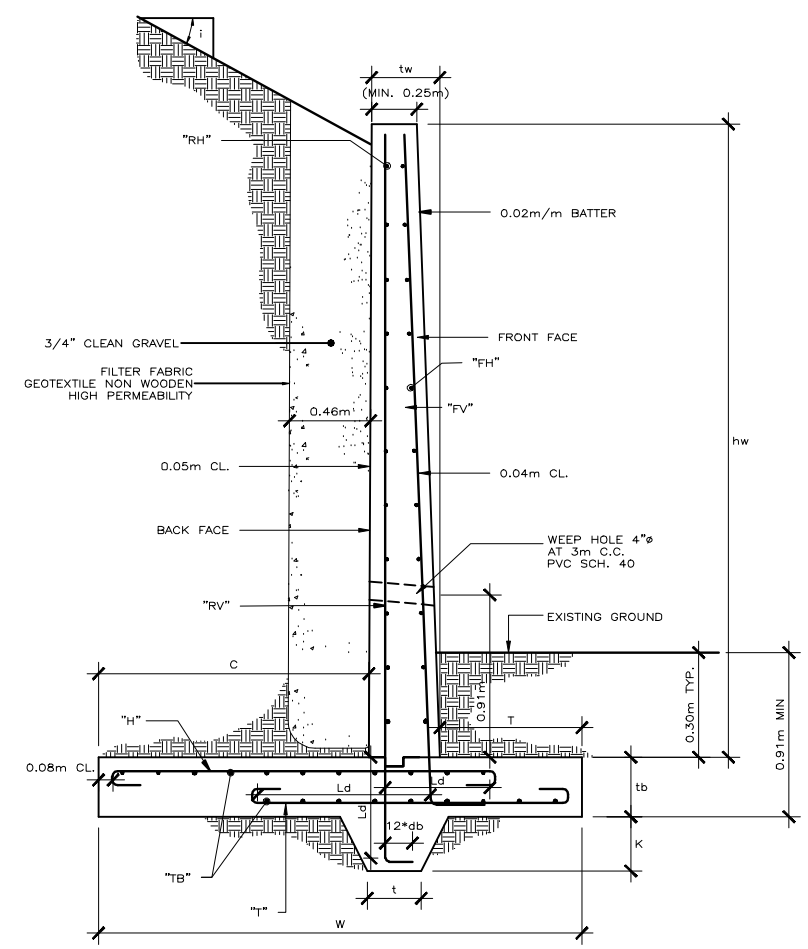
CONCRETE DIMENSIONS											SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS										
									Base Soil Pressure		Safety Factors					Stem						Base			
											Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.41	0.99	1.60	0.30x0.15	0.74	658	173	8.26	2.71	7.32	1.99	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.51	1.09	1.80	0.30x0.15	0.85	752	227	6.77	2.74	5.92	1.95	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.61	1.17	1.98	0.30x0.15	0.96	869	277	5.72	2.74	4.95	1.91	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.71	1.22	2.13	0.30x0.15	1.05	989	346	5.10	2.82	4.35	1.89	5.94	# 4@0.20	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.81	1.27	2.29	0.30x0.15	1.15	1108	425	4.63	2.91	3.90	1.88	7.89	# 4@0.15	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.25	1	0.20	0.30	0.86	1.37	2.44	0.30x0.23	1.27	1201	490	7.68	2.94	6.32	1.85	10.30	# 6@0.25	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.50	1	0.23	0.30	0.94	1.42	2.59	0.30x0.23	1.43	1319	587	7.04	3.07	5.72	1.86	10.95	# 6@0.25	0.46	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.75	1	0.25	0.30	0.97	1.52	2.74	0.30x0.23	1.60	1407	668	6.49	3.14	5.21	1.85	11.71	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.25	0.30	1.07	1.55	2.87	0.30x0.23	1.71	1557	755	6.05	3.22	4.80	1.84	14.57	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.25	2	0.28	0.30	1.09	1.65	3.02	0.30x0.23	1.90	1662	776	5.57	3.23	4.39	1.82	15.56	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.50	2	0.30	0.31	1.17	1.70	3.17	0.30x0.22	2.12	1807	818	5.01	3.32	3.92	1.82	16.66	# 6@0.15	0.46	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
3.75	2	0.30	0.34	1.22	1.83	3.35	0.30x0.35	2.38	1889	825	9.37	3.39	7.19	1.83	20.16	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	9 #4
4.00	2	0.33	0.37	1.30	1.88	3.51	0.30x0.32	2.71	2054	876	7.61	3.50	5.82	1.84	21.35	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.30	0.46	10 #4
4.25	2	0.36	0.40	1.32	1.98	3.66	0.30x0.29	3.06	2182	906	6.18	3.55	4.70	1.84	22.65	# 8@0.20	0.61	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 6@0.25	0.46	11 #4
4.50	2	0.38	0.43	1.40	2.03	3.81	0.30x0.25	3.44	2349	956	5.04	3.65	3.83	1.85	24.04	# 8@0.20	0.61	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 6@0.23	0.46	12 #4
4.75	2	0.38	0.46	1.45	2.13	3.96	0.30x0.30	3.71	2467	979	6.18	3.68	4.64	1.84	28.07	#10@0.28	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 6@0.23	0.46	14 #4
5.00	2	0.41	0.50	1.52	2.18	4.11	0.30x0.27	4.15	2641	1030	5.00	3.78	3.75	1.85	29.57	#10@0.25	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.28	0.46	# 6@0.20	0.46	15 #4
5.25	2	0.43	0.53	1.55	2.31	4.29	0.30x0.23	4.60	2724	1032	4.15	3.85	3.11	1.86	31.16	#10@0.25	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 6@0.18	0.46	8 #6
5.50	2	0.46	0.57	1.63	2.41	4.50	0.30x0.19	5.14	2902	1091	3.23	3.88	2.43	1.85	33.66	#10@0.23	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.25	0.46	# 6@0.15	0.46	9 #6
5.75	2	0.46	0.61	1.68	2.51	4.65	0.30x0.15	5.51	3029	1116	2.65	3.92	2.00	1.85	38.37	#10@0.20	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.28	0.61	10 #6
6.00	2	0.48	0.65	1.75	2.57	4.80	0.30x0.15	6.05	3203	1164	2.64	4.01	1.99	1.86	40.18	#10@0.20	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.20	0.46	# 8@0.25	0.61	11 #6
6.25	2	0.51	0.69	1.78	2.69	4.98	0.30x0.15	6.67	3309	1184	2.62	4.05	1.97	1.86	42.28	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	# 8@0.23	0.61	12 #6
6.50	2	0.53	0.74	1.85	2.74	5.13	0.30x0.15	7.29	3504	1249	2.62	4.10	1.96	1.87	44.47	#10@0.18	0.69	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
6.75	2	0.56	0.77	1.88	2.87	5.31	0.30x0.15	7.93	3604	1266	2.59	4.14	1.93	1.87	46.76	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	# 8@0.20	0.61	14 #6
7.00	2	0.58	0.82	1.96	2.92	5.46	0.30x0.15	8.61	3800	1331	2.59	4.18	1.93	1.87	49.13	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
7.25	2	0.61	0.88	2.03	3.05	5.69	0.30x0.15	9.45	3958	1384	2.56	4.21	1.90	1.87	52.65	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.15	0.46	# 8@0.18	0.61	17 #6
7.50	2	0.64	1.01	2.06	3.61	5.84	0.30x0.15	10.71	3998	1281	2.66	4.37	1.95	1.92	55.22	#10@0.13	0.69	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#11@0.28	0.76	11 #8

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 115 lb/ft^3
Friction angle = 30°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = LEVEL

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

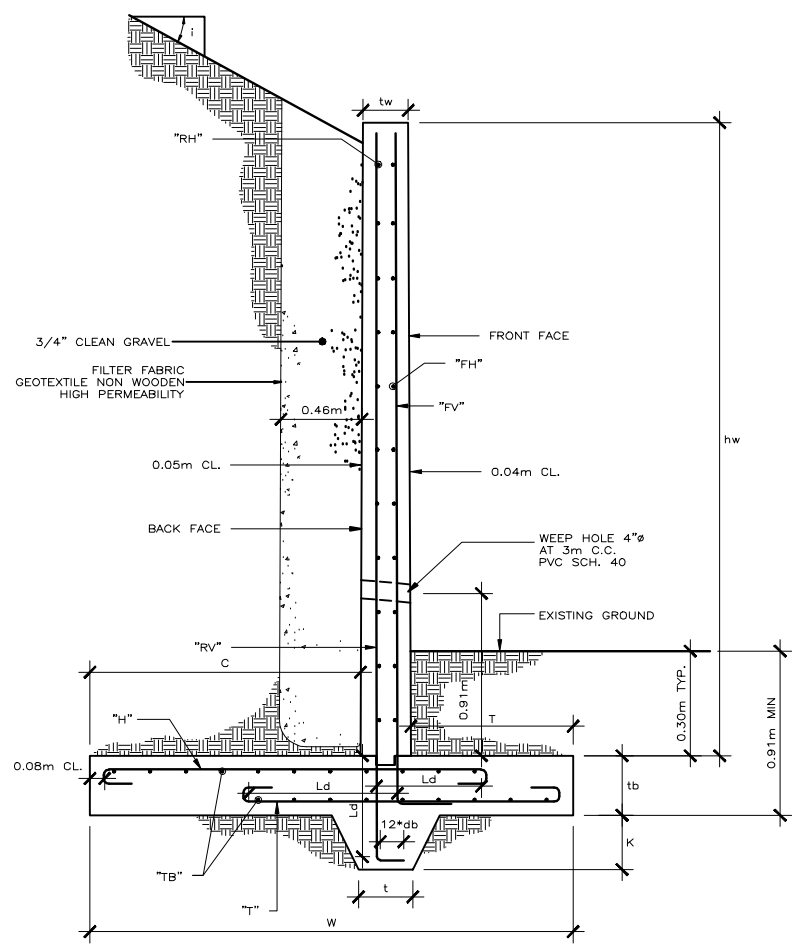
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

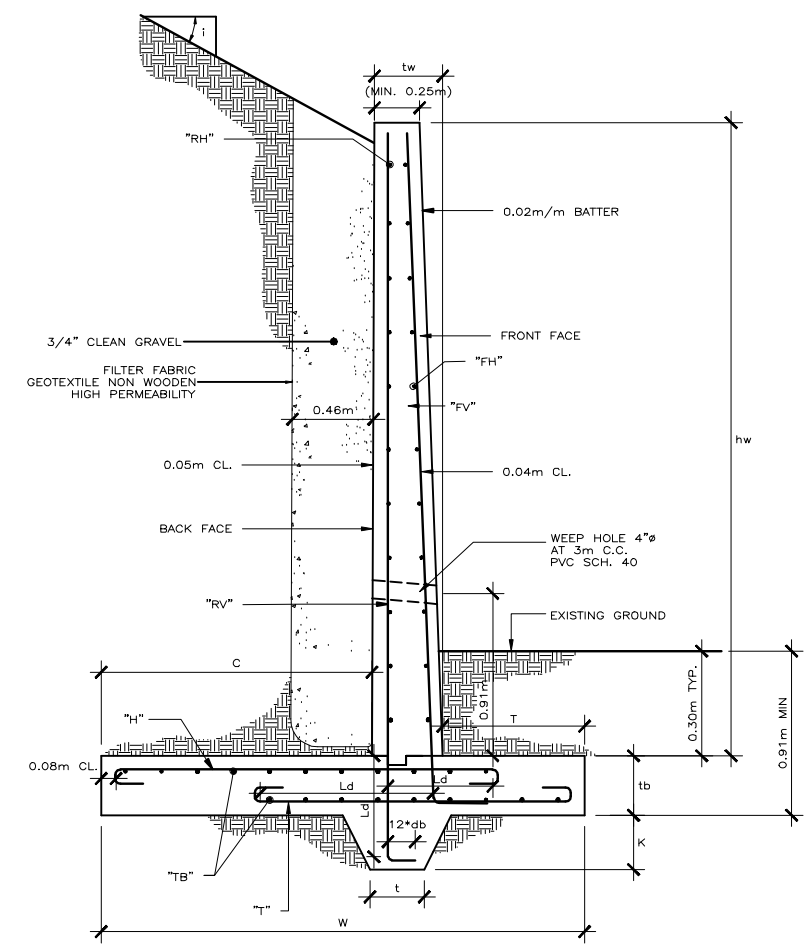
CONCRETE DIMENSIONS											SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS										
											Safety Factors				Stem							Base			
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Base Soil Pressure Toe (psf)	Base Soil Pressure Heel (psf)	Static Sliding	Static Overturning	Earthquake Sliding	Earthquake Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.25	0.69	1.14	0.30x0.15	0.60	748	231	21.80	5.40	12.14	1.92	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	3 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.38	0.81	1.40	0.30x0.15	0.73	848	242	15.43	5.40	8.62	1.92	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.63	0.94	1.78	0.30x0.15	0.89	893	240	11.43	6.17	6.39	2.13	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.86	1.09	2.16	0.30x0.15	1.06	930	255	9.02	6.72	5.04	2.29	5.43	# 4@0.23	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.30	1.09	1.27	2.57	0.30x0.15	1.23	1023	369	7.43	7.25	4.15	2.44	8.21	# 4@0.15	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.25	1	0.20	0.30	1.32	1.40	2.92	0.30x0.23	1.42	1160	446	10.97	7.50	6.10	2.50	12.00	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.50	1	0.20	0.30	1.55	1.52	3.28	0.30x0.38	1.62	1297	521	20.95	7.70	11.60	2.55	17.17	# 8@0.28	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
2.75	1	0.20	0.30	0.86	1.70	2.77	0.30x0.38	1.52	1423	283	19.67	4.73	10.95	1.76	20.30	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.20	0.30	0.97	1.83	3.00	0.30x0.46	1.66	1537	296	23.31	4.70	12.96	1.75	28.36	#10@0.28	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.25	2	0.23	0.31	1.04	1.96	3.23	0.30x0.45	1.88	1648	309	19.87	4.72	11.06	1.76	28.82	#10@0.28	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
3.50	2	0.25	0.34	1.07	2.13	3.45	0.30x0.42	2.20	1737	320	15.69	4.73	8.75	1.76	29.83	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	9 #4
3.75	2	0.28	0.38	1.14	2.26	3.68	0.30x0.38	2.57	1872	349	12.09	4.81	6.76	1.78	31.58	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.28	0.46	11 #4
4.00	2	0.28	0.43	1.24	2.39	3.91	0.30x0.34	2.88	2019	384	9.08	4.86	5.10	1.78	40.48	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	13 #4
4.25	2	0.30	0.46	1.32	2.51	4.14	0.30x0.30	3.31	2155	412	7.05	4.91	3.98	1.80	42.33	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	14 #4
4.50	2	0.33	0.51	1.35	2.67	4.34	0.30x0.25	3.77	2287	442	5.34	4.90	3.04	1.79	44.29	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	16 #4
4.75	2	0.36	0.56	1.42	2.79	4.57	0.30x0.20	4.31	2433	477	3.95	4.96	2.27	1.80	46.89	#10@0.15	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	9 #6
5.00	2	0.38	0.60	1.50	2.92	4.80	0.30x0.16	4.85	2573	509	3.05	5.02	1.77	1.82	49.77	#10@0.15	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 8@0.28	0.61	10 #6
5.25	2	0.41	0.65	1.52	3.10	5.03	0.30x0.15	5.47	2676	529	2.89	5.04	1.68	1.82	52.58	#10@0.15	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#4@0.13	0.30	# 8@0.25	0.61	11 #6
5.50	2	0.41	0.72	1.68	3.25	5.33	0.30x0.15	6.11	2873	589	2.80	5.05	1.63	1.83	65.67	#11@0.15	0.76	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
5.75	2	0.43	0.77	1.70	3.43	5.56	0.30x0.15	6.84	2981	613	2.76	5.08	1.61	1.83	68.69	#11@0.13	0.76	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
6.00	2	0.46	0.83	1.78	3.53	5.77	0.30x0.15	7.59	3166	663	2.73	5.10	1.60	1.83	72.38	#11@0.13	0.76	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.20	0.61	16 #6
6.25	2	0.48	0.89	1.85	3.66	5.99	0.30x0.15	8.39	3317	701	2.71	5.15	1.59	1.84	76.33	#11@0.13	0.76	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.20	0.46	# 8@0.18	0.61	18 #6
6.50	2	0.51	0.95	1.88	3.84	6.22	0.30x0.15	9.28	3430	728	2.69	5.18	1.57	1.85	80.11	#11@0.10	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	#10@0.28	0.69	11 #8
6.75	2	0.53	1.02	1.96	3.96	6.45	0.30x0.15	10.20	3586	769	2.68	5.23	1.57	1.86	84.51	#11@0.10	0.76	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	#11@0.28	0.76	13 #8
7.00	2	0.56	1.08	2.03	4.06	6.65	0.30x0.15	11.14	3778	822	2.67	5.25	1.56	1.86	89.14	#11@0.10	0.76	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	#11@0.25	0.76	14 #8
7.25	2	0.58	1.16	2.11	4.27	6.96	0.30x0.15	12.37	3939	874	2.64	5.26	1.55	1.87	96.42	#11@0.10	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	#11@0.25	0.76	15 #8
7.50	2	0.61	1.38	2.18	5.23	7.19	0.30x0.15	14.52	3999	771	2.81	5.58	1.63	1.94	101.54	#11@0.08	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#8@0.28	0.61	#11@0.20	0.76	18 #8

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 115 lb/ft^3
Friction angle = 30°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = 15°

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

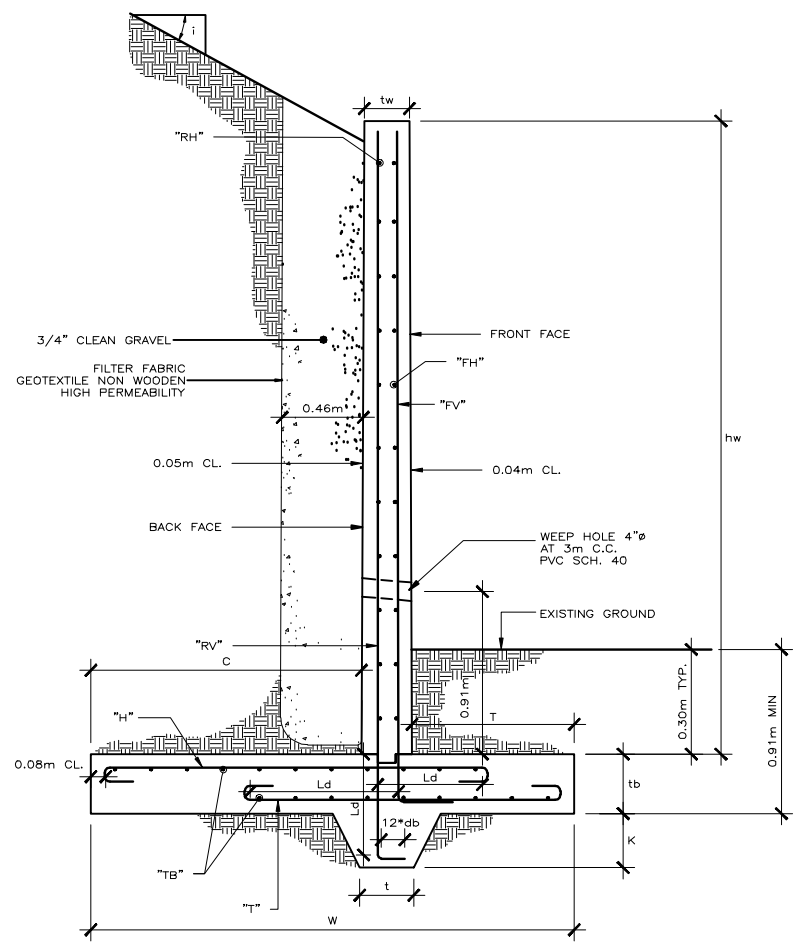
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

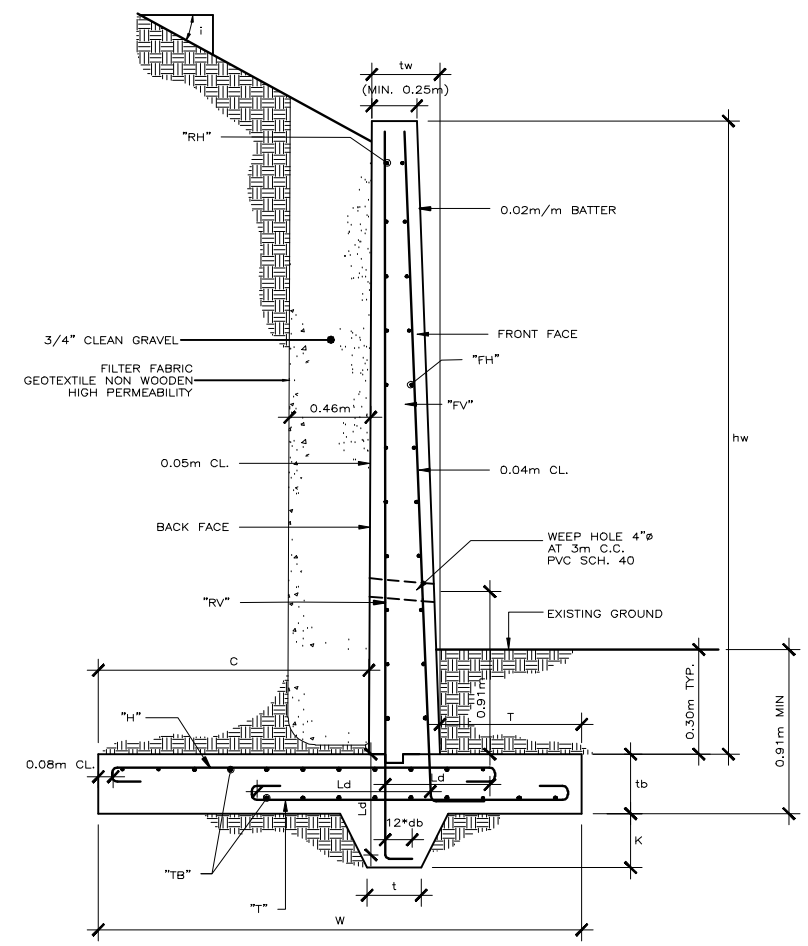
CONCRETE DIMENSIONS									SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY						REINFORCEMENT AREAS										
											Safety Factors					Stem						Base			
											Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Base Soil Pressure Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.30	0.81	1.32	0.30x0.15	0.65	735	189	19.84	6.22	9.42	1.93	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.46	1.02	1.68	0.30x0.15	0.81	775	174	14.00	6.53	6.66	2.02	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.76	1.17	2.13	0.30x0.15	1.00	832	209	10.25	7.35	4.89	2.22	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
1.75	1	0.20	0.30	1.04	1.35	2.59	0.30x0.15	1.19	941	317	8.06	7.93	3.84	2.36	7.58	# 4@0.15	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.00	1	0.20	0.30	1.32	1.52	3.05	0.30x0.23	1.41	1094	418	11.60	8.38	5.49	2.47	11.74	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.25	1	0.20	0.30	1.57	1.73	3.51	0.30x0.38	1.64	1237	516	21.71	8.73	10.23	2.56	17.57	# 8@0.28	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
2.50	1	0.20	0.30	0.81	1.90	2.92	0.30x0.38	1.51	1280	178	21.15	5.33	10.02	1.75	20.05	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.75	1	0.20	0.30	0.91	2.08	3.20	0.30x0.46	1.67	1370	175	24.74	5.31	11.70	1.75	28.90	#10@0.28	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.00	1	0.23	0.31	0.99	2.24	3.45	0.30x0.45	1.90	1482	180	20.84	5.31	9.88	1.74	30.07	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
3.25	2	0.23	0.34	1.04	2.46	3.73	0.30x0.42	2.15	1559	185	16.25	5.31	7.72	1.75	42.17	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	10 #4
3.50	2	0.25	0.39	1.12	2.62	3.99	0.30x0.37	2.55	1698	209	12.12	5.39	5.78	1.76	42.94	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.28	0.46	12 #4
3.75	2	0.28	0.43	1.19	2.77	4.24	0.30x0.33	2.98	1837	232	9.05	5.46	4.34	1.77	44.86	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	14 #4
4.00	2	0.30	0.48	1.27	2.92	4.50	0.30x0.28	3.47	1982	259	6.59	5.54	3.18	1.79	47.45	#10@0.15	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	16 #4
4.25	2	0.30	0.53	1.37	3.07	4.75	0.30x0.23	3.90	2136	289	4.79	5.57	2.34	1.79	62.71	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	9 #6
4.50	2	0.33	0.58	1.40	3.30	5.03	0.30x0.25	4.50	2215	300	5.17	5.62	2.52	1.81	64.45	#11@0.15	0.76	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.15	0.46	10 #6
4.75	2	0.36	0.64	1.47	3.45	5.28	0.30x0.20	5.14	2364	330	3.77	5.69	1.86	1.82	67.66	#11@0.13	0.76	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 8@0.25	0.61	12 #6
5.00	2	0.38	0.70	1.55	3.61	5.54	0.30x0.15	5.82	2514	360	2.97	5.75	1.48	1.83	71.42	#11@0.13	0.76	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 8@0.23	0.61	13 #6
5.25	2	0.41	0.76	1.63	3.76	5.79	0.30x0.15	6.59	2668	394	2.93	5.81	1.46	1.84	75.63	#11@0.13	0.76	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.28	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
5.50	2	0.43	0.84	1.70	3.99	6.12	0.30x0.15	7.55	2842	440	2.86	5.80	1.43	1.83	83.25	#11@0.10	0.76	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.20	0.61	17 #6
5.75	2	0.46	0.91	1.78	4.14	6.38	0.30x0.15	8.46	3001	476	2.84	5.86	1.42	1.85	88.26	#11@0.10	0.76	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	#10@0.28	0.69	19 #6
6.00	2	0.48	0.97	1.80	4.37	6.65	0.30x0.15	9.41	3090	493	2.81	5.91	1.41	1.86	92.95	#11@0.10	0.76	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	#10@0.25	0.69	12 #8
6.25	2	0.51	1.04	1.88	4.52	6.91	0.30x0.15	10.42	3249	529	2.80	5.97	1.40	1.87	98.66	#11@0.10	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	#11@0.28	0.76	14 #8
6.50	2	0.53	1.12	1.96	4.67	7.16	0.30x0.15	11.52	3413	569	2.79	6.02	1.40	1.88	104.71	#11@0.08	0.76	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	#11@0.25	0.76	15 #8
6.75	2	0.56	1.20	2.03	4.83	7.42	0.30x0.15	12.72	3582	611	2.79	6.09	1.40	1.89	111.11	#11@0.08	0.76	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	#11@0.23	0.76	17 #8
7.00	2	0.58	1.28	2.06	5.03	7.67	0.30x0.15	13.93	3709	642	2.79	6.11	1.40	1.89	117.09	#11@0.08	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	#11@0.23	0.76	18 #8
7.25	2	0.61	1.38	2.18	5.21	8.00	0.30x0.15	15.54	3945	712	2.78	6.15	1.40	1.90	128.62	#11@0.08	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.15	0.46	#11@0.20	0.76	21 #8
7.50	2	0.64	1.68	2.21	6.55	8.25	0.30x0.15	18.65	4000	614	3.03	6.57	1.50	1.99	135.35	#11@0.05	0.76	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#11@0.15	0.76	15 #11

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
- Unit Weight = 115 lb/ft^3
- Friction angle = 30°
- Friction coeficient = 0.40

Backfill Slope, i = 18°

Material Properties:
- f'c = 3 ksi
- fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY: _____
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE : _____

APPROVED BY: _____
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE : _____

APPROVED BY: _____
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE : _____

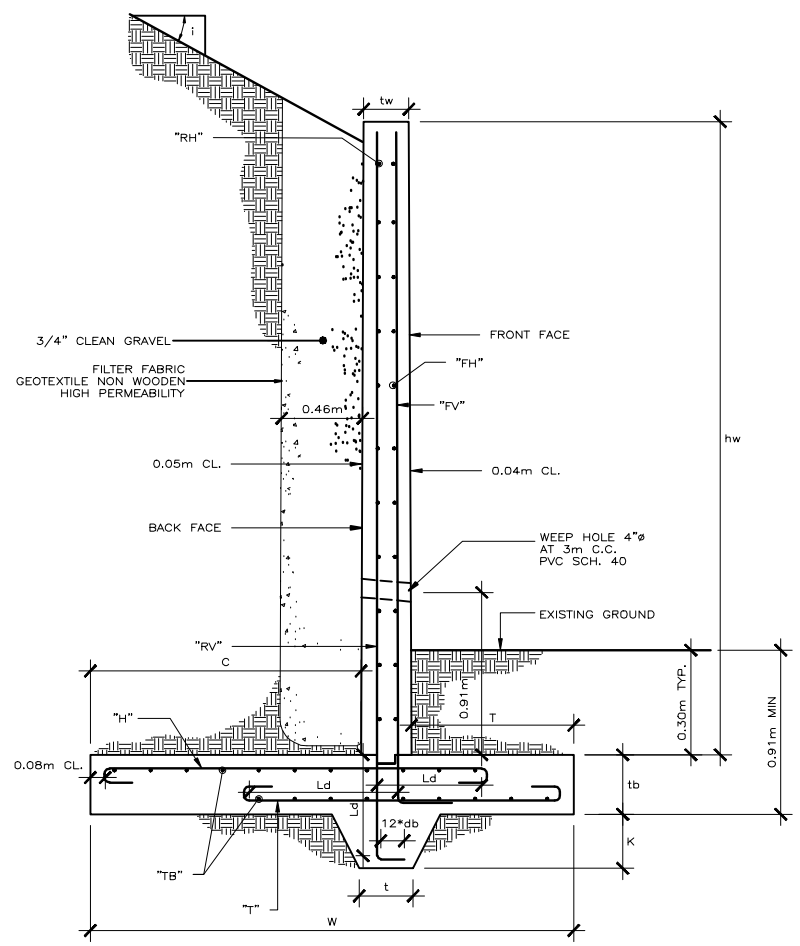
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

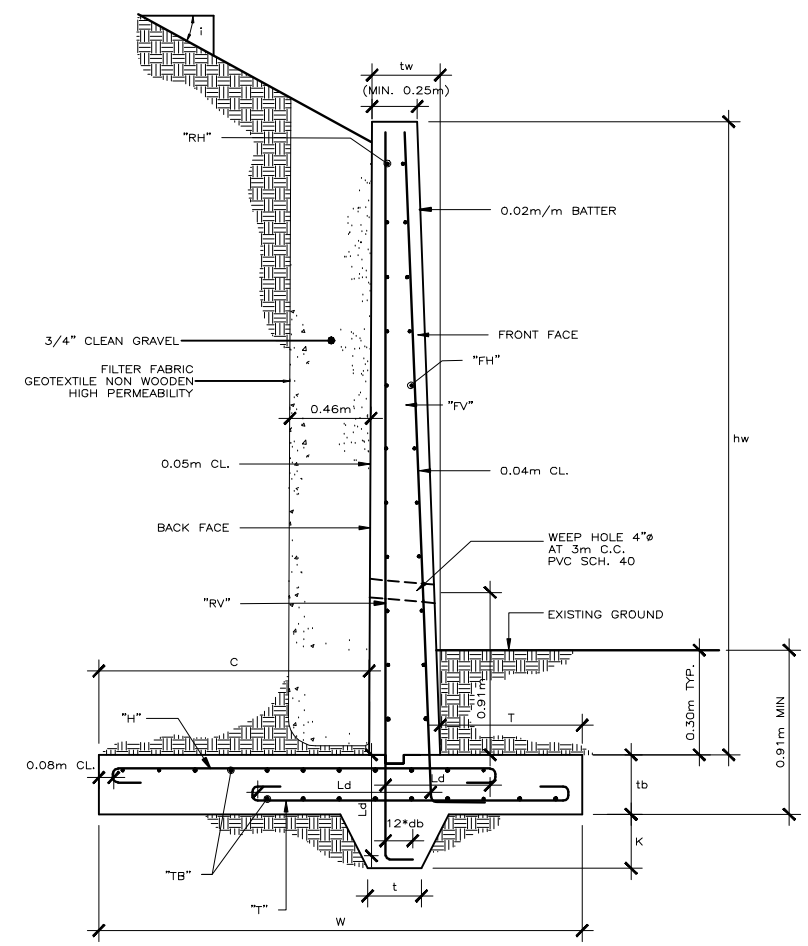
CONCRETE DIMENSIONS									SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY						REINFORCEMENT AREAS										
											Safety Factors				Stem						Base				
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Base Soil Pressure Toe (psf)	Base Soil Pressure Heel (psf)	Static Sliding	Static Overturning	Earthquake Sliding	Earthquake Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.38	1.17	0.89	2.26	NONE	1.06	539	393	1.64	8.20	1.34	4.51	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
1.25	1	0.20	0.38	1.35	0.97	2.51	NONE	1.21	639	455	1.62	8.04	1.32	4.30	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.56	1.04	1.80	0.30x0.15	0.90	888	305	8.49	2.85	7.29	1.91	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.61	1.14	1.96	0.30x0.15	1.00	976	366	7.53	2.89	6.37	1.88	4.80	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.71	1.19	2.11	0.30x0.15	1.10	1085	457	6.81	3.02	5.68	1.89	6.36	# 4@0.18	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.25	1	0.20	0.30	0.76	1.27	2.24	0.30x0.15	1.18	1197	521	6.21	3.04	5.12	1.85	8.34	# 4@0.15	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.50	1	0.20	0.33	1.75	1.30	3.25	0.30x0.20	1.64	1085	627	9.58	6.66	7.55	3.23	10.82	# 6@0.25	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
2.75	1	0.23	0.33	1.75	1.40	3.38	0.30x0.20	1.81	1181	658	8.90	6.54	6.91	3.11	11.24	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.13	0.30	# 4@0.18	0.30	9 #4
3.00	1	0.25	0.33	1.75	1.47	3.48	0.30x0.20	1.97	1273	673	8.33	6.38	6.37	2.97	11.80	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.13	0.30	# 4@0.18	0.30	9 #4
3.25	2	0.25	0.36	1.85	1.50	3.61	0.30x0.18	2.16	1379	686	6.67	6.34	5.06	2.88	14.65	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#6@0.28	0.46	# 4@0.18	0.30	10 #4
3.50	2	0.28	0.38	1.90	1.60	3.78	0.30x0.15	2.47	1495	732	5.42	6.41	4.08	2.86	15.42	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#6@0.25	0.46	# 4@0.18	0.30	11 #4
3.75	2	0.28	0.41	1.98	1.70	3.96	0.30x0.28	2.74	1609	776	10.84	6.48	8.06	2.83	18.69	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#6@0.23	0.46	# 4@0.18	0.30	12 #4
4.00	2	0.30	0.32	2.01	1.75	4.06	0.30x0.37	2.62	1651	753	14.69	6.12	10.83	2.70	19.52	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#6@0.23	0.46	# 4@0.15	0.30	10 #4
4.25	2	0.33	0.34	2.06	1.83	4.22	0.30x0.34	2.95	1764	780	12.41	6.16	9.08	2.67	20.49	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#6@0.23	0.46	# 4@0.15	0.30	11 #4
4.50	2	0.33	0.37	2.13	1.93	4.39	0.30x0.32	3.20	1879	824	10.52	6.23	7.64	2.66	24.12	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#6@0.20	0.46	# 6@0.30	0.46	12 #4
4.75	2	0.36	0.39	2.18	1.98	4.52	0.30x0.29	3.56	1989	832	8.94	6.22	6.46	2.61	25.15	# 8@0.18	0.61	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#6@0.20	0.46	# 6@0.28	0.46	13 #4
5.00	2	0.38	0.42	2.21	2.06	4.65	0.30x0.27	3.93	2094	840	7.63	6.18	5.48	2.56	26.29	# 8@0.18	0.61	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#6@0.18	0.46	# 6@0.25	0.46	15 #4
5.25	2	0.38	0.45	2.29	2.16	4.83	0.30x0.31	4.27	2214	885	8.99	6.26	6.41	2.56	30.33	#10@0.25	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#6@0.18	0.46	# 6@0.23	0.46	16 #4
5.50	2	0.41	0.48	2.26	2.26	4.93	0.30x0.28	4.70	2301	827	7.38	5.94	5.25	2.44	32.35	#10@0.23	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.18	0.46	# 6@0.20	0.46	18 #4
5.75	2	0.43	0.51	2.31	2.34	5.08	0.30x0.25	5.17	2430	851	6.25	6.00	4.43	2.43	33.67	#10@0.23	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.15	0.46	# 6@0.18	0.46	19 #4
6.00	2	0.46	0.55	2.36	2.44	5.26	0.30x0.22	5.68	2523	896	5.34	6.09	3.77	2.44	35.09	#10@0.23	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#8@0.28	0.61	# 6@0.18	0.46	10 #6
6.25	2	0.46	0.58	2.44	2.49	5.38	0.30x0.18	6.06	2698	887	4.44	6.05	3.14	2.40	39.84	#10@0.20	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#8@0.28	0.61	# 6@0.15	0.46	11 #6
6.50	2	0.48	0.62	2.51	2.59	5.59	0.30x0.15	6.63	2789	942	3.97	6.15	2.80	2.41	41.53	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#8@0.25	0.61	# 8@0.28	0.61	12 #6
6.75	2	0.51	0.65	2.57	2.69	5.77	0.30x0.15	7.25	2897	978	3.94	6.19	2.77	2.41	43.31	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#8@0.25	0.61	# 8@0.25	0.61	13 #6
7.00	2	0.53	0.76	2.64	2.74	5.92	NONE	8.24	3128	997	1.74	6.30	1.22	2.41	45.19	#10@0.18	0.69	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#8@0.23	0.61	# 8@0.23	0.61	14 #6
7.25	2	0.56	0.76	2.64	2.84	6.05	NONE	8.66	3291	999	1.70	6.02	1.20	2.33	48.12	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#8@0.23	0.61	# 8@0.23	0.61	15 #6
7.50	2	0.58	0.79	2.69	2.95	6.22	NONE	9.28	3388	1012	1.71	6.05	1.21	2.33	50.17	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#8@0.23	0.61	# 8@0.20	0.61	17 #6

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 115 lb/ft^3
Friction angle = 35°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = LEVEL

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

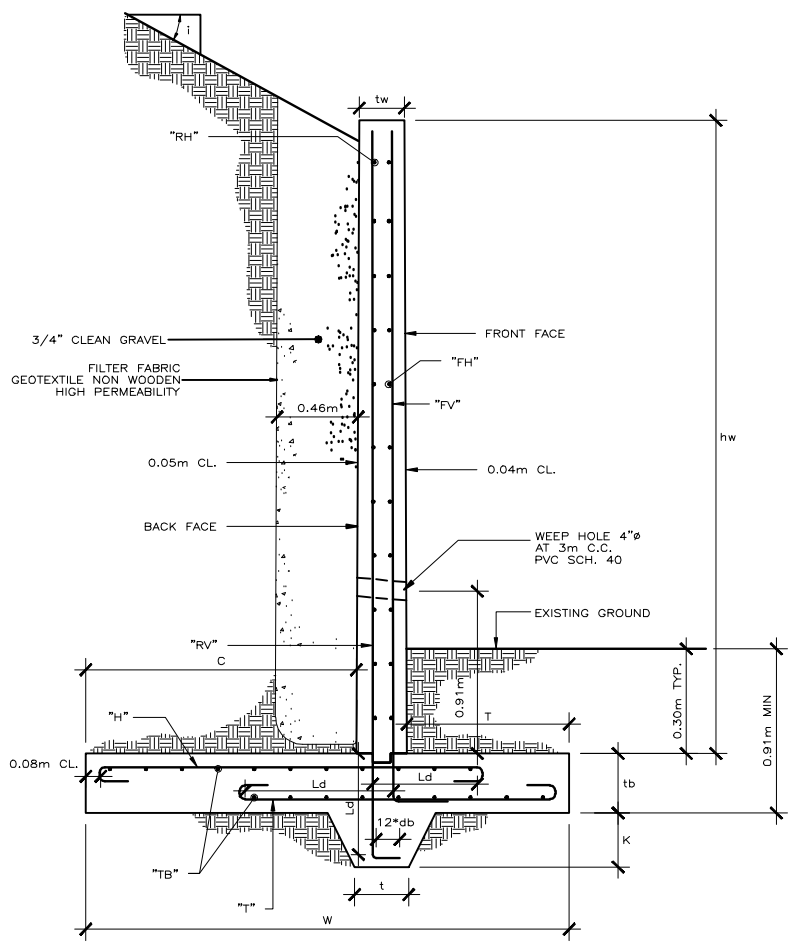
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

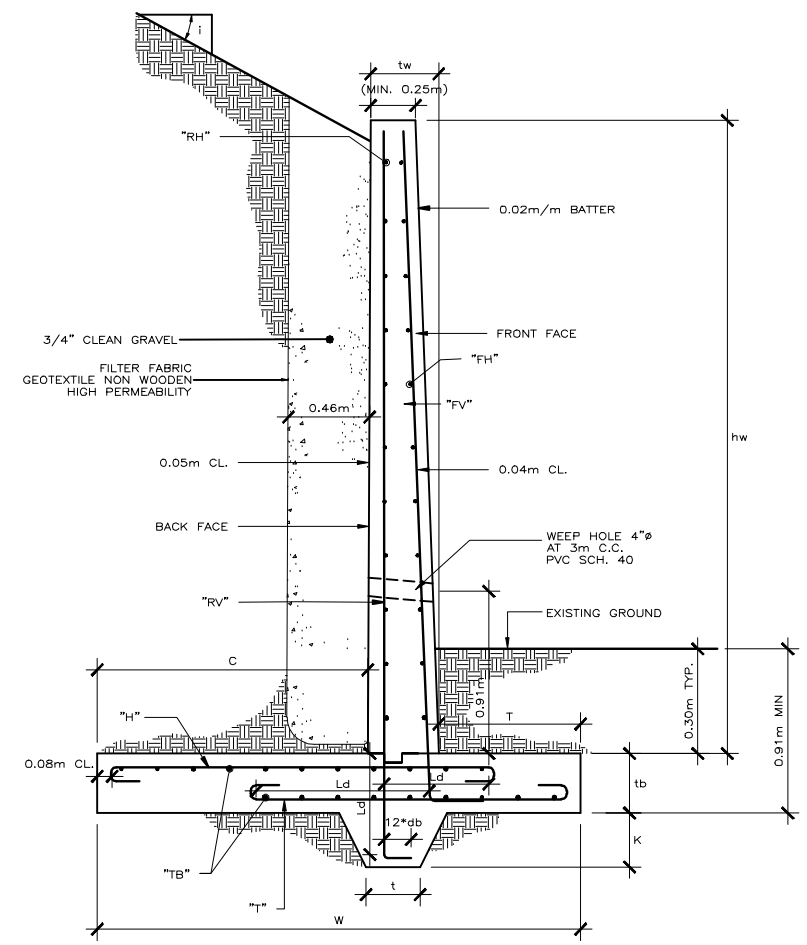
CONCRETE DIMENSIONS										SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS									
										Safety Factors				Stem						Base			
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Base Soil Pressure Toe (psf)	Base Soil Pressure Heel (psf)	Static Sliding	Static Overturning	Earthquake Sliding	Earthquake Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.38	0.20	0.58	0.99	NONE	0.58	826	271	2.27	5.87	1.27	1.99	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	3 #4
1.25	1	0.20	0.38	0.30	0.69	1.19	NONE	0.71	941	289	1.98	5.67	1.12	1.95	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.36	0.84	1.40	0.30x0.15	0.78	939	248	18.55	5.14	10.80	1.88	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.46	0.94	1.60	0.30x0.15	0.89	1056	265	14.56	5.09	8.51	1.86	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.61	1.07	1.88	0.30x0.15	1.03	1105	258	11.82	5.43	6.91	1.96	5.45	# 4@0.23	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.25	1	0.20	0.30	0.79	1.17	2.16	0.30x0.15	1.16	1184	264	9.87	5.74	5.77	2.04	7.86	# 4@0.15	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.50	1	0.20	0.30	0.94	1.32	2.46	0.30x0.23	1.33	1208	272	15.14	6.04	8.77	2.13	10.98	# 6@0.25	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.75	1	0.20	0.30	1.12	1.42	2.74	0.30x0.23	1.46	1294	338	12.96	6.25	7.50	2.18	15.13	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.20	0.30	1.27	1.57	3.05	0.30x0.38	1.65	1397	423	25.60	6.48	14.74	2.24	20.57	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.25	2	0.20	0.30	1.45	1.68	3.33	0.30x0.46	1.81	1530	485	30.43	6.63	17.51	2.28	28.30	#10@0.28	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.50	2	0.23	0.32	1.55	1.80	3.58	0.30x0.44	2.07	1650	539	25.69	6.71	14.78	2.30	28.15	#10@0.28	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	9 #4
3.75	2	0.25	0.35	1.68	1.90	3.84	0.30x0.41	2.42	1789	595	20.40	6.85	11.74	2.32	28.99	#10@0.28	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.13	0.30	10 #4
4.00	2	0.25	0.39	1.83	2.06	4.14	0.30x0.37	2.73	1930	683	15.88	7.07	9.14	2.38	37.42	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.13	0.30	# 6@0.28	0.46	12 #4
4.25	2	0.28	0.43	1.96	2.13	4.37	0.30x0.34	3.15	2070	720	12.45	7.13	7.18	2.38	38.23	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#6@0.28	0.46	# 6@0.23	0.46	14 #4
4.50	2	0.30	0.46	2.06	2.29	4.65	0.30x0.30	3.62	2204	797	9.85	7.28	5.68	2.42	39.49	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#6@0.25	0.46	# 6@0.20	0.46	16 #4
4.75	2	0.33	0.49	1.24	2.36	3.94	0.30x0.27	3.58	2441	473	8.25	4.83	4.87	1.78	36.79	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	14 #4
5.00	2	0.33	0.53	1.35	2.46	4.14	0.30x0.23	3.93	2594	510	6.26	4.89	3.72	1.79	44.67	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	8 #6
5.25	2	0.36	0.57	1.37	2.62	4.34	0.30x0.19	4.41	2685	523	4.94	4.91	2.96	1.80	46.15	#10@0.15	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 6@0.15	0.46	9 #6
5.50	2	0.38	0.62	1.45	2.77	4.60	0.30x0.15	5.00	2849	569	3.89	4.90	2.37	1.80	49.75	#10@0.15	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#6@0.25	0.46	# 8@0.28	0.61	10 #6
5.75	2	0.41	0.67	1.47	2.90	4.78	0.30x0.15	5.57	2987	600	3.81	4.89	2.32	1.79	51.75	#10@0.15	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.25	0.61	11 #6
6.00	2	0.43	0.72	1.55	3.00	4.98	0.30x0.15	6.21	3139	637	3.77	4.96	2.29	1.81	54.25	#10@0.13	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.23	0.61	12 #6
6.25	2	0.46	0.77	1.63	3.07	5.16	0.30x0.15	6.87	3333	689	3.72	5.00	2.27	1.81	56.94	#10@0.13	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.25	0.46	# 8@0.20	0.61	14 #6
6.50	2	0.46	0.83	1.68	3.23	5.36	0.30x0.15	7.44	3446	714	3.68	5.01	2.24	1.81	65.82	#11@0.15	0.76	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
6.75	2	0.48	0.87	1.75	3.33	5.56	0.30x0.15	8.14	3593	748	3.63	5.06	2.22	1.83	68.71	#11@0.13	0.76	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.20	0.46	# 8@0.18	0.61	16 #6
7.00	2	0.51	0.93	1.78	3.45	5.74	0.30x0.15	8.96	3747	788	3.61	5.07	2.21	1.82	71.47	#11@0.13	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	#10@0.28	0.69	10 #8
7.25	2	0.53	1.00	1.85	3.61	5.99	0.30x0.15	9.93	3926	844	3.56	5.07	2.18	1.83	76.58	#11@0.13	0.76	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	#11@0.28	0.76	12 #8
7.50	2	0.56	1.14	1.93	4.19	6.20	0.30x0.15	11.32	3999	769	3.69	5.29	2.24	1.88	80.03	#11@0.10	0.76	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	#11@0.25	0.76	14 #8

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 115 lb/ft^3
Friction angle = 35°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = 15°

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

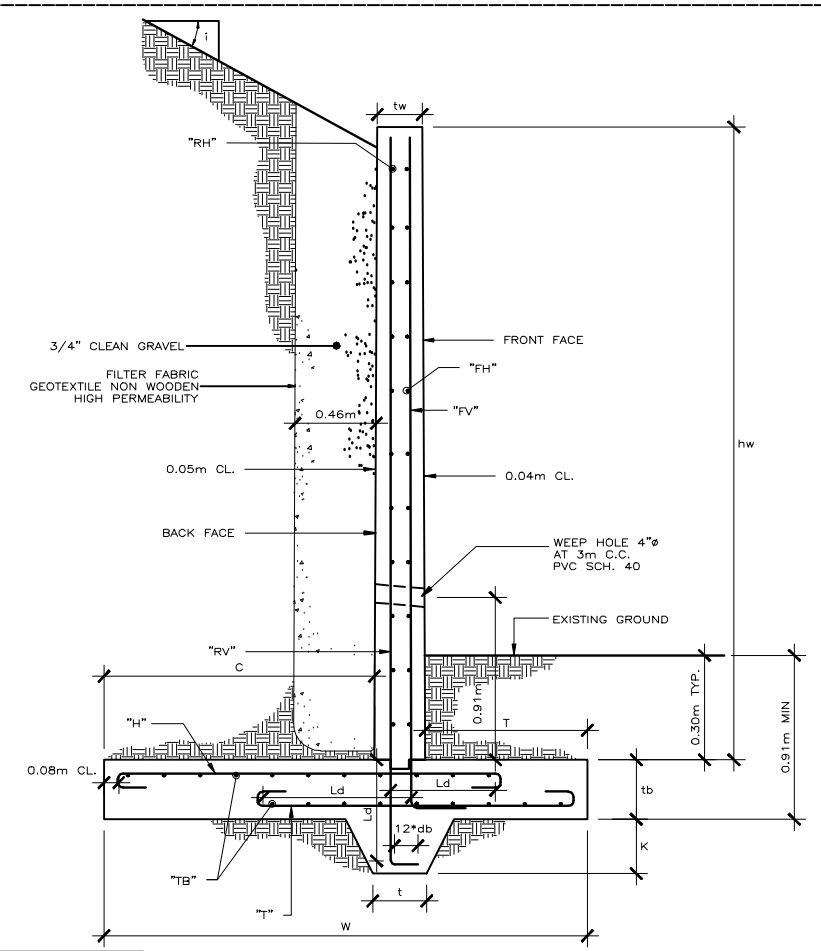
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

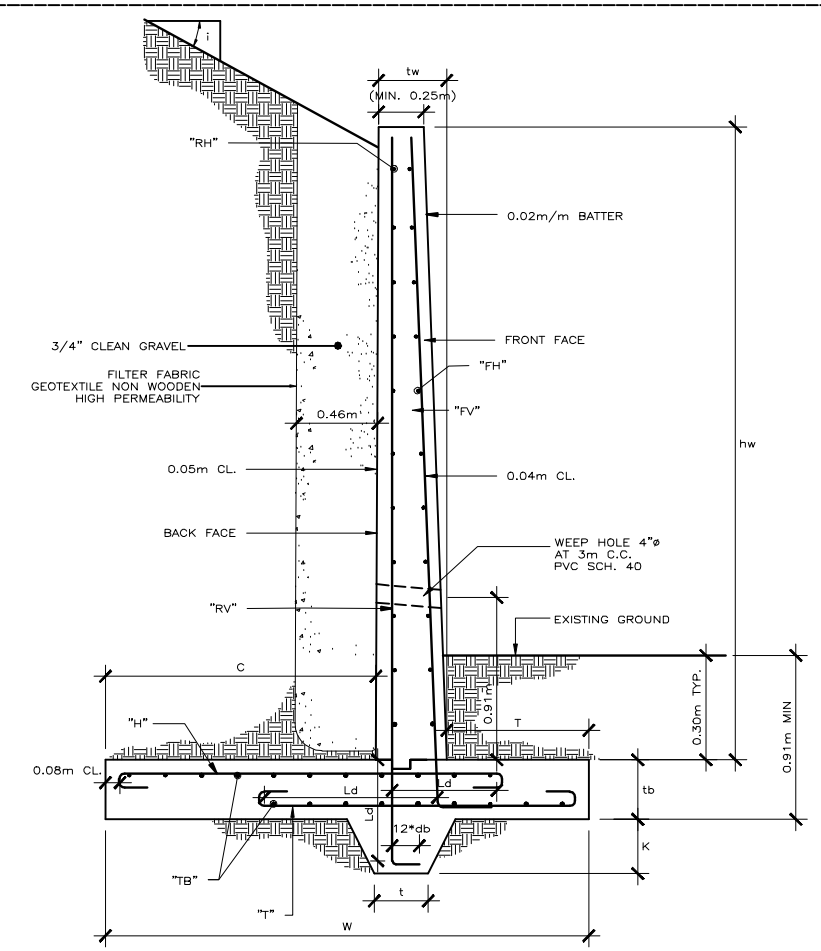
CONCRETE DIMENSIONS										SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS										
									Base Soil Pressure	Safety Factors					Stem					Base				
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Toe (psf)	Heel (psf)	Static: Sliding	Static: Overturning	Earthquake: Sliding	Earthquake: Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.25	0.81	1.27	0.30x0.15	0.64	741	167	28.03	6.52	12.25	1.89	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.36	0.97	1.52	0.30x0.15	0.76	863	169	19.78	6.22	8.69	1.83	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.43	1.17	1.80	0.30x0.15	0.90	931	158	15.03	6.11	6.63	1.82	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.71	1.35	2.26	0.30x0.15	1.09	973	155	11.38	6.91	5.02	2.01	6.78	# 4@0.18	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.97	1.55	2.72	0.30x0.23	1.30	1025	274	16.43	7.50	7.17	2.14	10.64	# 6@0.25	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.25	1	0.20	0.30	1.22	1.73	3.15	0.30x0.23	1.49	1183	370	13.34	7.87	5.82	2.23	16.16	# 6@0.15	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
2.50	1	0.20	0.30	1.45	1.88	3.53	0.30x0.38	1.70	1331	435	25.21	8.01	10.94	2.25	24.11	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	9 #4
2.75	1	0.20	0.32	1.70	2.11	4.01	0.30x0.44	1.97	1492	556	27.57	8.46	11.94	2.36	37.86	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	10 #4
3.00	1	0.20	0.31	0.91	2.29	3.40	0.30x0.45	1.81	1471	123	28.84	5.57	12.57	1.72	41.16	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
3.25	2	0.23	0.35	0.99	2.41	3.63	0.30x0.41	2.14	1635	145	21.86	5.61	9.56	1.72	39.93	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.13	0.30	10 #4
3.50	2	0.25	0.39	1.02	2.62	3.89	0.30x0.37	2.51	1729	154	16.78	5.65	7.37	1.73	40.31	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.28	0.46	11 #4
3.75	2	0.25	0.43	1.12	2.79	4.17	0.30x0.33	2.85	1852	169	12.43	5.74	5.49	1.75	57.50	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	14 #4
4.00	2	0.28	0.48	1.14	3.00	4.42	0.30x0.29	3.31	1951	181	9.32	5.78	4.15	1.76	56.32	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	16 #4
4.25	2	0.30	0.53	1.22	3.15	4.67	0.30x0.23	3.86	2099	205	6.57	5.88	2.96	1.78	58.03	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	9 #6
4.50	2	0.33	0.59	1.30	3.30	4.93	0.30x0.17	4.45	2248	230	4.66	5.97	2.14	1.79	60.66	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 8@0.30	0.61	10 #6
4.75	2	0.33	0.65	1.35	3.51	5.18	0.30x0.19	4.98	2368	252	4.97	5.98	2.28	1.79	80.01	#11@0.10	0.76	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 8@0.25	0.61	12 #6
5.00	2	0.36	0.71	1.42	3.66	5.44	0.30x0.15	5.69	2522	279	4.03	6.07	1.87	1.81	81.88	#11@0.10	0.76	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 8@0.23	0.61	13 #6
5.25	2	0.38	0.77	1.50	3.81	5.69	0.30x0.15	6.42	2671	304	3.96	6.13	1.84	1.82	84.92	#11@0.10	0.76	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 8@0.20	0.61	15 #6
5.50	2	0.41	0.84	1.57	4.04	6.02	0.30x0.15	7.37	2844	344	3.86	6.14	1.80	1.82	92.60	#11@0.10	0.76	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.18	0.61	17 #6
5.75	2	0.43	0.91	1.60	4.24	6.27	0.30x0.15	8.27	2960	368	3.83	6.19	1.78	1.83	95.83	#11@0.10	0.76	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	#10@0.28	0.69	19 #6
6.00	2	0.46	0.98	1.68	4.37	6.50	0.30x0.15	9.19	3149	406	3.80	6.23	1.77	1.83	100.71	#11@0.08	0.76	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.25	0.46	#11@0.30	0.76	12 #8
6.25	2	0.48	1.06	1.75	4.52	6.76	0.30x0.15	10.23	3313	440	3.79	6.31	1.77	1.85	106.06	#11@0.08	0.76	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	#11@0.28	0.76	14 #8
6.50	2	0.51	1.13	1.78	4.72	7.01	0.30x0.15	11.27	3429	464	3.77	6.35	1.76	1.85	110.77	#11@0.08	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	#11@0.25	0.76	15 #8
6.75	2	0.53	1.21	1.85	4.88	7.26	0.30x0.15	12.41	3594	498	3.76	6.41	1.76	1.87	116.94	#11@0.08	0.76	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	#11@0.23	0.76	16 #8
7.00	2	0.56	1.29	1.88	5.08	7.52	0.30x0.15	13.65	3720	529	3.77	6.46	1.76	1.88	122.40	#11@0.08	0.76	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	#11@0.20	0.76	18 #8
7.25	2	0.58	1.40	2.01	5.26	7.85	0.30x0.15	15.25	3959	591	3.75	6.51	1.76	1.88	134.60	#11@0.05	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	#11@0.20	0.76	20 #8
7.50	2	0.61	1.71	2.03	6.73	8.10	0.30x0.15	18.46	3998	604	4.13	7.02	1.90	1.98	140.83	#11@0.05	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	#11@0.15	0.76	15 #11

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
- Unit Weight = 115 lb/ft^3
- Friction angle = 35°
- Friction coeficient = 0.40

Backfill Slope, i = 23°

Material Properties:
- f'c = 3 ksi
- fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

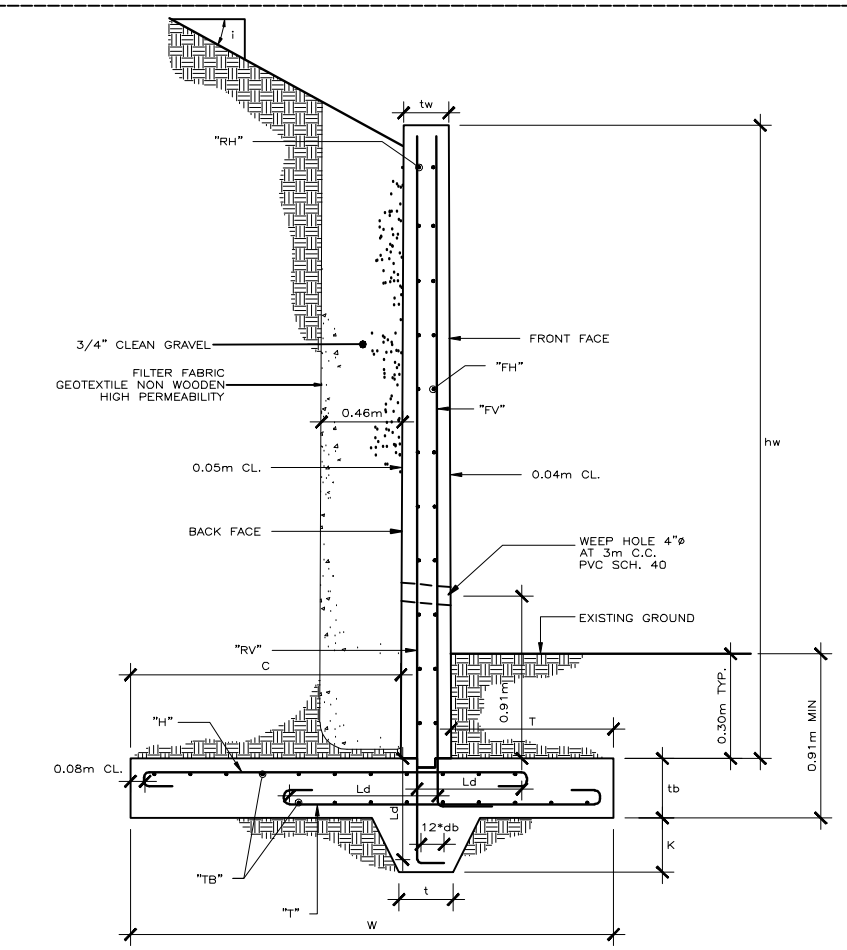
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

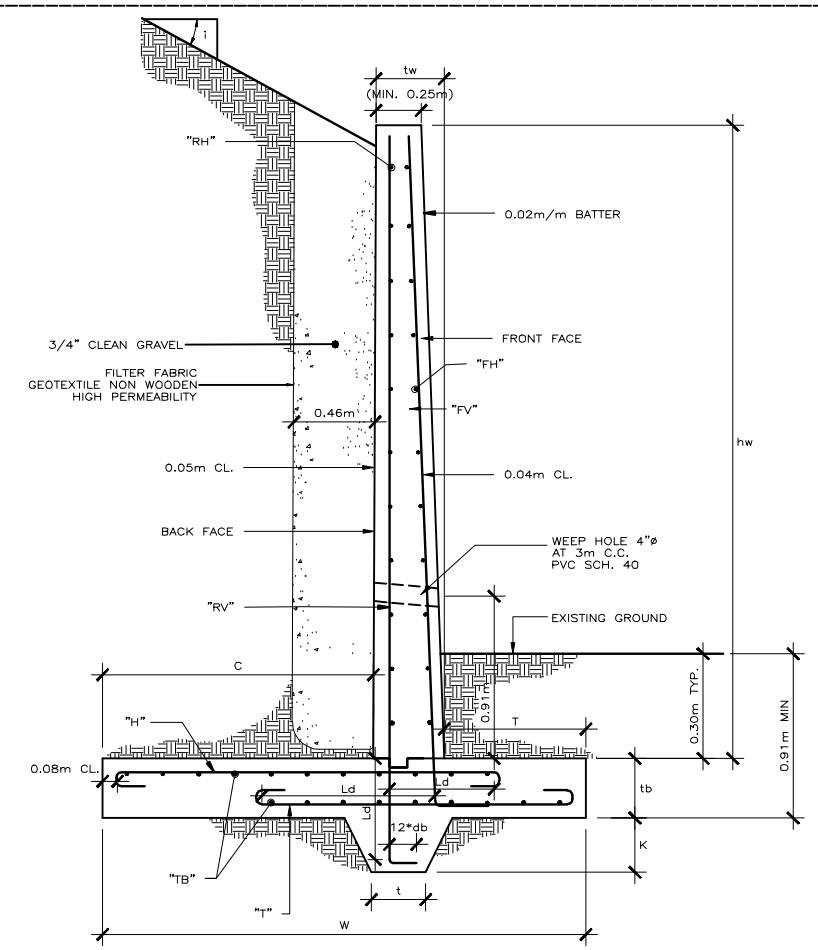
CONCRETE DIMENSIONS										SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS										
									Base Soil Pressure	Safety Factors					Stem						Base			
										Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.38	0.74	0.81	1.75	NONE	0.87	553	359	1.64	5.94	1.33	3.41	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.25	1	0.20	0.38	0.89	0.89	1.98	NONE	1.01	628	385	1.62	6.02	1.30	3.33	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.50	1	0.20	0.38	1.02	0.99	2.21	NONE	1.15	689	403	1.60	6.10	1.28	3.29	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
1.75	1	0.20	0.38	1.09	1.02	2.31	NONE	1.24	812	445	1.59	5.84	1.25	3.05	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.38	1.14	1.12	2.46	NONE	1.35	876	450	1.58	5.80	1.23	2.96	5.11	# 4@0.23	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.25	1	0.20	0.38	1.19	1.19	2.59	NONE	1.44	962	472	1.58	5.72	1.21	2.85	6.74	# 4@0.18	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.50	1	0.20	0.38	1.24	1.22	2.67	NONE	1.52	1103	504	1.57	5.52	1.19	2.68	8.71	# 4@0.13	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.75	1	0.20	0.30	1.30	1.30	2.79	0.30x0.23	1.48	1128	474	15.17	5.33	11.60	2.58	11.07	# 6@0.25	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.23	0.30	1.30	1.35	2.87	0.30x0.23	1.63	1261	502	14.08	5.20	10.61	2.46	11.28	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.25	2	0.23	0.30	1.37	1.45	3.05	0.30x0.23	1.74	1318	496	13.00	5.30	9.68	2.46	14.04	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.50	2	0.25	0.30	1.40	1.52	3.17	0.30x0.23	1.93	1423	510	12.05	5.26	8.89	2.40	14.46	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.75	2	0.28	0.30	1.42	1.55	3.25	0.30x0.23	2.11	1599	563	11.21	5.11	8.22	2.30	15.04	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
4.00	2	0.28	0.31	1.50	1.65	3.43	0.30x0.37	2.30	1658	553	22.57	5.23	16.29	2.31	18.02	# 8@0.28	0.61	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.13	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
4.25	2	0.30	0.33	1.52	1.73	3.56	0.30x0.36	2.58	1781	575	19.45	5.25	13.93	2.28	18.65	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.13	0.30	# 4@0.15	0.30	9 #4
4.50	2	0.30	0.36	1.57	1.80	3.68	0.30x0.33	2.78	1905	597	16.35	5.26	11.63	2.25	21.98	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#6@0.28	0.46	# 4@0.13	0.30	10 #4
4.75	2	0.33	0.38	1.60	1.90	3.84	0.30x0.30	3.12	1996	600	13.80	5.33	9.76	2.24	22.66	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#6@0.28	0.46	# 6@0.28	0.46	11 #4
5.00	2	0.36	0.41	1.63	1.98	3.96	0.30x0.27	3.50	2130	625	11.34	5.36	7.98	2.22	23.47	# 8@0.20	0.61	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#6@0.25	0.46	# 6@0.25	0.46	12 #4
5.25	2	0.36	0.44	1.70	2.01	4.06	0.30x0.32	3.75	2321	679	13.82	5.36	9.65	2.18	27.07	#10@0.28	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#6@0.23	0.46	# 6@0.23	0.46	13 #4
5.50	2	0.38	0.48	1.65	2.13	4.17	0.30x0.28	4.19	2500	722	10.63	5.10	7.42	2.10	28.65	#10@0.28	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#6@0.23	0.46	# 6@0.20	0.46	15 #4
5.75	2	0.41	0.51	1.68	2.24	4.32	0.30x0.25	4.63	2594	725	8.88	5.18	6.18	2.10	29.63	#10@0.25	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.23	0.46	# 6@0.18	0.46	16 #4
6.00	2	0.41	0.55	1.73	2.31	4.44	0.30x0.22	4.93	2727	746	7.42	5.21	5.16	2.09	33.62	#10@0.23	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.23	0.46	# 6@0.18	0.46	9 #6
6.25	2	0.43	0.58	1.78	2.34	4.55	0.30x0.18	5.38	2947	814	6.21	5.19	4.34	2.06	34.82	#10@0.23	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.20	0.46	# 6@0.15	0.46	9 #6
6.50	2	0.46	0.62	1.83	2.44	4.72	0.30x0.15	5.93	3040	823	5.29	5.29	3.70	2.07	36.11	#10@0.20	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.20	0.46	# 8@0.28	0.61	10 #6
6.75	2	0.46	0.65	1.90	2.54	4.90	0.30x0.15	6.31	3122	828	5.24	5.38	3.65	2.09	40.66	#10@0.18	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.18	0.46	# 8@0.25	0.61	11 #6
7.00	2	0.48	0.76	1.93	2.62	5.03	NONE	7.21	3346	901	1.79	5.45	1.22	2.08	42.04	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.18	0.46	# 8@0.25	0.61	12 #6
7.25	2	0.51	0.76	1.90	2.72	5.13	NONE	7.59	3531	947	1.74	5.18	1.20	2.01	44.41	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.18	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
7.50	2	0.53	0.78	1.96	2.79	5.28	NONE	8.13	3652	966	1.76	5.22	1.22	2.01	45.98	#10@0.18	0.69	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.15	0.46	# 8@0.20	0.61	14 #6

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 115 lb/ft^3
Friction angle = 40°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = LEVEL

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

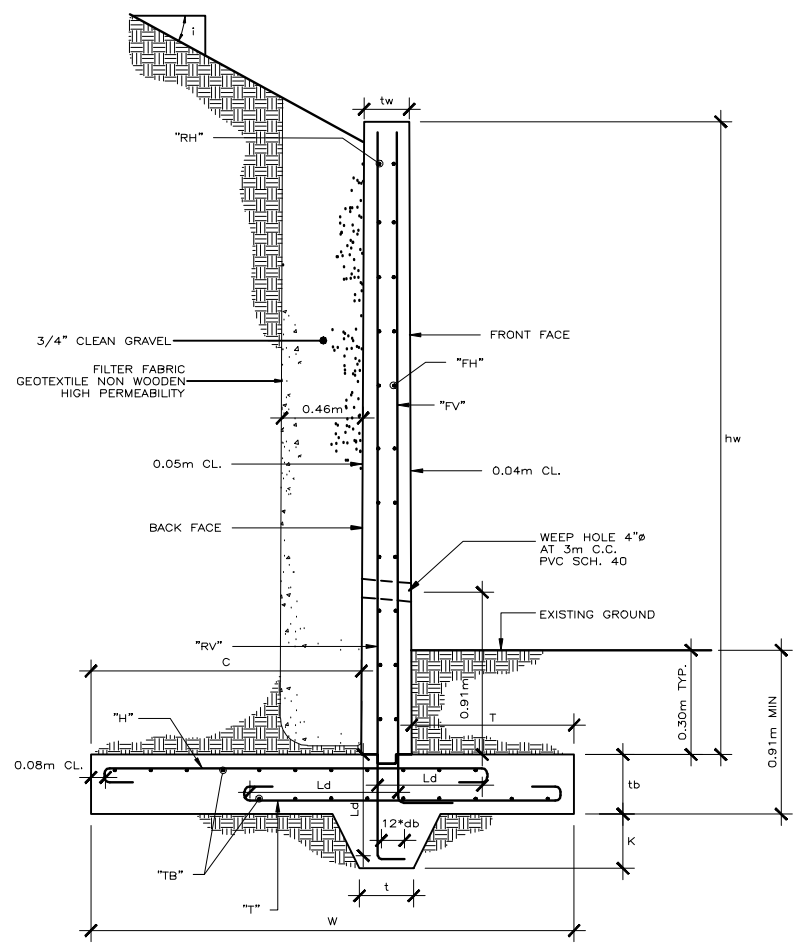
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

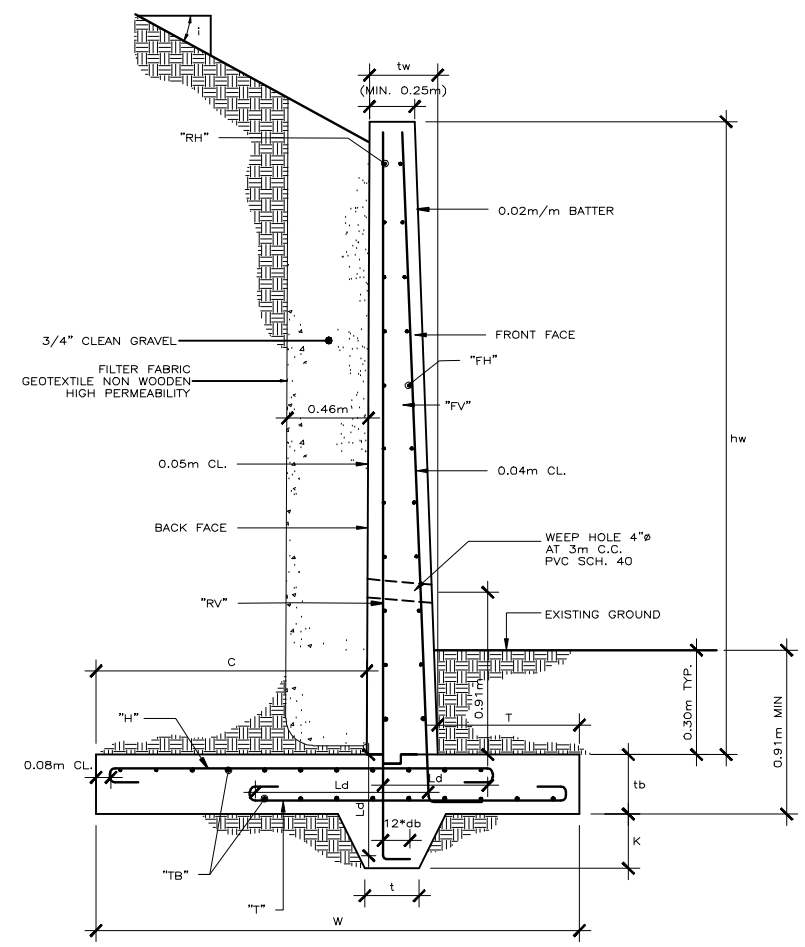
CONCRETE DIMENSIONS										SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS										
										Safety Factors					Stem						Base			
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Base Soil Pressure Toe (psf)	Base Soil Pressure Heel (psf)	Static Sliding	Static Overturning	Earthquake Sliding	Earthquake Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.38	0.15	0.53	0.89	NONE	0.54	812	251	2.96	6.23	1.65	2.01	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	3 #4
1.25	1	0.20	0.38	0.25	0.61	1.07	NONE	0.66	945	275	2.53	6.00	1.42	1.96	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	3 #4
1.50	1	0.20	0.38	0.30	0.74	1.24	NONE	0.78	1019	274	2.21	5.74	1.25	1.93	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.75	1	0.20	0.38	0.36	0.86	1.42	NONE	0.90	1095	275	1.99	5.53	1.14	1.90	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.46	0.94	1.60	0.30x0.15	0.94	1162	258	18.84	5.22	10.97	1.84	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
2.25	1	0.20	0.30	0.51	1.07	1.78	0.30x0.15	1.05	1240	257	15.75	5.10	9.19	1.82	5.71	# 4@0.20	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.50	1	0.20	0.30	0.56	1.19	1.96	0.30x0.15	1.15	1319	258	13.43	5.00	7.86	1.80	7.80	# 4@0.15	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.75	1	0.20	0.30	0.66	1.27	2.13	0.30x0.23	1.28	1452	277	21.13	5.01	12.26	1.79	10.52	# 6@0.25	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
3.00	1	0.20	0.30	0.76	1.40	2.36	0.30x0.23	1.40	1498	265	18.32	5.16	10.63	1.84	13.98	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
3.25	2	0.20	0.30	0.86	1.52	2.59	0.30x0.38	1.57	1547	254	37.29	5.29	21.44	1.88	18.41	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.50	2	0.20	0.30	0.99	1.60	2.79	0.30x0.38	1.68	1665	269	32.62	5.38	18.77	1.89	24.35	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.75	2	0.23	0.31	1.09	1.70	3.02	0.30x0.37	1.91	1744	271	28.22	5.57	16.24	1.94	24.19	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
4.00	2	0.25	0.34	1.17	1.83	3.25	0.30x0.35	2.22	1813	299	22.81	5.74	13.14	1.98	24.63	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	9 #4
4.25	2	0.25	0.37	1.27	1.90	3.43	0.30x0.39	2.46	1971	308	25.37	5.76	14.60	1.97	30.78	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.30	0.46	10 #4
4.50	2	0.28	0.40	1.35	2.03	3.66	0.30x0.36	2.83	2046	371	20.42	5.91	11.77	2.01	31.26	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.25	0.46	11 #4
4.75	2	0.30	0.43	1.42	2.16	3.89	0.30x0.33	3.23	2122	436	16.50	6.05	9.52	2.05	32.17	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	13 #4
5.00	2	0.30	0.47	1.55	2.24	4.09	0.30x0.29	3.53	2274	467	12.96	6.14	7.50	2.06	39.05	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.13	0.30	# 6@0.20	0.46	14 #4
5.25	2	0.33	0.50	1.63	2.34	4.29	0.30x0.26	3.97	2390	505	10.55	6.21	6.12	2.07	40.00	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#6@0.28	0.46	# 6@0.20	0.46	16 #4
5.50	2	0.36	0.55	1.63	2.46	4.44	0.30x0.21	4.48	2594	434	7.75	5.94	4.54	2.01	42.21	#10@0.18	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#6@0.25	0.46	# 6@0.18	0.46	9 #6
5.75	2	0.36	0.59	1.75	2.59	4.70	0.30x0.17	4.87	2666	517	6.23	6.11	3.66	2.05	50.11	#10@0.15	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#6@0.25	0.46	# 8@0.30	0.61	10 #6
6.00	2	0.38	0.63	1.83	2.72	4.93	0.30x0.15	5.43	2748	582	5.58	6.23	3.29	2.08	51.39	#10@0.15	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#6@0.23	0.46	# 8@0.28	0.61	11 #6
6.25	2	0.41	0.67	1.90	2.77	5.08	0.30x0.15	6.01	2954	572	5.49	6.22	3.25	2.06	52.98	#10@0.15	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.20	0.46	# 8@0.25	0.61	12 #6
6.50	2	0.43	0.71	1.98	2.90	5.31	0.30x0.15	6.63	3035	637	5.42	6.32	3.20	2.09	54.81	#10@0.13	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.20	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
6.75	2	0.43	0.76	2.08	3.02	5.54	NONE	7.13	3131	696	1.82	6.41	1.10	2.11	63.35	#10@0.13	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.18	0.46	# 8@0.23	0.61	14 #6
7.00	2	0.46	0.84	2.16	3.10	5.71	NONE	7.99	3325	715	1.86	6.47	1.12	2.11	65.26	#11@0.15	0.76	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.18	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
7.25	2	0.48	0.86	2.16	3.23	5.87	NONE	8.57	3507	642	1.83	6.22	1.11	2.06	68.59	#11@0.13	0.76	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.15	0.46	# 8@0.18	0.61	17 #6
7.50	2	0.51	0.91	2.24	3.33	6.07	NONE	9.32	3633	682	1.85	6.28	1.12	2.07	70.92	#11@0.13	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#8@0.28	0.61	#10@0.28	0.69	18 #6

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 115 lb/ft^3
Friction angle = 40°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = 15°

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

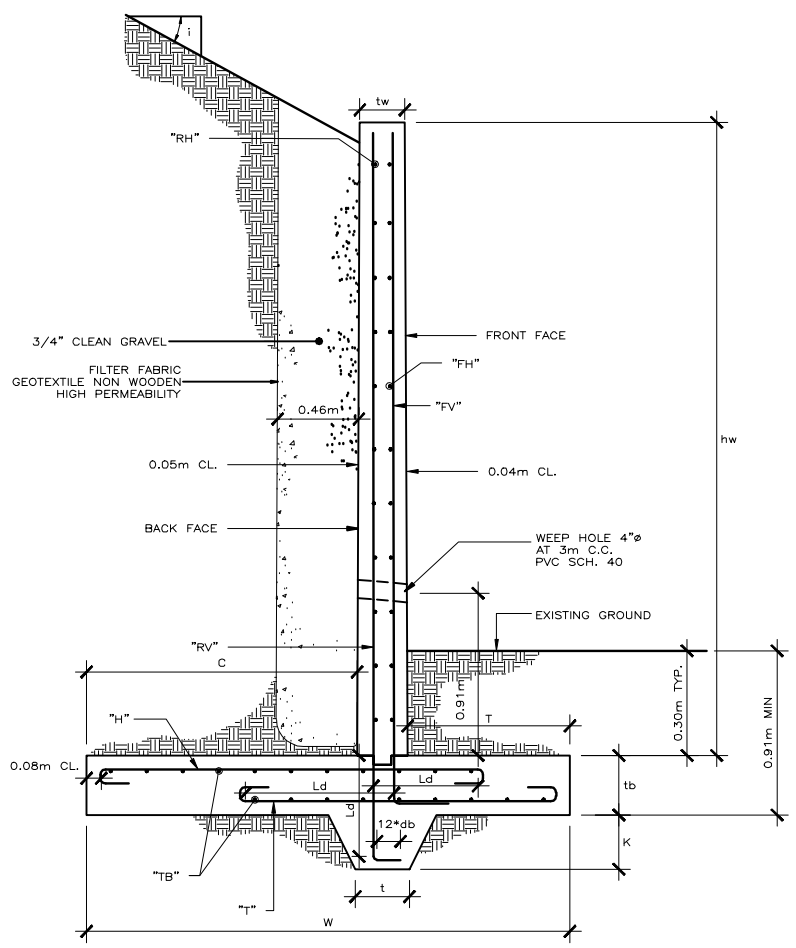
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

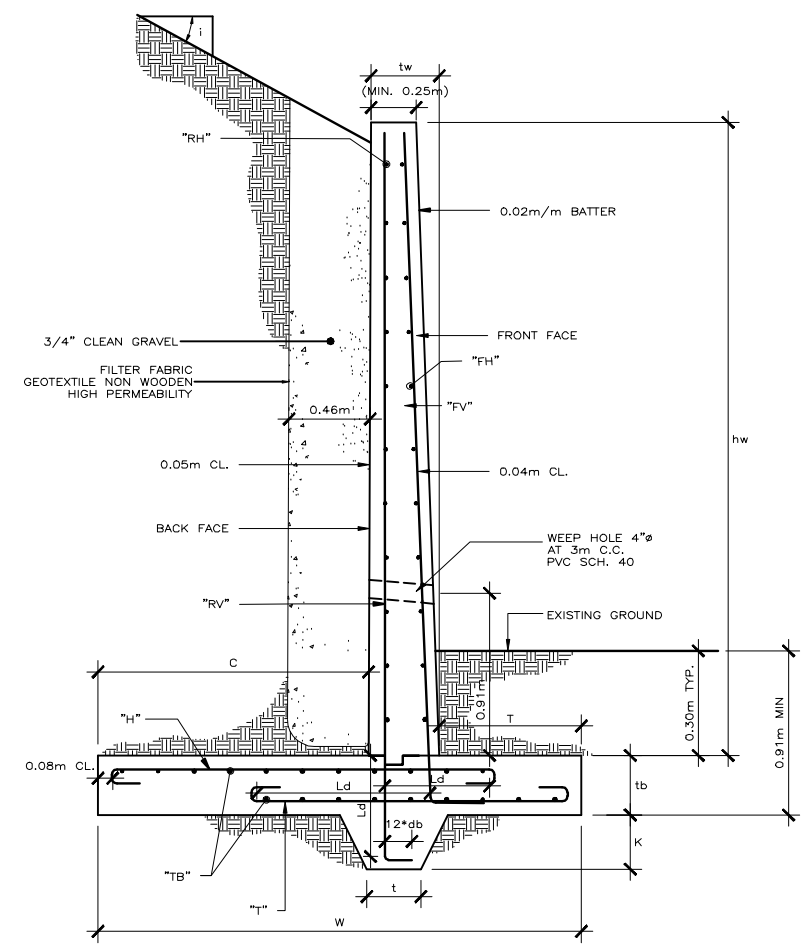
CONCRETE DIMENSIONS											SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS									
									Base Soil Pressure		Safety Factors					Stem					Base			
											Static		Earthquake											
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.20	0.81	1.22	0.30x0.15	0.62	729	143	41.40	7.00	16.59	1.88	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.30	0.97	1.47	0.30x0.15	0.75	853	141	28.81	6.68	11.61	1.83	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.36	1.17	1.73	0.30x0.15	0.88	926	129	21.93	6.43	8.88	1.79	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.46	1.32	1.98	0.30x0.15	1.01	1050	126	17.07	6.27	6.95	1.76	5.83	# 4@0.20	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.53	1.52	2.26	0.30x0.15	1.14	1117	111	13.92	6.23	5.70	1.76	8.67	# 4@0.13	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.25	1	0.20	0.30	0.76	1.70	2.67	0.30x0.23	1.34	1183	127	20.42	6.73	8.24	1.87	13.32	# 6@0.20	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.50	1	0.20	0.30	0.99	1.90	3.10	0.30x0.38	1.57	1228	240	38.72	7.20	15.44	1.97	20.03	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
2.75	1	0.20	0.30	1.19	2.06	3.45	0.30x0.46	1.75	1351	298	44.14	7.36	17.57	2.00	30.09	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.00	1	0.20	0.33	1.40	2.29	3.89	0.30x0.43	2.02	1510	411	33.96	7.77	13.52	2.08	54.57	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	10 #4
3.25	2	0.20	0.38	1.63	2.44	4.27	0.30x0.38	2.40	1698	493	23.98	8.08	9.57	2.13	59.37	#10@0.10	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 6@0.28	0.46	12 #4
3.50	2	0.23	0.44	1.78	2.64	4.65	0.30x0.40	2.96	1862	591	23.40	8.42	9.33	2.20	70.17	#11@0.10	0.76	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	15 #4
3.75	2	0.25	0.43	1.02	2.77	4.04	0.30x0.33	2.80	1871	113	17.77	6.09	7.21	1.73	50.74	#10@0.15	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	13 #4
4.00	2	0.25	0.48	1.07	2.97	4.29	0.30x0.36	3.17	1979	125	18.86	6.10	7.64	1.74	80.96	#11@0.10	0.76	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	15 #4
4.25	2	0.28	0.53	1.14	3.12	4.55	0.30x0.31	3.68	2121	141	13.91	6.22	5.68	1.76	73.09	#11@0.13	0.76	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	9 #6
4.50	2	0.30	0.58	1.17	3.33	4.80	0.30x0.26	4.22	2217	152	10.30	6.29	4.26	1.77	69.74	#11@0.13	0.76	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.15	0.46	10 #6
4.75	2	0.33	0.64	1.24	3.45	5.03	0.30x0.20	4.85	2399	180	7.17	6.36	3.02	1.78	71.07	#11@0.13	0.76	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 8@0.25	0.61	11 #6
5.00	2	0.33	0.70	1.30	3.66	5.28	0.30x0.15	5.39	2515	198	5.52	6.38	2.37	1.78	106.32	#11@0.08	0.76	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 8@0.23	0.61	13 #6

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 115 lb/ft^3
Friction angle = 40°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = 28°

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

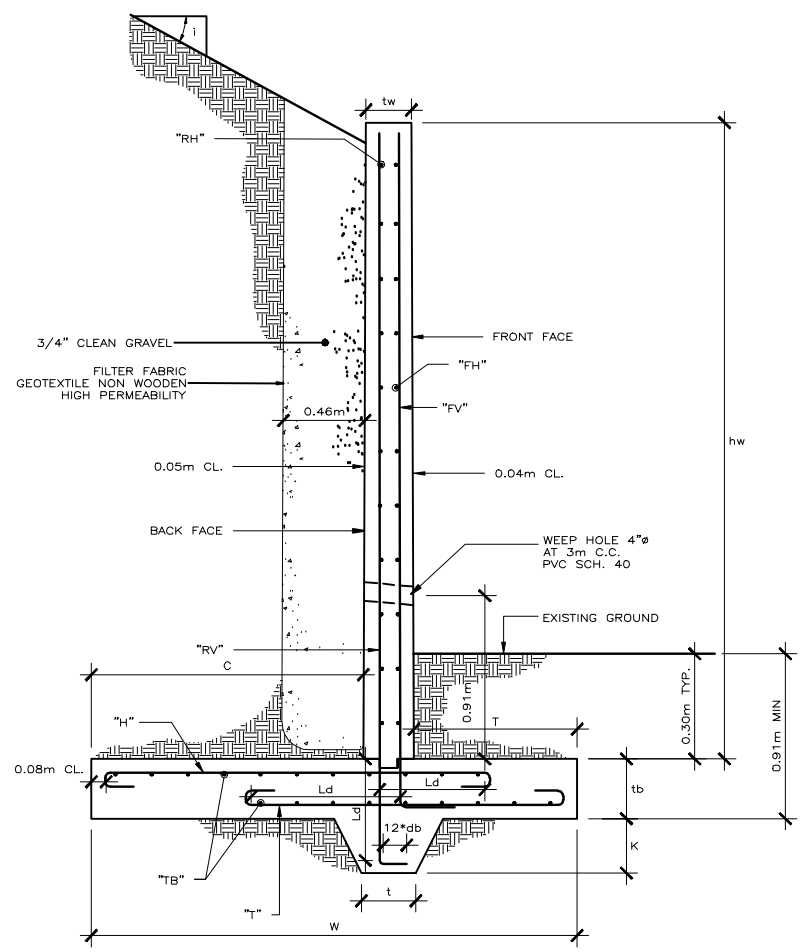
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

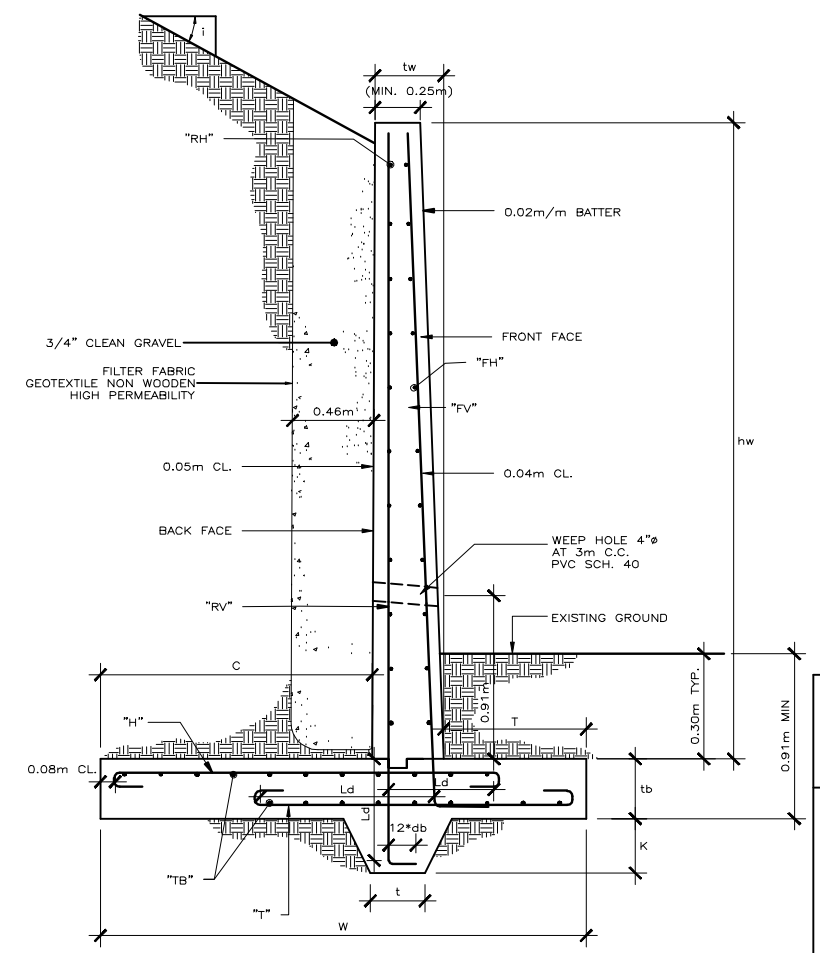
CONCRETE DIMENSIONS											SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS										
									Base Soil Pressure		Safety Factors					Stem						Base			
											Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.46	1.02	1.68	0.30x0.15	0.76	670	179	7.06	2.70	6.27	2.00	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.56	1.12	1.88	0.30x0.15	0.87	774	229	5.79	2.71	5.08	1.95	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.66	1.22	2.08	0.30x0.15	0.99	875	287	4.90	2.75	4.25	1.93	4.89	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.76	1.27	2.24	0.30x0.15	1.08	1001	355	4.38	2.80	3.74	1.90	6.76	# 4@0.18	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.81	1.37	2.39	0.30x0.15	1.18	1105	411	3.96	2.81	3.34	1.86	9.01	# 4@0.13	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.25	1	0.23	0.30	0.89	1.42	2.54	0.30x0.23	1.36	1231	499	6.57	2.91	5.43	1.85	9.63	# 6@0.28	0.46	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.50	1	0.23	0.30	0.99	1.47	2.69	0.30x0.23	1.46	1355	590	6.02	3.01	4.92	1.85	12.48	# 6@0.20	0.46	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.75	1	0.25	0.30	1.02	1.57	2.84	0.30x0.23	1.64	1452	669	5.56	3.07	4.48	1.84	13.33	# 6@0.20	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.28	0.30	1.09	1.60	2.97	0.30x0.23	1.81	1612	765	5.19	3.15	4.13	1.83	14.28	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.25	2	0.28	0.30	1.14	1.73	3.15	0.30x0.38	1.98	1688	801	10.77	3.18	8.42	1.82	17.75	# 8@0.28	0.61	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.50	2	0.30	0.32	1.22	1.78	3.30	0.30x0.36	2.25	1851	854	9.15	3.26	7.11	1.82	18.99	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
3.75	2	0.33	0.36	1.30	1.85	3.48	0.30x0.33	2.58	1987	890	7.40	3.39	5.72	1.84	20.34	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 4@0.13	0.30	10 #4
4.00	2	0.36	0.39	1.32	1.96	3.63	0.30x0.30	2.92	2125	927	5.99	3.43	4.60	1.83	21.79	# 8@0.23	0.61	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 6@0.28	0.46	11 #4
4.25	2	0.36	0.42	1.42	2.03	3.81	0.30x0.27	3.19	2258	961	4.86	3.54	3.73	1.85	25.86	# 8@0.18	0.61	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 6@0.25	0.46	12 #4
4.50	2	0.38	0.45	1.45	2.13	3.96	0.30x0.31	3.60	2395	994	5.77	3.57	4.38	1.84	27.44	#10@0.28	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 6@0.23	0.46	13 #4
4.75	2	0.41	0.48	1.52	2.18	4.11	0.30x0.28	4.00	2572	1048	4.77	3.65	3.61	1.85	29.11	#10@0.28	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.28	0.46	# 6@0.20	0.46	15 #4
5.00	2	0.43	0.52	1.55	2.31	4.29	0.30x0.24	4.47	2672	1060	3.84	3.72	2.90	1.86	30.88	#10@0.25	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 6@0.18	0.46	8 #6
5.25	2	0.46	0.56	1.63	2.36	4.44	0.30x0.20	4.95	2855	1116	3.12	3.80	2.36	1.86	32.74	#10@0.23	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 6@0.18	0.46	9 #6
5.50	2	0.48	0.60	1.70	2.46	4.65	0.30x0.16	5.51	3048	1182	2.44	3.82	1.85	1.85	35.55	#10@0.23	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.28	0.61	10 #6
5.75	2	0.48	0.64	1.75	2.59	4.83	0.30x0.15	5.92	3142	1190	2.34	3.88	1.77	1.86	40.51	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.20	0.46	# 8@0.25	0.61	11 #6
6.00	2	0.51	0.69	1.83	2.64	4.98	0.30x0.15	6.51	3332	1246	2.34	3.96	1.76	1.86	42.62	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	# 8@0.25	0.61	12 #6
6.25	2	0.53	0.73	1.85	2.77	5.16	0.30x0.15	7.15	3448	1272	2.32	3.99	1.74	1.87	45.04	#10@0.18	0.69	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
6.50	2	0.56	0.77	1.93	2.84	5.33	0.30x0.15	7.81	3610	1321	2.32	4.05	1.73	1.87	47.55	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	# 8@0.20	0.61	14 #6
6.75	2	0.58	0.82	1.96	2.95	5.49	0.30x0.15	8.48	3771	1368	2.29	4.05	1.71	1.86	50.16	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
7.00	2	0.61	0.87	2.03	3.02	5.66	0.30x0.15	9.24	3938	1419	2.30	4.12	1.71	1.87	52.87	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.15	0.46	# 8@0.18	0.61	17 #6
7.25	2	0.64	1.02	2.11	3.66	5.89	0.30x0.15	10.64	3991	1326	2.37	4.29	1.75	1.93	56.82	#10@0.13	0.69	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#11@0.28	0.76	12 #8
7.50	2	0.66	1.15	2.13	4.27	6.07	0.30x0.15	11.98	3991	1200	2.45	4.46	1.79	1.98	59.74	#10@0.13	0.69	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#11@0.25	0.76	13 #8

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
- Unit Weight = 120 lb/ft^3
- Friction angle = 28°
- Friction coeficient = 0.40

Backfill Slope, i = LEVEL

Material Properties:
- f'c = 3 ksi
- fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

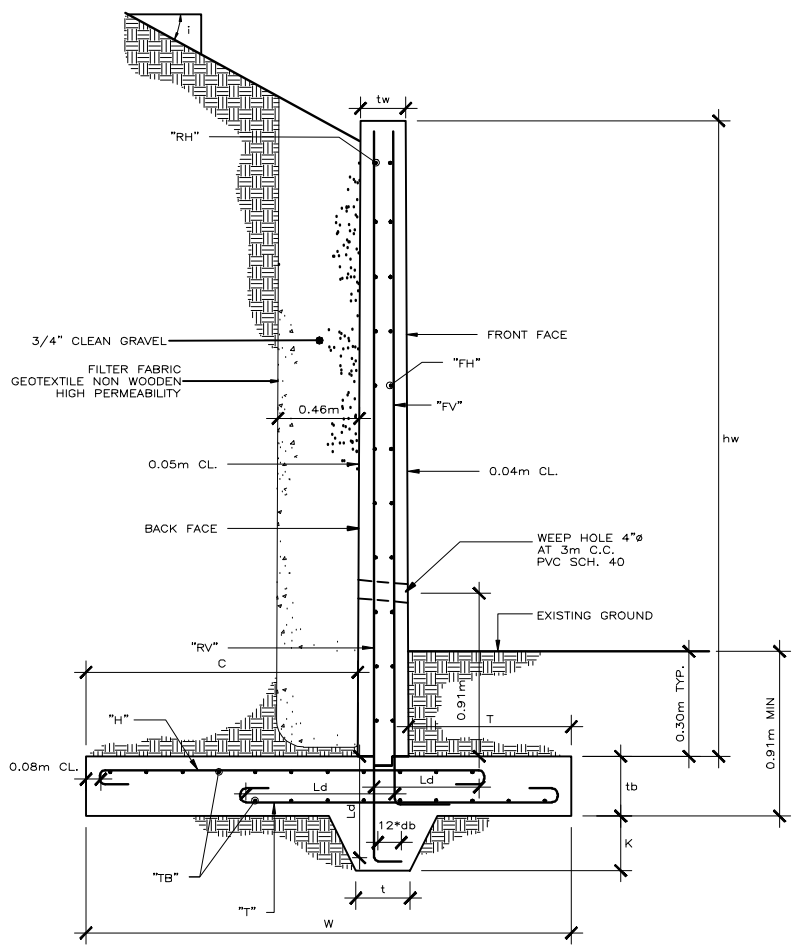
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

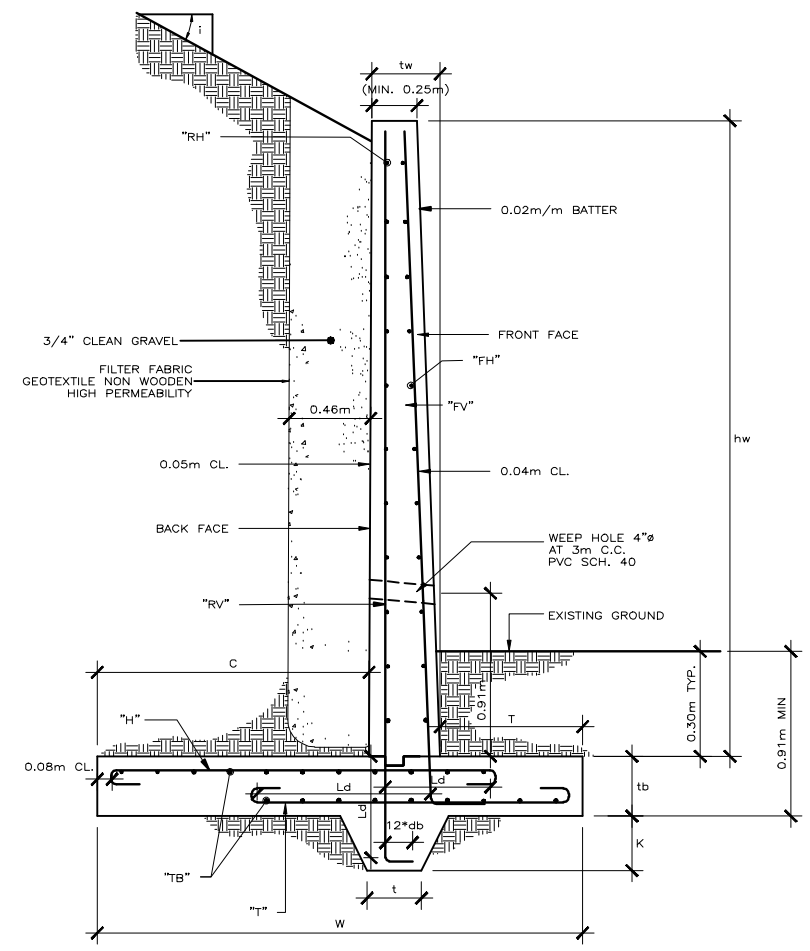
CONCRETE DIMENSIONS									SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY							REINFORCEMENT AREAS									
									Base Soil Pressure		Safety Factors					Stem						Base			
											Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.30	0.76	1.27	0.30x0.15	0.64	744	216	18.01	5.68	9.52	1.94	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.58	0.89	1.68	0.30x0.15	0.81	805	217	12.42	6.54	6.57	2.17	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.84	1.09	2.13	0.30x0.15	1.00	819	275	9.36	7.39	4.95	2.40	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
1.75	1	0.20	0.30	1.12	1.24	2.57	0.30x0.15	1.18	975	381	7.42	7.92	3.93	2.54	7.09	# 4@0.18	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.30	1.40	1.40	3.00	0.30x0.23	1.39	1129	481	10.75	8.34	5.66	2.64	10.87	# 6@0.25	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.25	1	0.20	0.30	1.65	1.55	3.40	0.30x0.23	1.56	1274	567	8.95	8.57	4.72	2.70	16.07	# 6@0.15	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
2.50	1	0.20	0.30	0.86	1.70	2.77	0.30x0.38	1.47	1366	253	19.19	4.94	10.12	1.76	18.84	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.75	1	0.20	0.30	0.91	1.90	3.02	0.30x0.38	1.60	1434	248	16.40	4.84	8.66	1.74	26.51	# 8@0.18	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.23	0.30	0.99	2.06	3.28	0.30x0.46	1.82	1532	251	19.51	4.85	10.29	1.75	27.73	#10@0.28	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.25	2	0.25	0.34	1.07	2.21	3.53	0.30x0.43	2.14	1652	270	15.18	4.93	8.02	1.76	29.58	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	9 #4
3.50	2	0.25	0.38	1.17	2.36	3.78	0.30x0.38	2.45	1790	298	11.29	4.99	5.98	1.77	39.63	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.28	0.46	11 #4
3.75	2	0.28	0.43	1.24	2.49	4.01	0.30x0.34	2.86	1951	334	8.44	5.03	4.49	1.78	41.53	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	13 #4
4.00	2	0.30	0.46	1.27	2.69	4.27	0.30x0.30	3.29	2039	345	6.51	5.04	3.48	1.78	43.65	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	15 #4
4.25	2	0.33	0.51	1.35	2.84	4.52	0.30x0.25	3.80	2173	373	4.76	5.12	2.56	1.80	46.55	#10@0.15	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	17 #4
4.50	2	0.36	0.57	1.42	2.97	4.75	0.30x0.20	4.34	2340	412	3.49	5.15	1.90	1.80	49.78	#10@0.15	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	10 #6
4.75	2	0.38	0.62	1.50	3.12	5.00	0.30x0.15	4.94	2475	440	2.69	5.22	1.48	1.82	53.32	#10@0.15	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 8@0.28	0.61	11 #6
5.00	2	0.38	0.67	1.60	3.28	5.26	0.30x0.17	5.49	2623	475	2.80	5.27	1.54	1.83	65.75	#11@0.15	0.76	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#6@0.30	0.46	# 8@0.25	0.61	12 #6
5.25	2	0.41	0.73	1.63	3.45	5.49	0.30x0.15	6.19	2756	505	2.58	5.26	1.42	1.83	69.22	#11@0.13	0.76	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.28	0.46	# 8@0.23	0.61	14 #6
5.50	2	0.43	0.80	1.75	3.63	5.82	0.30x0.15	7.08	2948	560	2.51	5.29	1.39	1.83	76.60	#11@0.13	0.76	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.20	0.61	16 #6
5.75	2	0.46	0.86	1.78	3.84	6.07	0.30x0.15	7.92	3054	583	2.48	5.32	1.37	1.84	80.73	#11@0.10	0.76	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.18	0.61	18 #6
6.00	2	0.48	0.93	1.85	3.96	6.30	0.30x0.15	8.78	3231	628	2.46	5.35	1.36	1.85	85.65	#11@0.10	0.76	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.20	0.46	#10@0.28	0.69	20 #6
6.25	2	0.51	1.00	1.93	4.11	6.55	0.30x0.15	9.75	3381	666	2.45	5.42	1.36	1.86	90.88	#11@0.10	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	#11@0.28	0.76	13 #8
6.50	2	0.56	1.06	1.98	4.24	6.78	0.30x0.15	10.87	3551	708	2.44	5.46	1.35	1.87	87.40	#11@0.10	0.76	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	#11@0.28	0.76	14 #8
6.75	2	0.58	1.14	2.06	4.37	7.01	0.30x0.15	11.96	3739	759	2.43	5.50	1.35	1.87	93.06	#11@0.10	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	#11@0.25	0.76	15 #8
7.00	2	0.61	1.21	2.08	4.57	7.26	0.30x0.15	13.12	3854	788	2.43	5.53	1.35	1.88	98.52	#11@0.10	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	#11@0.23	0.76	17 #8
7.25	2	0.64	1.44	2.21	5.46	7.59	0.30x0.15	15.55	3998	750	2.55	5.79	1.40	1.94	107.91	#11@0.08	0.76	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#11@0.18	0.76	20 #8
7.50	2	0.66	2.15	4.52	9.19	14.35	0.30x0.15	35.80	4155	2445	2.83	10.19	1.50	3.30	253.68	#11@0.03	0.76	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#11@0.13	0.76	31 #11

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
- Unit Weight = 120 lb/ft^3
- Friction angle = 28°
- Friction coeficient = 0.40

Backfill Slope, i = 15°

Material Properties:
- f'c = 3 ksi
- fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

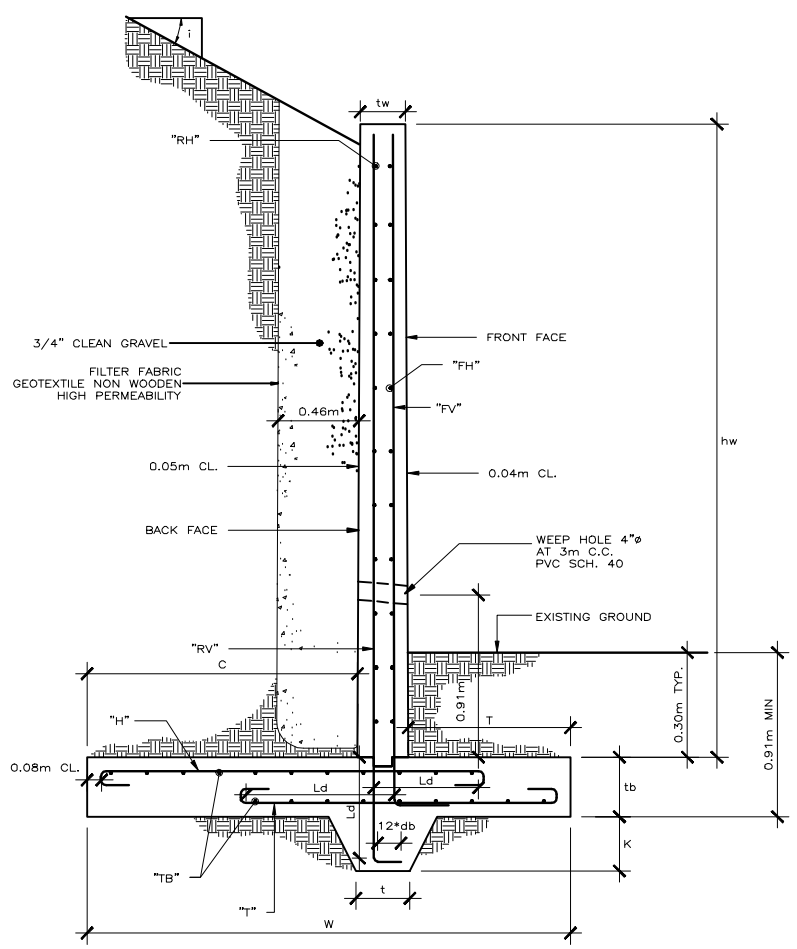
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

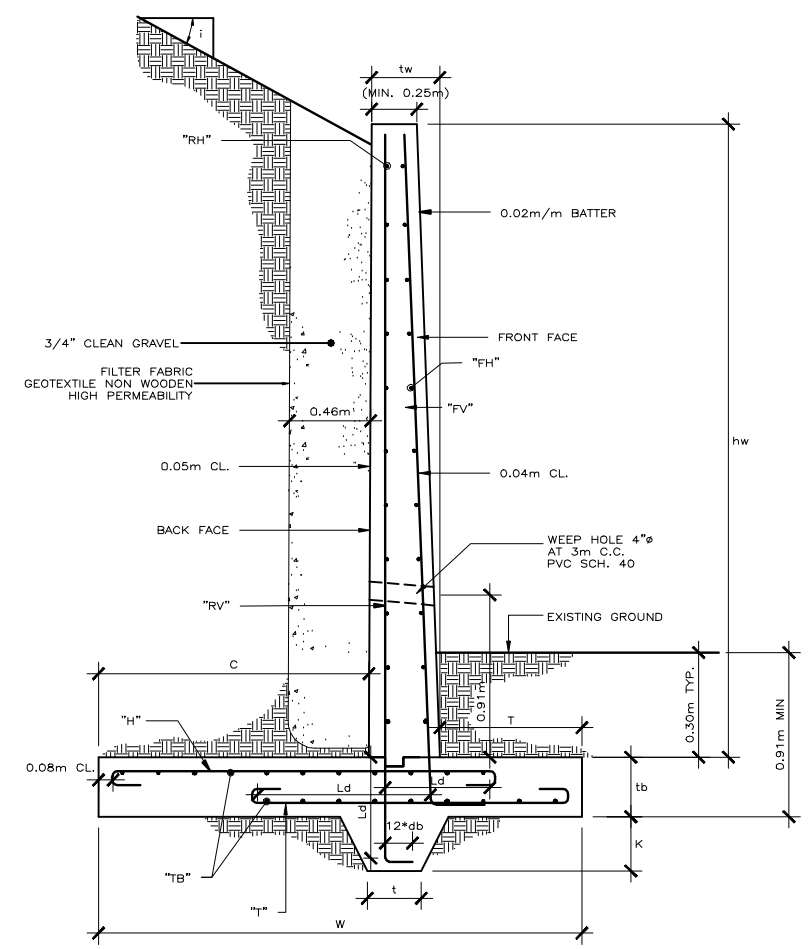
CONCRETE DIMENSIONS											SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS										
									Base Soil Pressure		Safety Factors					Stem						Base			
											Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.41	1.02	1.63	0.30x0.15	0.75	656	179	8.24	2.71	7.30	1.99	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.51	1.09	1.80	0.30x0.15	0.85	775	224	6.75	2.68	5.90	1.92	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.61	1.19	2.01	0.30x0.15	0.96	871	287	5.70	2.74	4.93	1.91	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.71	1.24	2.16	0.30x0.15	1.06	993	360	5.09	2.82	4.34	1.89	6.21	# 4@0.20	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.81	1.30	2.31	0.30x0.15	1.16	1115	442	4.61	2.91	3.89	1.89	8.27	# 4@0.15	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.25	1	0.23	0.30	0.84	1.40	2.46	0.30x0.15	1.31	1211	513	4.23	2.96	3.52	1.86	8.87	# 4@0.13	0.30	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.50	1	0.23	0.30	0.94	1.42	2.59	0.30x0.23	1.43	1364	598	7.02	3.03	5.71	1.84	11.47	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.75	1	0.25	0.30	0.97	1.52	2.74	0.30x0.23	1.60	1456	682	6.47	3.10	5.20	1.84	12.26	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.25	0.30	1.07	1.55	2.87	0.30x0.23	1.71	1611	778	6.03	3.18	4.79	1.83	15.27	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.25	2	0.28	0.30	1.09	1.68	3.05	0.30x0.23	1.91	1682	778	5.56	3.23	4.38	1.83	16.30	# 6@0.15	0.46	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.50	2	0.30	0.32	1.17	1.73	3.20	0.30x0.37	2.20	1835	824	10.99	3.32	8.49	1.83	17.45	# 8@0.28	0.61	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
3.75	2	0.33	0.35	1.19	1.83	3.35	0.30x0.34	2.51	1967	857	8.87	3.37	6.81	1.82	18.71	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 4@0.13	0.30	9 #4
4.00	2	0.33	0.37	1.30	1.88	3.51	0.30x0.31	2.73	2130	906	7.38	3.46	5.64	1.83	22.39	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.28	0.46	10 #4
4.25	2	0.36	0.41	1.32	2.01	3.68	0.30x0.28	3.09	2220	914	5.99	3.54	4.56	1.84	23.75	# 8@0.20	0.61	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 6@0.25	0.46	11 #4
4.50	2	0.38	0.44	1.40	2.06	3.84	0.30x0.25	3.47	2391	963	4.88	3.64	3.71	1.85	25.21	# 8@0.18	0.61	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 6@0.23	0.46	13 #4
4.75	2	0.41	0.47	1.42	2.16	3.99	0.30x0.22	3.87	2521	991	3.98	3.69	3.02	1.84	26.75	# 8@0.18	0.61	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.30	0.46	# 6@0.20	0.46	14 #4
5.00	2	0.41	0.51	1.52	2.21	4.14	0.30x0.25	4.21	2696	1042	4.71	3.77	3.54	1.85	31.02	#10@0.25	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.28	0.46	# 6@0.20	0.46	16 #4
5.25	2	0.43	0.55	1.55	2.31	4.29	0.30x0.22	4.68	2831	1070	3.80	3.82	2.85	1.85	32.69	#10@0.23	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 6@0.18	0.46	8 #6
5.50	2	0.46	0.59	1.63	2.41	4.50	0.30x0.17	5.22	3015	1130	2.95	3.85	2.23	1.84	35.32	#10@0.23	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.30	0.61	9 #6
5.75	2	0.48	0.63	1.65	2.51	4.65	0.30x0.15	5.74	3150	1156	2.66	3.90	2.01	1.84	37.18	#10@0.20	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.28	0.61	10 #6
6.00	2	0.51	0.67	1.73	2.57	4.80	0.30x0.15	6.30	3329	1204	2.65	3.98	1.99	1.85	39.12	#10@0.20	0.69	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	# 8@0.25	0.61	11 #6
6.25	2	0.51	0.71	1.78	2.69	4.98	0.30x0.15	6.76	3434	1224	2.63	4.01	1.97	1.85	44.40	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	# 8@0.23	0.61	12 #6
6.50	2	0.53	0.75	1.85	2.77	5.16	0.30x0.15	7.38	3584	1265	2.61	4.09	1.95	1.86	46.70	#10@0.15	0.69	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
6.75	2	0.56	0.80	1.88	2.87	5.31	0.30x0.15	8.07	3743	1310	2.60	4.10	1.94	1.86	49.10	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	# 8@0.20	0.61	14 #6
7.00	2	0.58	0.84	1.96	2.95	5.49	0.30x0.15	8.73	3893	1350	2.59	4.17	1.92	1.87	51.59	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	# 8@0.20	0.61	16 #6
7.25	2	0.61	0.98	2.03	3.51	5.69	0.30x0.15	10.03	3992	1284	2.66	4.32	1.96	1.91	55.29	#10@0.13	0.69	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#8@0.30	0.61	#10@0.25	0.69	11 #8
7.50	2	0.64	1.10	2.06	4.06	5.87	0.30x0.15	11.29	3994	1165	2.75	4.49	2.00	1.96	57.99	#10@0.13	0.69	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#11@0.25	0.76	12 #8

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 120 lb/ft^3
Friction angle = 30°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = LEVEL

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

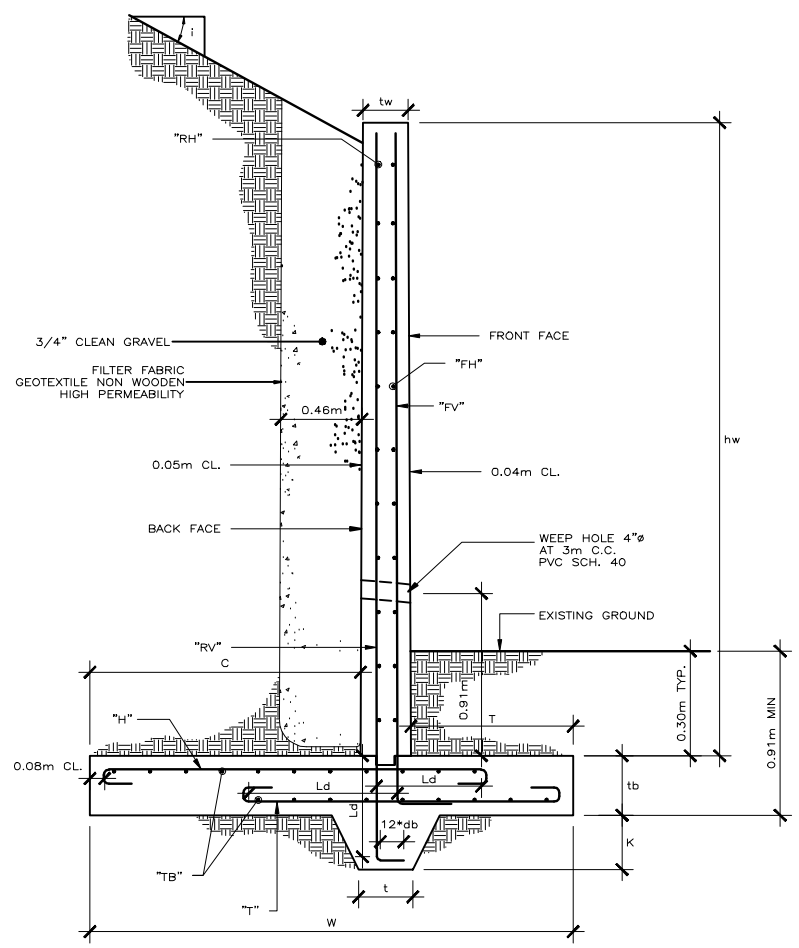
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

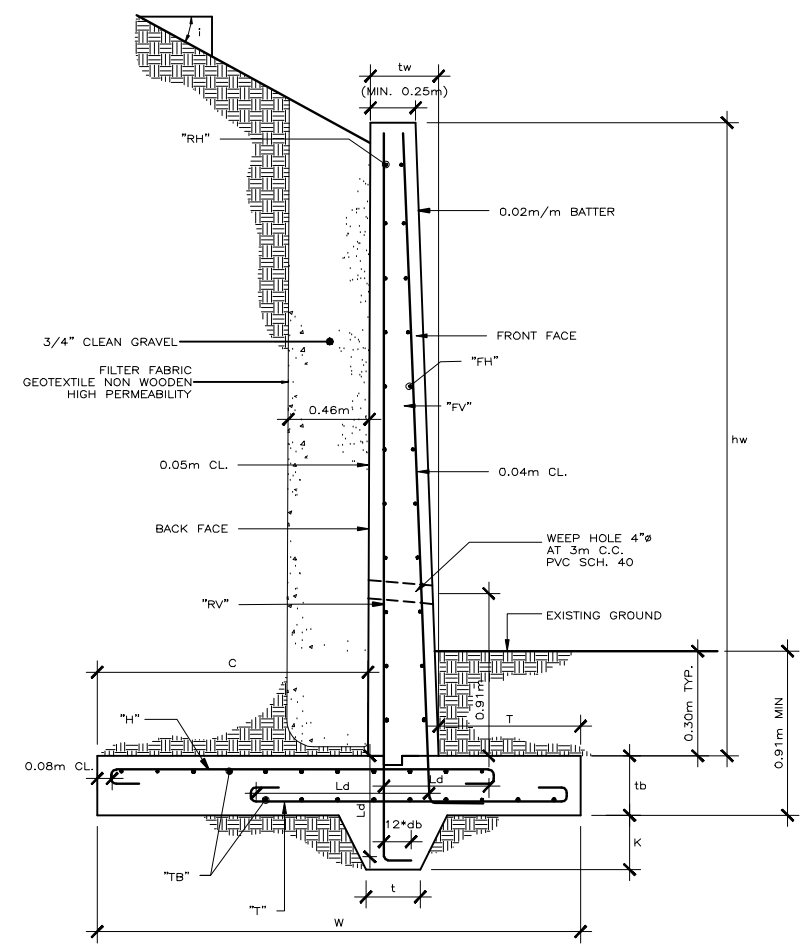
CONCRETE DIMENSIONS											SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS										
											Safety Factors				Stem							Base			
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Base Soil Pressure Toe (psf)	Base Soil Pressure Heel (psf)	Static Sliding	Static Overturning	Earthquake Sliding	Earthquake Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.25	0.71	1.17	0.30x0.15	0.61	735	223	21.77	5.45	12.12	1.94	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	3 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.41	0.84	1.45	0.30x0.15	0.74	825	229	15.33	5.61	8.56	1.99	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.66	0.97	1.83	0.30x0.15	0.91	878	228	11.37	6.35	6.35	2.19	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.91	1.09	2.21	0.30x0.15	1.08	944	289	8.94	6.90	4.99	2.34	5.75	# 4@0.20	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.30	1.14	1.27	2.62	0.30x0.15	1.25	1074	405	7.38	7.42	4.11	2.48	8.70	# 4@0.13	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.25	1	0.20	0.30	1.37	1.40	2.97	0.30x0.23	1.43	1217	484	10.90	7.64	6.05	2.54	12.72	# 6@0.20	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.50	1	0.20	0.30	1.60	1.52	3.33	0.30x0.38	1.64	1359	562	20.79	7.83	11.51	2.58	18.26	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
2.75	1	0.20	0.30	0.86	1.73	2.79	0.30x0.38	1.53	1440	277	19.66	4.73	10.94	1.77	21.42	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.23	0.30	0.94	1.83	3.00	0.30x0.38	1.72	1585	299	16.97	4.68	9.46	1.75	22.64	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.25	2	0.23	0.32	1.04	1.98	3.25	0.30x0.44	1.91	1678	306	19.41	4.73	10.80	1.76	30.55	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
3.50	2	0.25	0.36	1.07	2.13	3.45	0.30x0.41	2.24	1810	333	14.94	4.70	8.34	1.75	31.53	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.13	0.30	10 #4
3.75	2	0.28	0.39	1.14	2.26	3.68	0.30x0.37	2.61	1950	362	11.49	4.77	6.43	1.77	33.34	#10@0.23	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.28	0.46	11 #4
4.00	2	0.30	0.43	1.22	2.39	3.91	0.30x0.33	3.01	2089	391	8.86	4.84	4.98	1.78	35.52	#10@0.23	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	13 #4
4.25	2	0.30	0.48	1.32	2.51	4.14	0.30x0.28	3.38	2246	429	6.47	4.89	3.66	1.79	44.87	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	15 #4
4.50	2	0.33	0.53	1.35	2.69	4.37	0.30x0.23	3.86	2348	447	4.88	4.90	2.78	1.79	46.88	#10@0.15	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	8 #6
4.75	2	0.36	0.57	1.42	2.82	4.60	0.30x0.19	4.37	2493	479	3.71	4.96	2.13	1.80	49.60	#10@0.15	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 6@0.15	0.46	9 #6
5.00	2	0.38	0.62	1.50	2.95	4.83	0.30x0.15	4.95	2643	514	2.97	5.02	1.72	1.82	52.61	#10@0.15	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 8@0.28	0.61	11 #6
5.25	2	0.41	0.67	1.52	3.12	5.05	0.30x0.15	5.58	2749	535	2.90	5.03	1.69	1.82	55.56	#10@0.13	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.30	0.46	# 8@0.25	0.61	12 #6
5.50	2	0.43	0.74	1.65	3.25	5.33	0.30x0.15	6.38	2986	608	2.83	5.04	1.65	1.82	61.34	#10@0.13	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.23	0.61	14 #6
5.75	2	0.46	0.79	1.68	3.43	5.56	0.30x0.15	7.09	3092	629	2.78	5.05	1.62	1.83	64.77	#11@0.15	0.76	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.25	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
6.00	2	0.48	0.85	1.75	3.56	5.79	0.30x0.15	7.87	3247	667	2.75	5.10	1.60	1.84	68.77	#11@0.13	0.76	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.18	0.61	17 #6
6.25	2	0.51	0.91	1.83	3.66	5.99	0.30x0.15	8.70	3444	721	2.73	5.13	1.59	1.84	72.99	#11@0.13	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	#10@0.28	0.69	18 #6
6.50	2	0.53	0.98	1.85	3.84	6.22	0.30x0.15	9.60	3560	748	2.70	5.15	1.58	1.84	77.06	#11@0.13	0.76	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	#10@0.25	0.69	12 #8
6.75	2	0.56	1.04	1.93	3.96	6.45	0.30x0.15	10.54	3720	789	2.69	5.20	1.57	1.85	81.70	#11@0.10	0.76	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	#11@0.28	0.76	13 #8
7.00	2	0.58	1.10	2.01	4.09	6.68	0.30x0.15	11.52	3881	830	2.68	5.25	1.57	1.86	86.55	#11@0.10	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	#11@0.25	0.76	14 #8
7.25	2	0.61	1.33	2.08	5.00	6.96	0.30x0.15	13.70	3998	766	2.81	5.47	1.63	1.92	93.91	#11@0.10	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.15	0.46	#11@0.20	0.76	17 #8
7.50	2	0.64	1.61	2.26	6.40	9.30	0.30x0.15	19.80	3995	784	3.59	5.90	2.06	2.02	99.25	#11@0.08	0.76	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#11@0.18	0.76	17 #10

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 120 lb/ft^3
Friction angle = 30°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = 15°

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

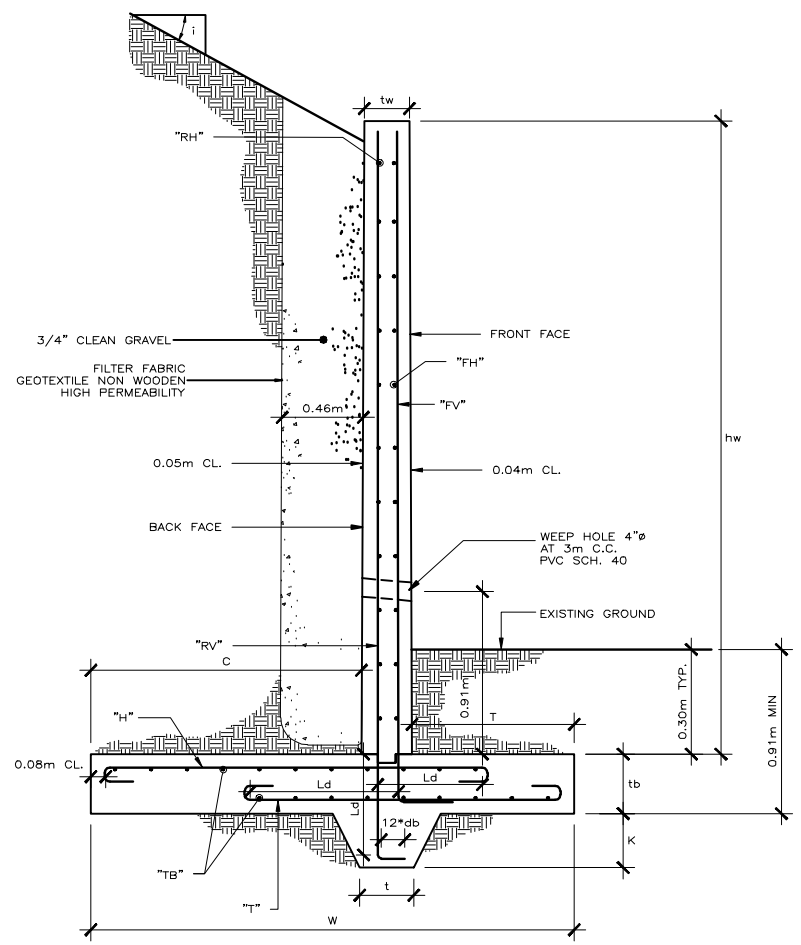
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

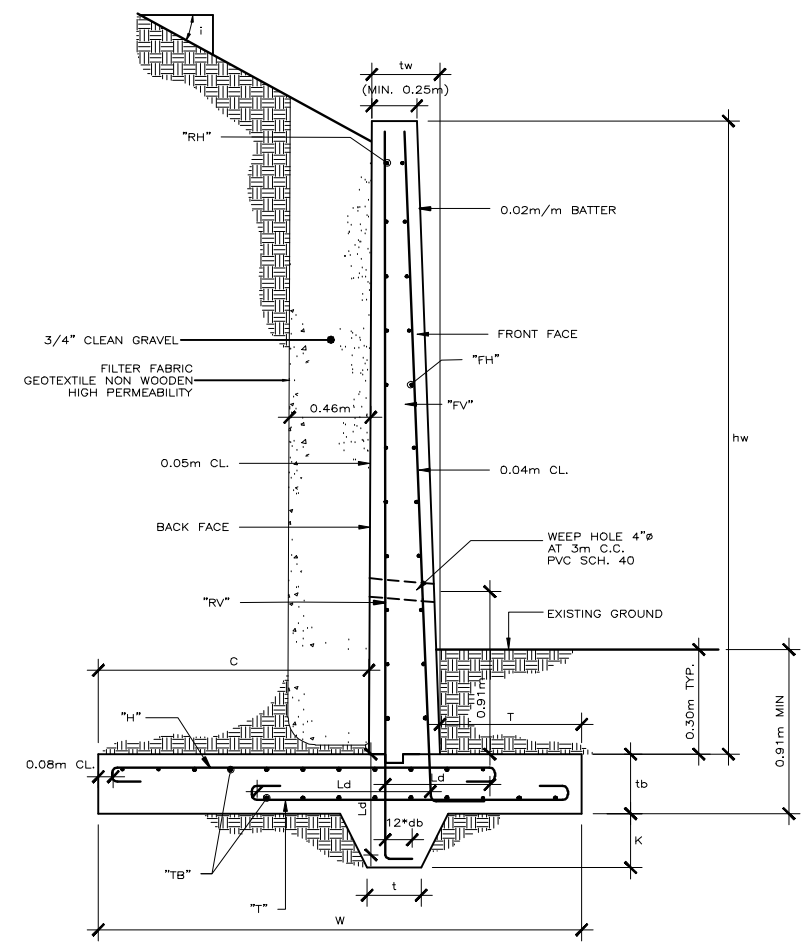
CONCRETE DIMENSIONS									SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY						REINFORCEMENT AREAS											
											Safety Factors					Stem						Base				
											Static		Earthquake													
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Base Soil Pressure Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.30	0.81	1.32	0.30x0.15	0.65	757	191	19.79	6.08	9.40	1.90	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.48	1.02	1.70	0.30x0.15	0.82	790	173	13.87	6.57	6.60	2.04	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.79	1.19	2.18	0.30x0.15	1.02	827	239	10.18	7.50	4.85	2.26	4.91	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
1.75	1	0.20	0.30	1.07	1.37	2.64	0.30x0.15	1.21	980	349	8.01	8.07	3.81	2.40	7.99	# 4@0.15	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.00	1	0.20	0.30	1.35	1.52	3.07	0.30x0.23	1.41	1139	440	11.53	8.40	5.46	2.47	12.40	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
2.25	1	0.20	0.30	0.71	1.75	2.67	0.30x0.23	1.34	1204	175	10.74	5.35	5.13	1.76	14.72	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.50	1	0.20	0.30	0.81	1.93	2.95	0.30x0.38	1.52	1298	172	21.13	5.32	10.01	1.75	21.16	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.75	1	0.20	0.30	0.91	2.08	3.20	0.30x0.46	1.67	1420	177	24.72	5.25	11.69	1.73	30.81	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.00	1	0.23	0.32	0.99	2.24	3.45	0.30x0.44	1.92	1542	185	20.35	5.26	9.65	1.73	31.91	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	9 #4
3.25	2	0.23	0.36	1.04	2.46	3.73	0.30x0.41	2.19	1626	193	15.48	5.28	7.36	1.74	45.59	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.13	0.30	10 #4
3.50	2	0.25	0.40	1.12	2.62	3.99	0.30x0.36	2.59	1770	216	11.50	5.35	5.49	1.75	45.98	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.25	0.46	12 #4
3.75	2	0.28	0.44	1.19	2.77	4.24	0.30x0.32	3.03	1914	240	8.56	5.42	4.11	1.76	47.83	#10@0.15	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	14 #4
4.00	2	0.30	0.50	1.27	2.95	4.52	0.30x0.27	3.54	2033	259	6.21	5.53	3.00	1.79	50.48	#10@0.15	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	17 #4
4.25	2	0.33	0.55	1.35	3.10	4.78	0.30x0.21	4.11	2187	289	4.38	5.60	2.15	1.80	53.68	#10@0.15	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	9 #6
4.50	2	0.33	0.60	1.40	3.33	5.05	0.30x0.23	4.61	2280	303	4.75	5.62	2.32	1.81	69.35	#11@0.13	0.76	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 8@0.28	0.61	11 #6
4.75	2	0.36	0.66	1.47	3.48	5.31	0.30x0.18	5.25	2433	333	3.45	5.68	1.71	1.82	72.58	#11@0.13	0.76	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 8@0.25	0.61	12 #6
5.00	2	0.38	0.72	1.55	3.63	5.56	0.30x0.15	5.94	2587	363	2.98	5.73	1.49	1.82	76.48	#11@0.13	0.76	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 8@0.23	0.61	14 #6
5.25	2	0.41	0.78	1.63	3.78	5.82	0.30x0.15	6.72	2746	396	2.94	5.79	1.47	1.83	80.89	#11@0.10	0.76	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.28	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
5.50	2	0.43	0.86	1.70	4.01	6.15	0.30x0.15	7.73	2930	446	2.87	5.78	1.44	1.83	89.17	#11@0.10	0.76	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.18	0.61	18 #6
5.75	2	0.46	0.93	1.78	4.17	6.40	0.30x0.15	8.65	3094	482	2.85	5.84	1.43	1.84	94.49	#11@0.10	0.76	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	#10@0.28	0.69	12 #8
6.00	2	0.48	1.00	1.80	4.39	6.68	0.30x0.15	9.64	3190	503	2.83	5.89	1.42	1.86	99.45	#11@0.08	0.76	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	#11@0.28	0.76	13 #8
6.25	2	0.51	1.08	1.88	4.55	6.93	0.30x0.15	10.71	3358	542	2.82	5.95	1.41	1.87	105.56	#11@0.08	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	#11@0.25	0.76	14 #8
6.50	2	0.53	1.16	1.96	4.70	7.19	0.30x0.15	11.82	3527	581	2.81	6.01	1.41	1.87	112.06	#11@0.08	0.76	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	#11@0.25	0.76	16 #8
6.75	2	0.56	1.23	2.03	4.85	7.44	0.30x0.15	12.99	3697	621	2.80	6.06	1.41	1.88	118.95	#11@0.08	0.76	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	#11@0.23	0.76	17 #8
7.00	2	0.58	1.31	2.06	5.05	7.70	0.30x0.15	14.25	3832	655	2.80	6.09	1.41	1.89	125.37	#11@0.08	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	#11@0.20	0.76	19 #8
7.25	2	0.61	1.64	2.18	6.43	8.03	0.30x0.15	17.62	3999	590	3.05	6.52	1.51	1.98	138.13	#11@0.05	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#8@0.28	0.61	#11@0.15	0.76	15 #10
7.50	2	0.66	2.17	3.96	9.19	13.79	0.30x0.15	34.95	4018	1999	3.01	9.35	1.46	2.84	253.68	#11@0.03	0.76	#4@0.23	#6@0.28	#6@0.25	#8@0.28	0.61	#11@0.13	0.76	31 #11

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
- Unit Weight = 120 lb/ft^3
- Friction angle = 30°
- Friction coeficient = 0.40

Backfill Slope, i = 18°

Material Properties:
- f'c = 3 ksi
- fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY: _____
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE : _____

APPROVED BY: _____
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE : _____

APPROVED BY: _____
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE : _____

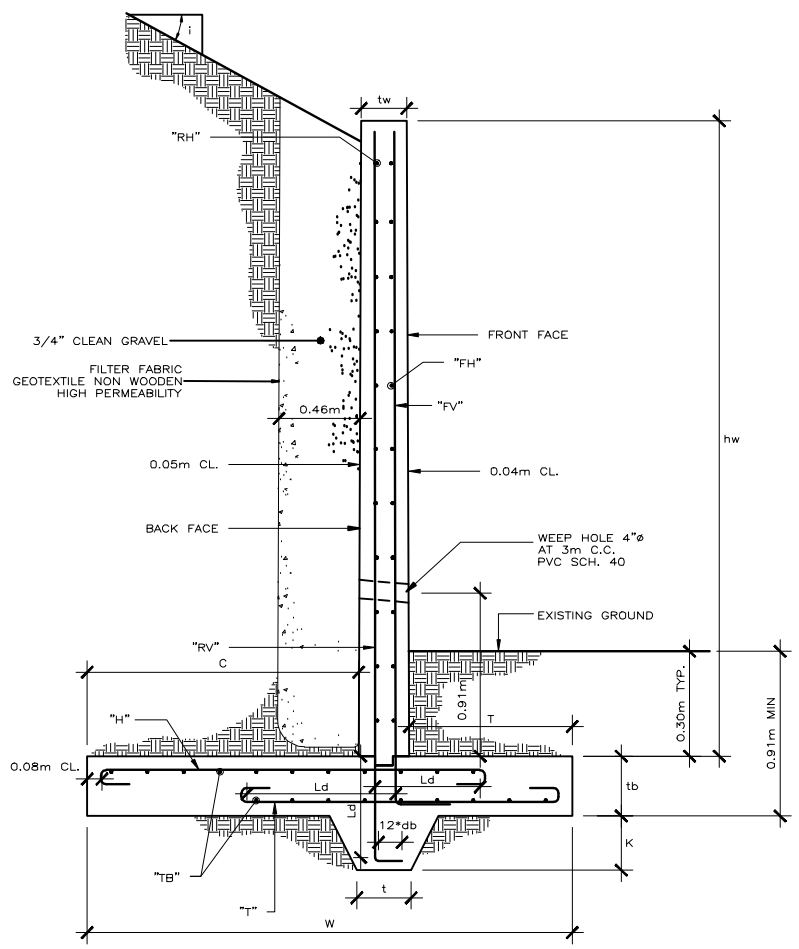
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

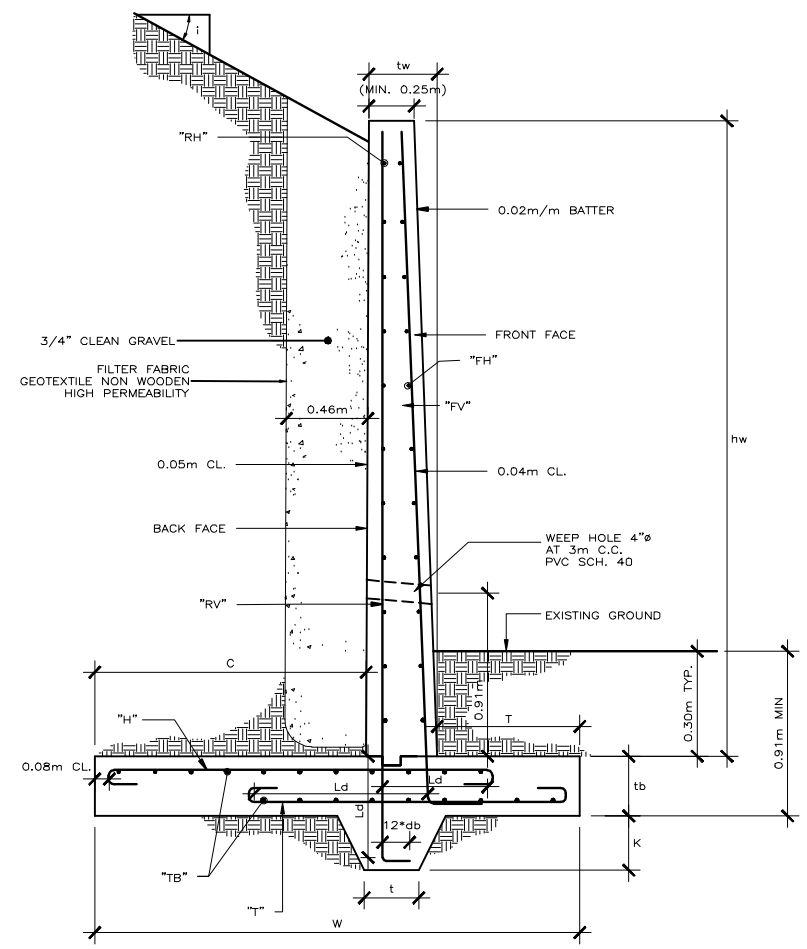
CONCRETE DIMENSIONS									SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY						REINFORCEMENT AREAS									
											Safety Factors					Stem						Base			
											Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Base Soil Pressure Toe (psf)	Base Soil Pressure Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.38	1.19	0.91	2.31	NONE	1.08	560	415	1.63	8.40	1.34	4.61	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.46	0.99	1.65	0.30x0.15	0.80	777	251	10.05	2.80	8.72	1.94	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.56	1.07	1.83	0.30x0.15	0.91	887	317	8.47	2.85	7.27	1.92	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.61	1.17	1.98	0.30x0.15	1.01	977	380	7.51	2.89	6.35	1.89	5.02	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.71	1.19	2.11	0.30x0.15	1.10	1121	463	6.79	2.98	5.66	1.87	6.65	# 4@0.18	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.25	1	0.20	0.30	0.76	1.30	2.26	0.30x0.15	1.19	1203	541	6.19	3.05	5.11	1.86	8.74	# 4@0.13	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.50	1	0.23	0.38	1.73	1.32	3.28	NONE	1.82	1155	671	1.58	6.84	1.24	3.27	9.30	# 4@0.13	0.30	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.13	0.30	# 4@0.18	0.30	9 #4
2.75	1	0.23	0.36	1.78	1.40	3.40	0.30x0.18	1.89	1243	696	7.61	6.66	5.90	3.14	11.78	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.13	0.30	# 4@0.18	0.30	9 #4
3.00	1	0.25	0.36	1.80	1.47	3.53	0.30x0.18	2.07	1347	725	7.17	6.59	5.47	3.04	12.36	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#6@0.28	0.46	# 4@0.18	0.30	10 #4
3.25	2	0.25	0.38	1.88	1.52	3.66	0.30x0.15	2.27	1454	743	5.73	6.51	4.34	2.94	15.36	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#6@0.28	0.46	# 4@0.18	0.30	11 #4
3.50	2	0.28	0.41	1.93	1.63	3.84	0.30x0.15	2.58	1574	790	5.53	6.57	4.15	2.91	16.17	# 6@0.15	0.46	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#6@0.25	0.46	# 4@0.18	0.30	12 #4
3.75	2	0.30	0.32	1.07	1.70	3.07	0.30x0.36	2.25	1945	786	14.76	3.45	11.11	1.80	17.10	# 8@0.28	0.61	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
4.00	2	0.30	0.33	2.06	1.75	4.11	0.30x0.36	2.69	1736	811	13.98	6.27	10.30	2.74	20.48	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#6@0.23	0.46	# 4@0.15	0.30	10 #4
4.25	2	0.33	0.36	2.08	1.85	4.27	0.30x0.33	3.02	1849	843	11.79	6.26	8.62	2.70	21.48	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#6@0.20	0.46	# 4@0.13	0.30	12 #4
4.50	2	0.36	0.41	1.22	1.96	3.53	0.30x0.27	3.14	2326	856	8.08	3.72	6.00	1.83	22.59	# 8@0.20	0.61	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 6@0.25	0.46	11 #4
4.75	2	0.36	0.41	2.21	1.98	4.55	0.30x0.28	3.62	2077	878	8.47	6.26	6.12	2.62	26.39	# 8@0.18	0.61	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#6@0.18	0.46	# 6@0.25	0.46	14 #4
5.00	2	0.38	0.48	1.35	2.08	3.81	0.30x0.29	3.81	2642	930	7.94	3.88	5.83	1.83	27.58	#10@0.28	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#4@0.13	0.30	# 6@0.20	0.46	14 #4
5.25	2	0.41	0.51	1.37	2.18	3.96	0.30x0.25	4.22	2755	943	6.56	3.94	4.81	1.83	28.87	#10@0.28	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.30	0.46	# 6@0.20	0.46	15 #4
5.50	2	0.41	0.50	2.31	2.26	4.98	0.30x0.27	4.78	2387	892	7.02	6.04	4.99	2.47	33.97	#10@0.23	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.15	0.46	# 6@0.20	0.46	18 #4
5.75	2	0.43	0.53	2.36	2.36	5.16	0.30x0.23	5.27	2516	939	5.96	6.14	4.21	2.48	35.35	#10@0.23	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#8@0.28	0.61	# 6@0.18	0.46	10 #6
6.00	2	0.46	0.57	2.39	2.46	5.31	0.30x0.20	5.80	2635	966	4.95	6.16	3.49	2.46	36.83	#10@0.20	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#8@0.28	0.61	# 6@0.18	0.46	11 #6
6.25	2	0.48	0.60	2.46	2.49	5.44	0.30x0.17	6.31	2772	956	4.25	6.14	3.00	2.43	38.58	#10@0.20	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#8@0.25	0.61	# 8@0.28	0.61	11 #6
6.50	2	0.51	0.63	2.51	2.62	5.64	0.30x0.15	6.93	2879	1016	4.00	6.22	2.82	2.44	40.42	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#8@0.25	0.61	# 8@0.28	0.61	12 #6
6.75	2	0.51	0.75	1.68	2.72	4.90	0.30x0.15	7.15	3642	1145	3.57	4.23	2.62	1.84	45.49	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
7.00	2	0.53	0.79	1.75	2.77	5.05	0.30x0.15	7.76	3825	1195	3.55	4.30	2.60	1.85	47.45	#10@0.15	0.69	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	# 8@0.20	0.61	14 #6
7.25	2	0.56	0.76	2.69	2.87	6.12	NONE	8.72	3323	1025	1.70	6.10	1.21	2.36	50.54	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#8@0.20	0.61	# 8@0.20	0.61	16 #6
7.50	2	0.58	0.80	2.74	2.97	6.30	NONE	9.42	3434	1062	1.72	6.14	1.22	2.36	52.69	#10@0.15	0.69	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#8@0.20	0.61	# 8@0.20	0.61	17 #6

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 120 lb/ft^3
Friction angle = 35°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = LEVEL

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

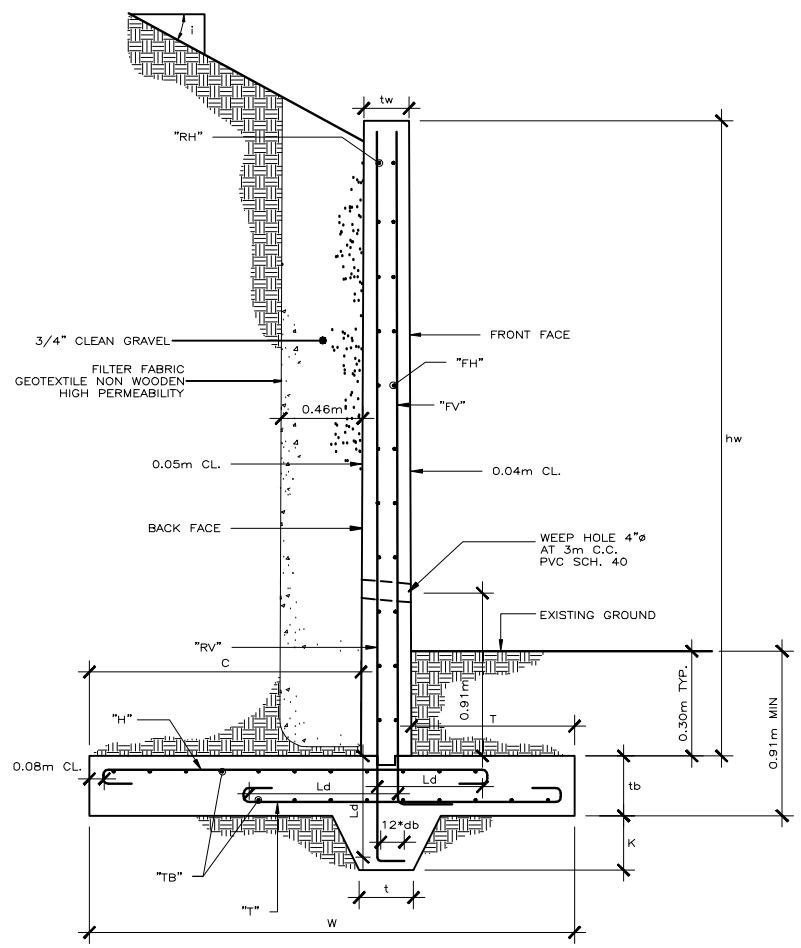
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

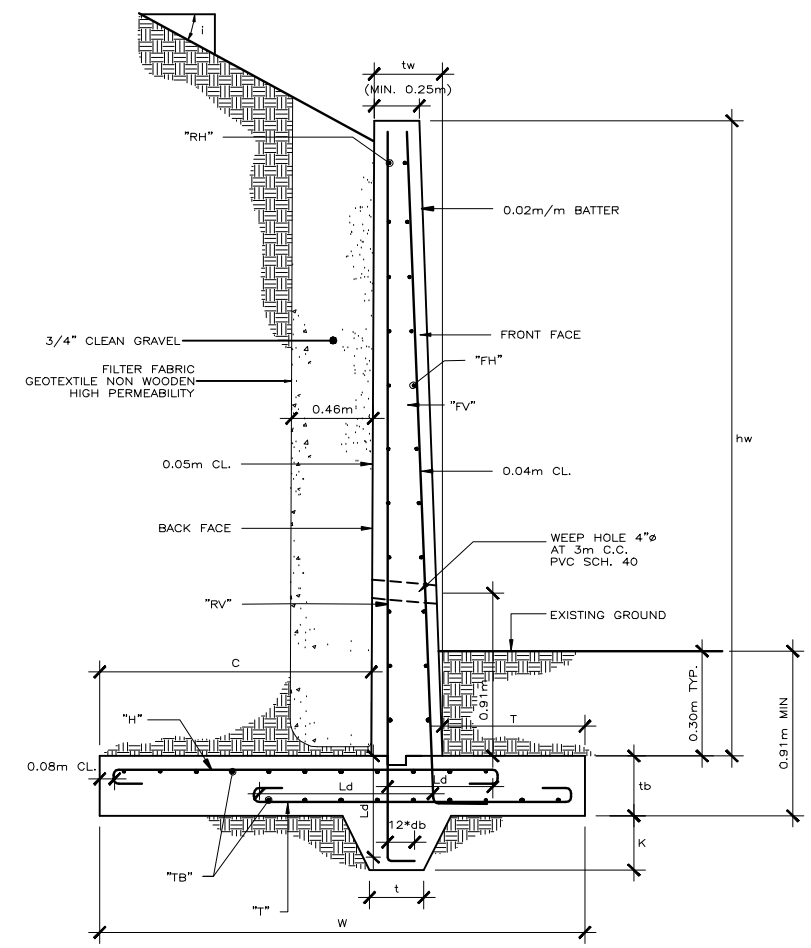
CONCRETE DIMENSIONS									SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY							REINFORCEMENT AREAS									
											Safety Factors					Stem						Base			
											Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Base Soil Pressure Toe (psf)	Base Soil Pressure Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.38	0.20	0.58	0.99	NONE	0.58	848	275	2.22	5.72	1.24	1.96	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	3 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.30	0.69	1.19	0.30x0.15	0.66	899	256	24.36	5.22	14.14	1.88	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.36	0.84	1.40	0.30x0.15	0.78	968	253	18.50	5.04	10.77	1.85	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.46	0.94	1.60	0.30x0.15	0.89	1089	269	14.52	5.00	8.48	1.84	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.63	1.09	1.93	0.30x0.15	1.04	1089	243	11.78	5.59	6.87	2.01	5.73	# 4@0.20	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.25	1	0.20	0.30	0.81	1.19	2.21	0.30x0.15	1.18	1174	250	9.84	5.89	5.74	2.08	8.28	# 4@0.15	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.50	1	0.20	0.30	0.97	1.35	2.51	0.30x0.23	1.34	1203	318	15.09	6.18	8.73	2.17	11.57	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.75	1	0.20	0.30	1.14	1.42	2.77	0.30x0.23	1.47	1328	364	12.91	6.30	7.47	2.19	15.98	# 6@0.15	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.20	0.30	1.30	1.57	3.07	0.30x0.38	1.66	1458	452	25.51	6.52	14.69	2.26	21.82	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.25	2	0.23	0.30	1.42	1.68	3.33	0.30x0.38	1.87	1587	504	22.28	6.61	12.83	2.27	22.61	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.50	2	0.23	0.33	1.57	1.83	3.63	0.30x0.43	2.13	1728	593	24.49	6.84	14.08	2.33	29.95	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	9 #4
3.75	2	0.25	0.36	1.70	1.90	3.86	0.30x0.40	2.47	1870	631	19.41	6.90	11.17	2.33	30.75	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.13	0.30	11 #4
4.00	2	0.28	0.40	1.83	2.06	4.17	0.30x0.36	2.89	2019	727	15.14	7.15	8.71	2.40	32.11	#10@0.25	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.13	0.30	# 6@0.25	0.46	13 #4
4.25	2	0.28	0.44	1.98	2.16	4.42	0.30x0.32	3.22	2163	779	11.81	7.23	6.80	2.41	40.69	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#6@0.25	0.46	# 6@0.23	0.46	15 #4
4.50	2	0.30	0.46	1.17	2.31	3.78	0.30x0.30	3.19	2303	425	10.27	4.79	6.02	1.78	37.09	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	13 #4
4.75	2	0.33	0.50	1.24	2.39	3.96	0.30x0.26	3.64	2495	473	7.77	4.83	4.59	1.78	38.80	#10@0.20	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	15 #4
5.00	2	0.36	0.55	1.32	2.49	4.17	0.30x0.22	4.12	2647	507	5.90	4.91	3.52	1.80	40.79	#10@0.18	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	8 #6
5.25	2	0.36	0.58	1.37	2.64	4.37	0.30x0.18	4.47	2748	524	4.63	4.90	2.79	1.80	48.80	#10@0.15	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 6@0.15	0.46	9 #6
5.50	2	0.38	0.64	1.45	2.77	4.60	0.30x0.15	5.09	2964	589	3.90	4.86	2.37	1.79	52.59	#10@0.15	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#6@0.25	0.46	# 8@0.25	0.61	10 #6
5.75	2	0.41	0.69	1.47	2.92	4.80	0.30x0.15	5.68	3064	605	3.83	4.88	2.33	1.79	54.67	#10@0.13	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.25	0.61	11 #6
6.00	2	0.43	0.74	1.55	3.02	5.00	0.30x0.15	6.35	3226	646	3.79	4.96	2.31	1.81	57.28	#10@0.13	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
6.25	2	0.46	0.79	1.63	3.10	5.18	0.30x0.15	7.02	3426	698	3.74	4.99	2.28	1.81	60.10	#10@0.13	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.20	0.61	14 #6
6.50	2	0.48	0.84	1.65	3.25	5.38	0.30x0.15	7.73	3530	717	3.70	5.01	2.25	1.82	62.81	#10@0.13	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	# 8@0.18	0.61	15 #6
6.75	2	0.51	0.90	1.73	3.33	5.56	0.30x0.15	8.49	3736	773	3.67	5.05	2.24	1.82	65.99	#11@0.15	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	#10@0.28	0.69	17 #6
7.00	2	0.53	0.96	1.75	3.48	5.77	0.30x0.15	9.31	3845	795	3.64	5.07	2.22	1.83	69.04	#11@0.13	0.76	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	#10@0.28	0.69	11 #8
7.25	2	0.56	1.05	1.83	3.81	6.02	0.30x0.15	10.44	3993	805	3.63	5.13	2.21	1.84	74.28	#11@0.13	0.76	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	#11@0.28	0.76	12 #8
7.50	2	0.58	1.30	1.90	4.95	6.20	0.30x0.15	12.46	3996	591	3.93	5.51	2.35	1.94	77.97	#11@0.13	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	#11@0.20	0.76	15 #8

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
- Unit Weight = 120 lb/ft^3
- Friction angle = 35°
- Friction coeficient = 0.40

Backfill Slope, i = 15°

Material Properties:
- f'c = 3 ksi
- fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY: _____
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE : _____

APPROVED BY: _____
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE : _____

APPROVED BY: _____
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE : _____

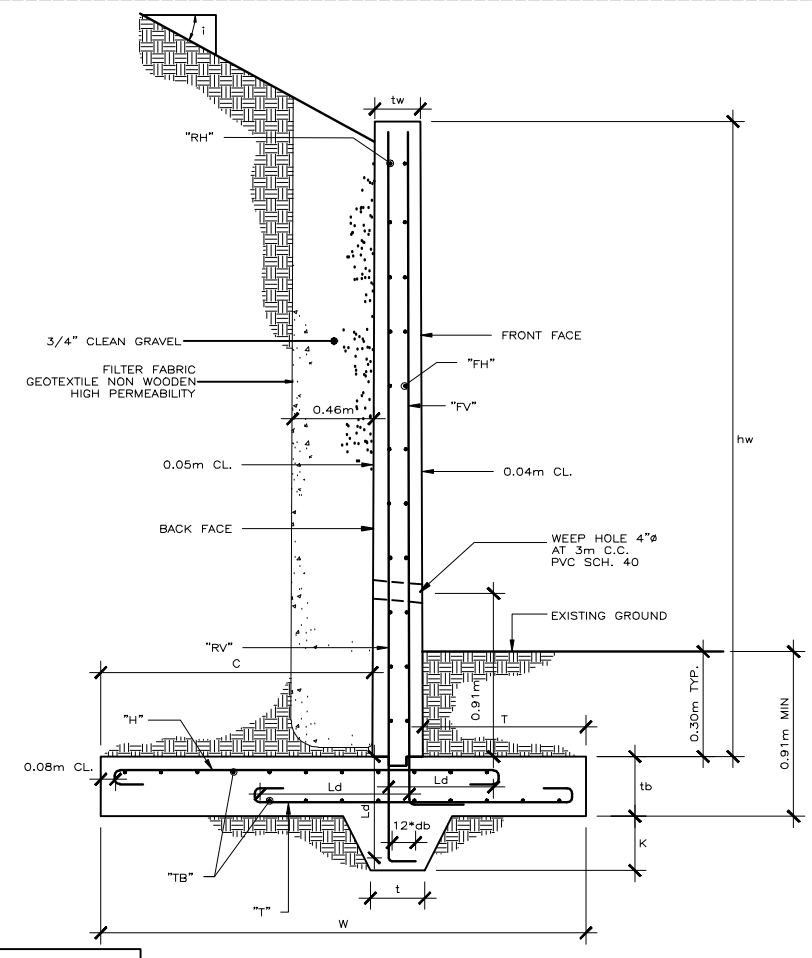
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

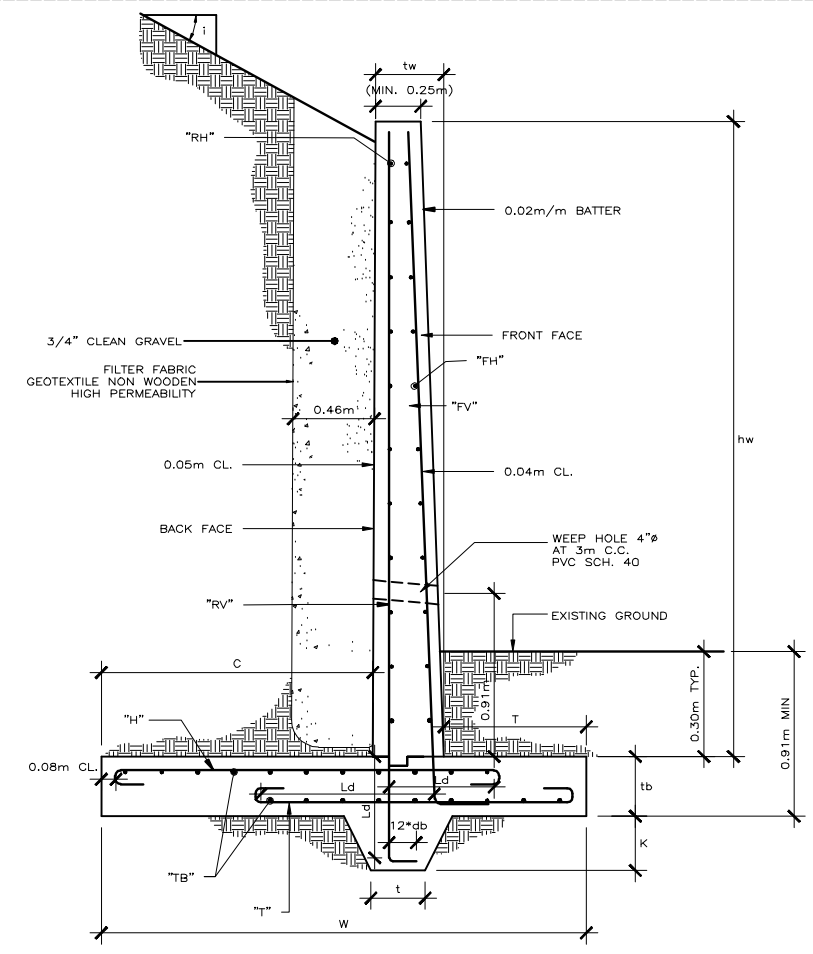
CONCRETE DIMENSIONS											SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS										
									Base Soil Pressure		Safety Factors					Stem						Base			
											Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.25	0.81	1.27	0.30x0.15	0.64	765	169	27.96	6.37	12.23	1.86	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.36	0.99	1.55	0.30x0.15	0.77	858	163	19.75	6.24	8.67	1.84	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.46	1.19	1.85	0.30x0.15	0.92	922	148	14.88	6.26	6.56	1.86	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.74	1.35	2.29	0.30x0.15	1.10	999	168	11.28	6.93	4.98	2.01	7.16	# 4@0.18	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.99	1.57	2.77	0.30x0.23	1.32	1068	307	16.31	7.61	7.12	2.17	11.26	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.25	1	0.20	0.30	1.24	1.75	3.20	0.30x0.38	1.55	1233	405	30.48	7.97	13.21	2.25	17.15	# 8@0.28	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
2.50	1	0.20	0.30	1.50	1.90	3.61	0.30x0.38	1.72	1397	485	24.93	8.18	10.81	2.29	25.99	# 8@0.18	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	9 #4
2.75	1	0.20	0.30	0.81	2.13	3.15	0.30x0.46	1.66	1396	120	34.49	5.55	15.01	1.72	28.78	#10@0.28	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.00	1	0.20	0.32	0.91	2.29	3.40	0.30x0.44	1.83	1531	125	28.17	5.52	12.28	1.71	45.49	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	9 #4
3.25	2	0.23	0.36	0.99	2.44	3.66	0.30x0.40	2.19	1675	144	20.80	5.63	9.11	1.73	42.96	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.13	0.30	10 #4
3.50	2	0.25	0.40	1.02	2.64	3.91	0.30x0.36	2.56	1772	152	15.93	5.66	7.00	1.74	43.02	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.25	0.46	12 #4
3.75	2	0.25	0.44	1.12	2.82	4.19	0.30x0.39	2.94	1900	167	16.50	5.74	7.25	1.75	63.95	#11@0.15	0.76	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	14 #4
4.00	2	0.28	0.50	1.14	3.02	4.44	0.30x0.27	3.40	2007	182	8.53	5.79	3.81	1.76	61.03	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	16 #4
4.25	2	0.30	0.55	1.22	3.15	4.67	0.30x0.21	3.94	2189	214	5.97	5.84	2.71	1.77	62.42	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	9 #6
4.50	2	0.33	0.61	1.30	3.30	4.93	0.30x0.23	4.56	2343	238	6.31	5.93	2.85	1.78	64.99	#11@0.15	0.76	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 8@0.28	0.61	11 #6
4.75	2	0.36	0.67	1.32	3.51	5.18	0.30x0.17	5.20	2454	256	4.55	5.97	2.09	1.79	67.47	#11@0.13	0.76	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 8@0.25	0.61	12 #6
5.00	2	0.36	0.72	1.42	3.68	5.46	0.30x0.15	5.78	2591	277	4.03	6.04	1.87	1.80	89.59	#11@0.10	0.76	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#4@0.15	0.30	# 8@0.23	0.61	14 #6
5.25	2	0.38	0.79	1.50	3.84	5.71	0.30x0.15	6.55	2749	305	3.97	6.11	1.84	1.82	92.29	#11@0.10	0.76	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#6@0.30	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
5.50	2	0.41	0.87	1.57	4.06	6.05	0.30x0.15	7.54	2932	348	3.88	6.12	1.81	1.82	100.77	#11@0.08	0.76	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.25	0.46	# 8@0.18	0.61	18 #6
5.75	2	0.43	0.94	1.60	4.27	6.30	0.30x0.15	8.45	3052	372	3.85	6.17	1.79	1.83	103.80	#11@0.08	0.76	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.25	0.46	#10@0.28	0.69	11 #8
6.00	2	0.46	1.02	1.68	4.42	6.55	0.30x0.15	9.45	3220	406	3.83	6.24	1.78	1.84	108.90	#11@0.08	0.76	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	#11@0.28	0.76	13 #8
6.25	2	0.48	1.09	1.75	4.55	6.78	0.30x0.15	10.47	3420	447	3.81	6.28	1.78	1.84	114.57	#11@0.08	0.76	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.23	0.46	#11@0.25	0.76	14 #8
6.50	2	0.51	1.16	1.78	4.75	7.04	0.30x0.15	11.52	3540	471	3.79	6.32	1.77	1.85	119.48	#11@0.08	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.20	0.46	#11@0.25	0.76	15 #8
6.75	2	0.53	1.24	1.85	4.90	7.29	0.30x0.15	12.72	3714	508	3.79	6.39	1.77	1.86	126.13	#11@0.08	0.76	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.20	0.46	#11@0.23	0.76	17 #8
7.00	2	0.56	1.33	1.88	5.11	7.54	0.30x0.15	13.97	3843	539	3.79	6.43	1.77	1.87	131.94	#11@0.08	0.76	#4@0.25	#4@0.15	#4@0.13	#6@0.18	0.46	#11@0.20	0.76	19 #8
7.25	2	0.58	1.69	2.01	6.71	7.87	0.30x0.15	17.58	3998	609	4.20	6.98	1.92	1.97	145.70	#11@0.05	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.18	0.46	#11@0.15	0.76	14 #11
7.50	2	0.61	2.19	3.96	9.19	13.74	0.30x0.15	34.72	4186	2100	4.00	9.93	1.78	2.80	232.09	#11@0.03	0.76	#4@0.25	#4@0.13	#6@0.28	#6@0.15	0.46	#11@0.13	0.76	31 #11

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
Unit Weight = 120 lb/ft^3
Friction angle = 35°
Friction coeficient = 0.40
Backfill Slope, i = 23°

Material Properties:
f'c = 3 ksi
fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION
AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

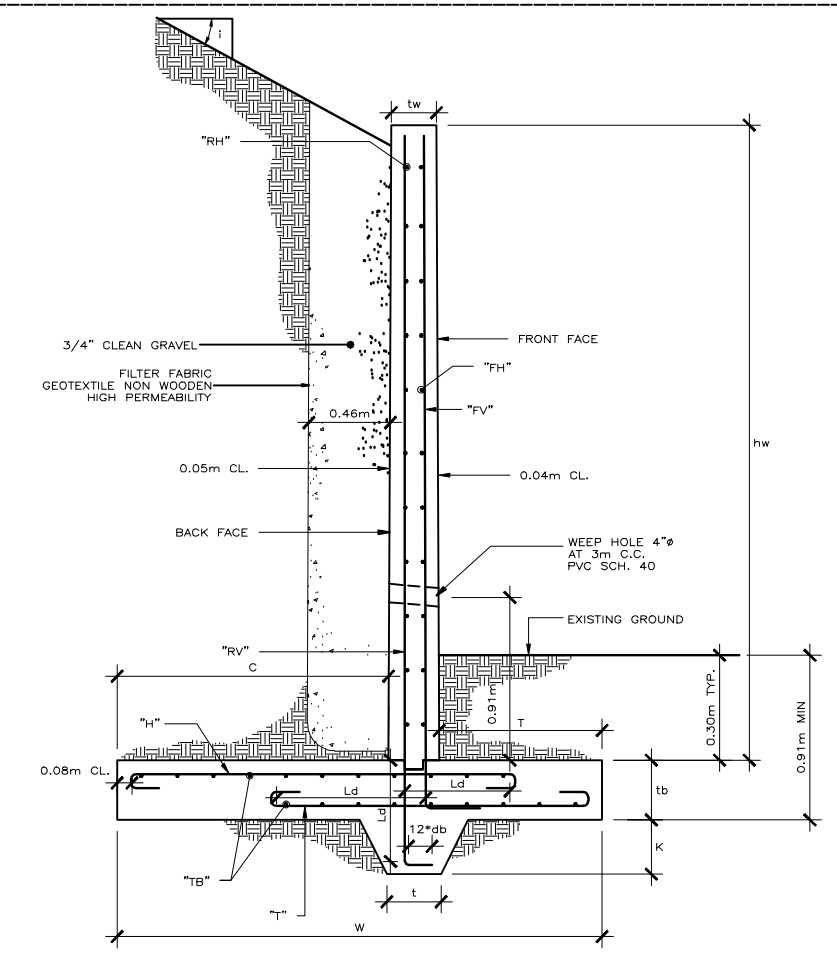
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

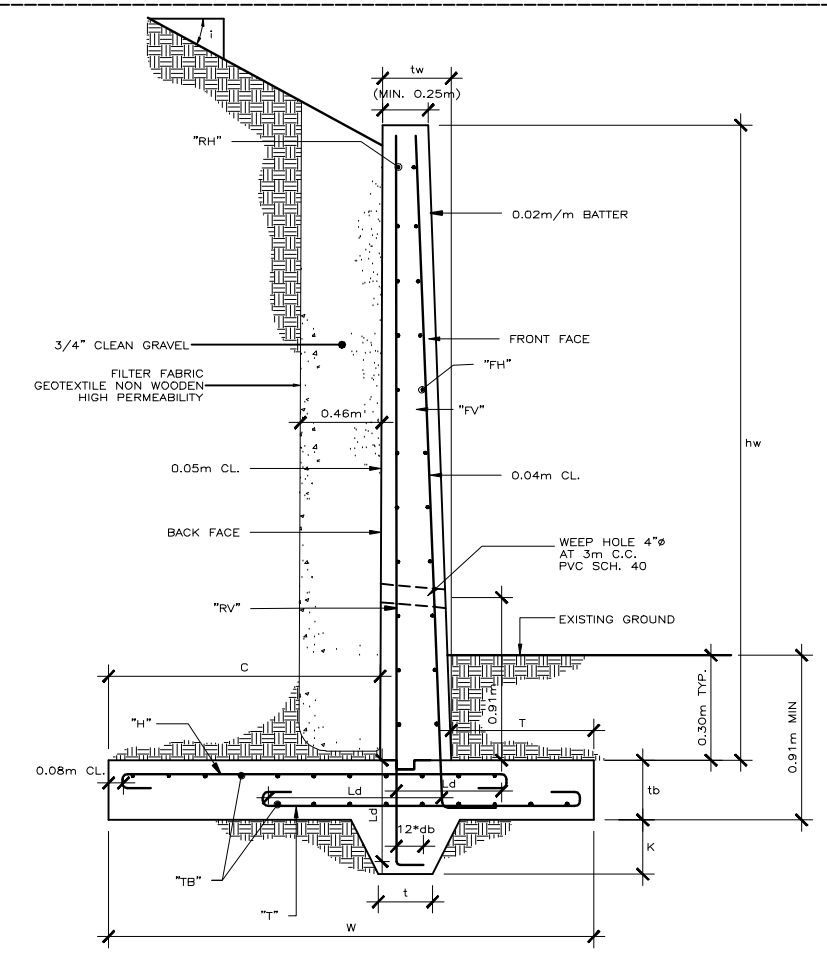
CONCRETE DIMENSIONS											SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS									
									Base Soil Pressure		Safety Factors					Stem						Base		
											Static		Earthquake											
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Toe (psf)	Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.38	0.74	0.84	1.78	NONE	0.88	547	352	1.61	5.96	1.32	3.43	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.25	1	0.20	0.38	0.91	0.89	2.01	NONE	1.02	636	387	1.61	6.09	1.30	3.36	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.50	1	0.20	0.38	1.04	1.02	2.26	NONE	1.17	701	434	1.60	6.27	1.28	3.37	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
1.75	1	0.20	0.38	1.12	1.04	2.36	NONE	1.26	803	449	1.59	5.99	1.26	3.13	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.00	1	0.20	0.38	1.19	1.12	2.51	NONE	1.36	890	488	1.60	5.99	1.25	3.03	5.34	# 4@0.23	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.25	1	0.20	0.38	1.22	1.19	2.62	NONE	1.45	980	499	1.58	5.78	1.21	2.87	7.06	# 4@0.18	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.50	1	0.20	0.38	1.27	1.22	2.69	NONE	1.53	1125	509	1.57	5.58	1.19	2.70	9.12	# 4@0.13	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.75	1	0.23	0.30	1.30	1.30	2.82	0.30x0.23	1.56	1157	500	15.19	5.40	11.60	2.60	9.50	# 6@0.28	0.46	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.00	1	0.23	0.30	1.32	1.37	2.92	0.30x0.23	1.65	1256	503	14.10	5.32	10.60	2.51	11.82	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.25	2	0.25	0.30	1.35	1.45	3.05	0.30x0.23	1.82	1364	511	12.99	5.26	9.67	2.44	12.37	# 6@0.23	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.50	2	0.25	0.30	1.42	1.55	3.23	0.30x0.23	1.94	1422	557	12.07	5.37	8.88	2.44	15.16	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
3.75	2	0.28	0.33	1.45	1.57	3.30	0.30x0.20	2.20	1622	562	9.71	5.26	7.12	2.35	15.76	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	9 #4
4.00	2	0.28	0.31	1.52	1.65	3.45	0.30x0.37	2.31	1698	559	22.57	5.28	16.28	2.33	18.90	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.13	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
4.25	2	0.30	0.34	1.55	1.73	3.58	0.30x0.35	2.61	1830	584	18.94	5.29	13.56	2.29	19.56	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#6@0.28	0.46	# 4@0.15	0.30	9 #4
4.50	2	0.33	0.36	1.57	1.83	3.73	0.30x0.32	2.94	1923	588	15.94	5.36	11.32	2.29	20.35	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#6@0.28	0.46	# 4@0.13	0.30	10 #4
4.75	2	0.33	0.39	1.63	1.90	3.86	0.30x0.29	3.18	2056	612	13.04	5.38	9.22	2.26	23.77	# 8@0.20	0.61	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#6@0.25	0.46	# 6@0.28	0.46	12 #4
5.00	2	0.36	0.42	1.65	1.98	3.99	0.30x0.27	3.53	2189	634	11.01	5.40	7.75	2.23	24.62	# 8@0.20	0.61	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#6@0.25	0.46	# 6@0.25	0.46	13 #4
5.25	2	0.36	0.44	1.73	2.03	4.11	0.30x0.32	3.79	2343	669	13.47	5.44	9.40	2.21	28.42	#10@0.28	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#6@0.23	0.46	# 6@0.23	0.46	14 #4
5.50	2	0.38	0.49	1.68	2.16	4.22	0.30x0.27	4.24	2525	712	10.34	5.17	7.21	2.12	30.07	#10@0.25	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#6@0.23	0.46	# 6@0.20	0.46	15 #4
5.75	2	0.41	0.53	1.70	2.24	4.34	0.30x0.23	4.70	2671	738	8.39	5.21	5.84	2.11	31.09	#10@0.25	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.23	0.46	# 6@0.18	0.46	8 #6
6.00	2	0.41	0.55	1.78	2.31	4.50	0.30x0.21	4.99	2784	749	7.23	5.30	5.02	2.11	35.32	#10@0.23	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.20	0.46	# 6@0.18	0.46	9 #6
6.25	2	0.43	0.59	1.80	2.36	4.60	0.30x0.17	5.47	2988	807	5.87	5.25	4.10	2.08	36.56	#10@0.20	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.20	0.46	# 8@0.30	0.61	10 #6
6.50	2	0.46	0.63	1.85	2.44	4.75	0.30x0.15	6.00	3129	837	5.31	5.31	3.71	2.08	37.91	#10@0.20	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.18	0.46	# 8@0.28	0.61	10 #6
6.75	2	0.48	0.66	1.90	2.54	4.93	0.30x0.15	6.56	3219	842	5.27	5.40	3.66	2.09	39.36	#10@0.20	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.18	0.46	# 8@0.25	0.61	11 #6
7.00	2	0.48	0.76	1.98	2.64	5.11	NONE	7.27	3367	881	1.80	5.55	1.23	2.12	44.16	#10@0.18	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.15	0.46	# 8@0.23	0.61	12 #6
7.25	2	0.51	0.76	1.96	2.72	5.18	NONE	7.63	3603	949	1.75	5.24	1.21	2.03	46.66	#10@0.15	0.69	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#6@0.15	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
7.50	2	0.53	0.79	2.01	2.82	5.36	NONE	8.25	3691	954	1.78	5.32	1.23	2.04	48.29	#10@0.15	0.69	#4@0.28	#4@0.15	#4@0.13	#8@0.28	0.61	# 8@0.20	0.61	14 #6

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
- Unit Weight = 120 lb/ft^3
- Friction angle = 40°
- Friction coeficient = 0.40

Backfill Slope, i = LEVEL

Material Properties:
- f'c = 3 ksi
- fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

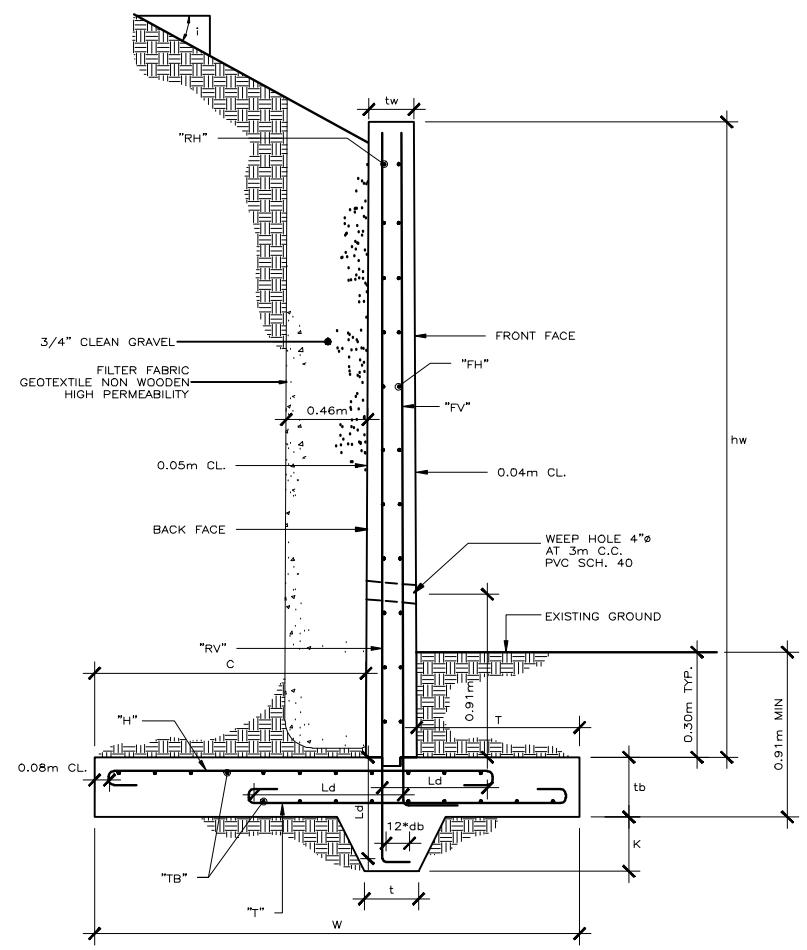
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

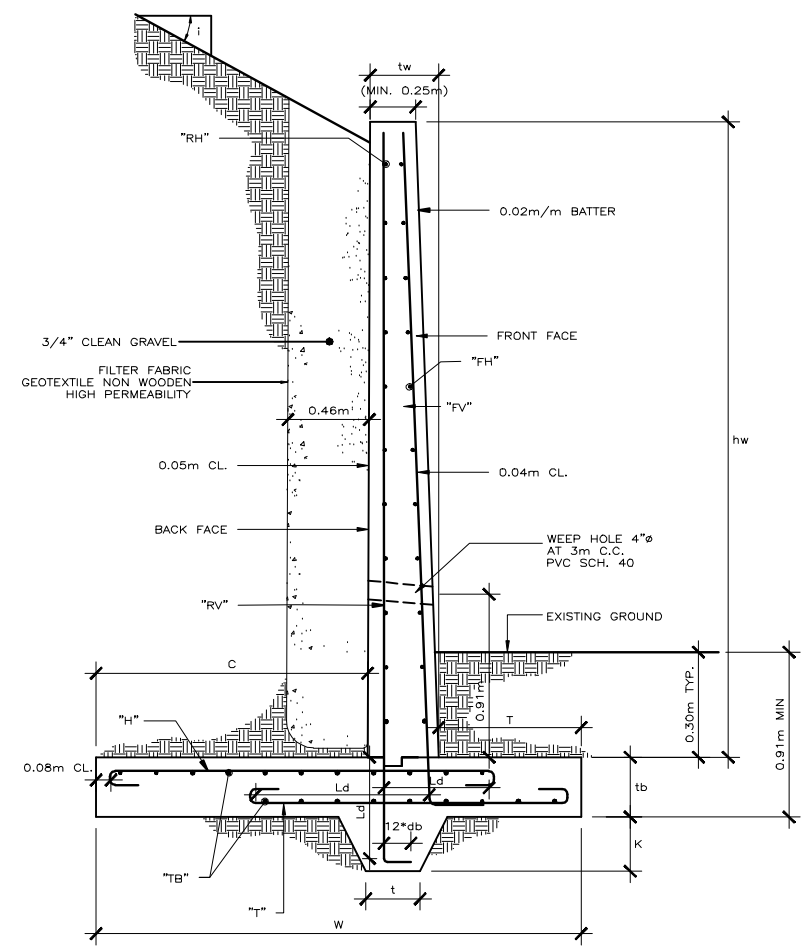
CONCRETE DIMENSIONS											SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS										
											Safety Factors					Stem						Base			
											Static		Earthquake												
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Base Soil Pressure Toe (psf)	Base Soil Pressure Heel (psf)	Sliding	Overturning	Sliding	Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.38	0.15	0.53	0.89	NONE	0.54	832	255	2.90	6.06	1.62	1.97	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	3 #4
1.25	1	0.20	0.38	0.25	0.61	1.07	NONE	0.66	971	279	2.48	5.86	1.40	1.93	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	3 #4
1.50	1	0.20	0.38	0.30	0.74	1.24	NONE	0.78	1048	278	2.17	5.61	1.23	1.90	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.75	1	0.20	0.38	0.36	0.86	1.42	NONE	0.90	1128	279	1.95	5.42	1.12	1.87	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.46	0.94	1.60	0.30x0.15	0.94	1199	262	18.79	5.14	10.94	1.82	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
2.25	1	0.20	0.30	0.51	1.07	1.78	0.30x0.15	1.05	1281	262	15.70	5.02	9.16	1.80	5.98	# 4@0.20	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.50	1	0.20	0.30	0.56	1.19	1.96	0.30x0.15	1.15	1364	262	13.39	4.93	7.84	1.78	8.16	# 4@0.15	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.75	1	0.20	0.30	0.66	1.27	2.13	0.30x0.23	1.28	1502	281	21.08	4.94	12.23	1.78	11.03	# 6@0.25	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
3.00	1	0.20	0.30	0.79	1.40	2.39	0.30x0.23	1.41	1534	263	18.26	5.22	10.59	1.85	14.75	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
3.25	2	0.20	0.30	0.89	1.52	2.62	0.30x0.38	1.57	1586	252	37.16	5.34	21.36	1.89	19.48	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.50	2	0.23	0.30	0.99	1.60	2.82	0.30x0.38	1.78	1704	266	32.65	5.46	18.78	1.91	19.92	# 8@0.25	0.61	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
3.75	2	0.23	0.32	1.12	1.73	3.07	0.30x0.37	1.95	1755	288	27.42	5.68	15.77	1.97	25.64	# 8@0.18	0.61	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	8 #4
4.00	2	0.25	0.34	1.19	1.85	3.30	0.30x0.34	2.25	1828	354	22.15	5.84	12.75	2.01	26.04	# 8@0.18	0.61	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	9 #4
4.25	2	0.25	0.37	1.30	1.93	3.48	0.30x0.39	2.50	1991	360	24.70	5.85	14.21	2.00	32.68	#10@0.23	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.28	0.46	10 #4
4.50	2	0.28	0.41	1.40	2.03	3.71	0.30x0.35	2.89	2102	427	19.33	6.04	11.14	2.04	33.22	#10@0.23	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.25	0.46	12 #4
4.75	2	0.30	0.44	1.47	2.16	3.94	0.30x0.32	3.29	2181	492	15.60	6.17	8.99	2.08	34.13	#10@0.23	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	13 #4
5.00	2	0.30	0.48	1.57	2.24	4.11	0.30x0.29	3.57	2344	498	12.58	6.17	7.27	2.07	41.44	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.13	0.30	# 6@0.20	0.46	15 #4
5.25	2	0.33	0.51	1.65	2.36	4.34	0.30x0.25	4.04	2433	564	9.96	6.29	5.77	2.09	42.37	#10@0.18	0.69	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#6@0.28	0.46	# 6@0.18	0.46	17 #4
5.50	2	0.36	0.57	1.65	2.49	4.50	0.30x0.20	4.56	2638	491	7.30	6.01	4.28	2.03	44.68	#10@0.18	0.69	#4@0.43	#4@0.23	#4@0.20	#6@0.25	0.46	# 6@0.18	0.46	9 #6
5.75	2	0.38	0.60	1.75	2.59	4.72	0.30x0.16	5.09	2750	556	5.89	6.15	3.47	2.06	46.36	#10@0.15	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#6@0.23	0.46	# 8@0.28	0.61	10 #6
6.00	2	0.38	0.64	1.85	2.72	4.95	0.30x0.15	5.51	2838	615	5.59	6.24	3.29	2.08	54.51	#10@0.13	0.69	#4@0.41	#4@0.20	#4@0.20	#6@0.20	0.46	# 8@0.25	0.61	11 #6
6.25	2	0.41	0.69	1.93	2.79	5.13	0.30x0.15	6.11	3009	630	5.51	6.27	3.25	2.08	56.13	#10@0.13	0.69	#4@0.38	#4@0.20	#4@0.18	#6@0.20	0.46	# 8@0.25	0.61	12 #6
6.50	2	0.43	0.73	2.01	2.92	5.36	0.30x0.15	6.77	3099	697	5.45	6.38	3.21	2.10	58.02	#10@0.13	0.69	#4@0.36	#4@0.18	#4@0.18	#6@0.18	0.46	# 8@0.23	0.61	13 #6
6.75	2	0.46	0.77	2.08	3.05	5.59	NONE	7.42	3189	763	1.83	6.48	1.11	2.13	60.13	#10@0.13	0.69	#4@0.33	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.18	0.46	# 8@0.20	0.61	15 #6
7.00	2	0.48	0.82	2.18	3.10	5.77	NONE	8.10	3389	776	1.86	6.51	1.13	2.12	62.57	#10@0.13	0.69	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#6@0.15	0.46	# 8@0.20	0.61	16 #6
7.25	2	0.48	0.88	2.21	3.23	5.92	NONE	8.72	3613	698	1.84	6.28	1.11	2.07	72.90	#11@0.13	0.76	#4@0.30	#4@0.18	#4@0.15	#8@0.28	0.61	# 8@0.18	0.61	18 #6
7.50	2	0.51	0.93	2.29	3.35	6.15	NONE	9.55	3707	766	1.87	6.38	1.13	2.09	75.31	#11@0.13	0.76	#4@0.30	#4@0.15	#4@0.15	#8@0.28	0.61	#10@0.28	0.69	11 #8

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
- Unit Weight = 120 lb/ft^3
- Friction angle = 40°
- Friction coeficient = 0.40

Backfill Slope, i = 15°

Material Properties:
- f'c = 3 ksi
- fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY:
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE :

APPROVED BY:
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE :

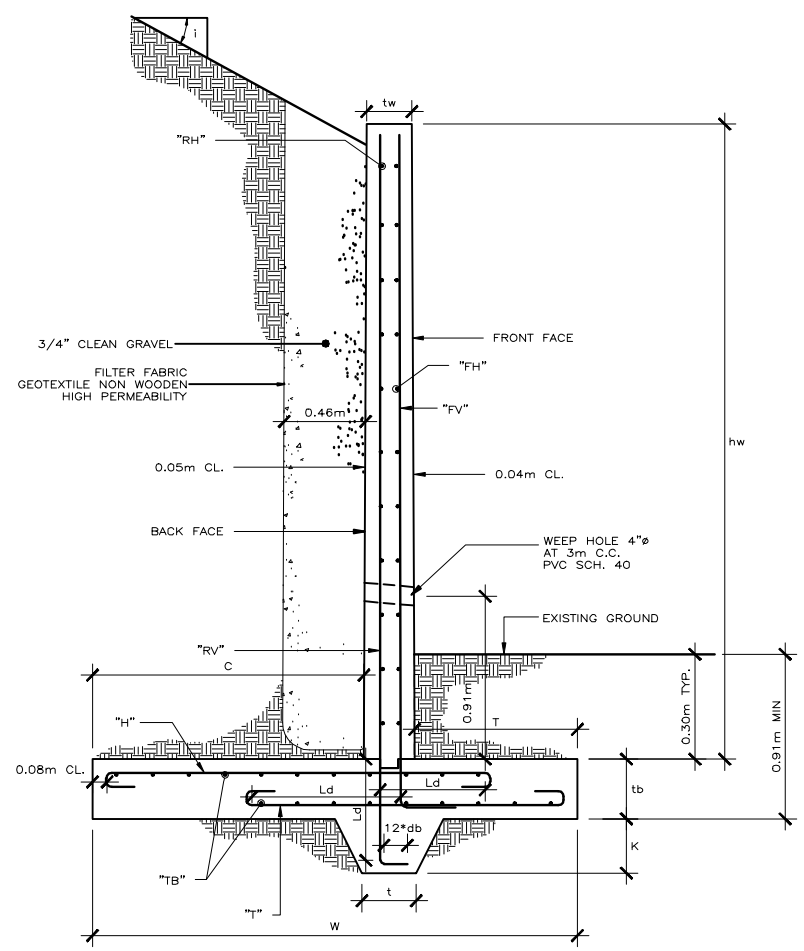
DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #

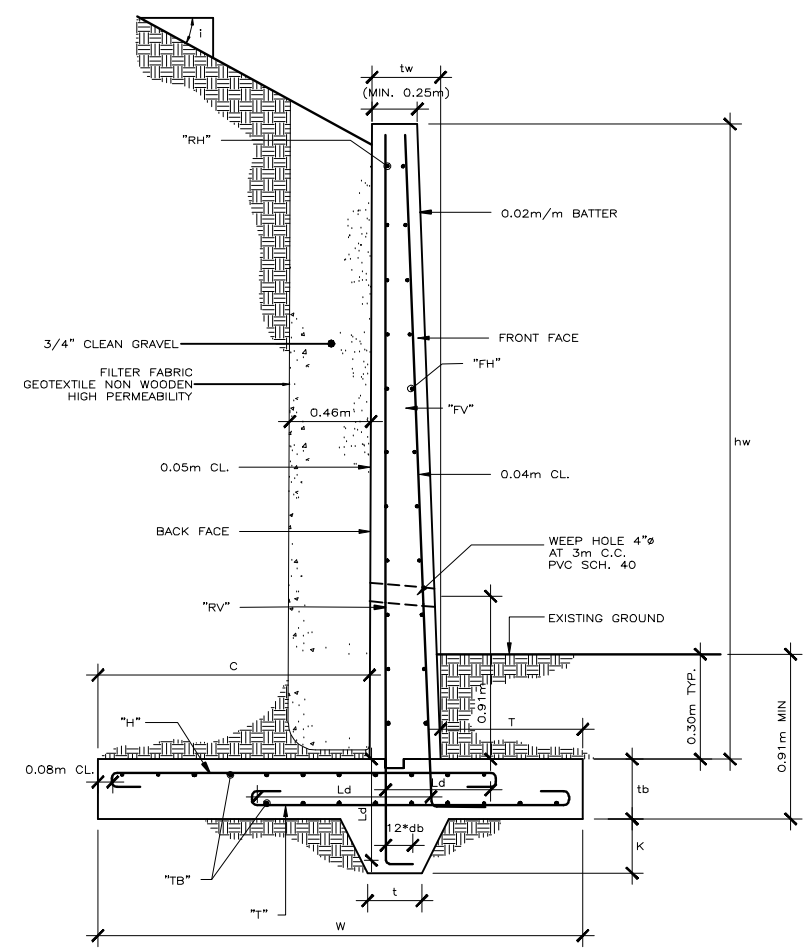
CONCRETE DIMENSIONS											SERVICE LOAD ANALYSIS SUMMARY				REINFORCEMENT AREAS											
									Base Soil Pressure		Safety Factors					Stem						Base				
Height Above Base hw (m)	Note	Stem Thickness tw (m)	Base Thickness tb (m)	Heel C (m)	Toe T (m)	Width of Base W (m)	Key t x k (m x m)	Concrete Quantity (cm/lm)	Toe (psf)	Heel (psf)	Static: Sliding	Static: Overturning	Earthquake: Sliding	Earthquake: Overturning	Area Req'd (cm^2/lm)	"RV" Bars (size@m)	Length into Base (m)	"RH" Bars (size@m)	"FV" Bars (size@m)	"FH" Bars (size@m)	"H" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"T" Bars (size@m)	Develop. Length (m)	"TB" Bars (Quant-size)
1.00	1	0.20	0.30	0.20	0.81	1.22	0.30x0.15	0.62	753	145	41.32	6.82	16.56	1.85	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.25	1	0.20	0.30	0.30	0.97	1.47	0.30x0.15	0.75	882	142	28.74	6.53	11.58	1.80	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	4 #4
1.50	1	0.20	0.30	0.36	1.17	1.73	0.30x0.15	0.88	957	130	21.86	6.30	8.85	1.77	4.66	# 4@0.25	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
1.75	1	0.20	0.30	0.46	1.35	2.01	0.30x0.15	1.01	1054	119	17.03	6.27	6.93	1.77	6.10	# 4@0.20	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	5 #4
2.00	1	0.20	0.30	0.58	1.55	2.34	0.30x0.15	1.17	1113	98	13.71	6.46	5.60	1.82	9.29	# 4@0.13	0.30	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	6 #4
2.25	1	0.20	0.30	0.81	1.70	2.72	0.30x0.23	1.36	1215	156	20.11	6.84	8.10	1.89	14.29	# 6@0.18	0.46	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	7 #4
2.50	1	0.20	0.30	1.02	1.93	3.15	0.30x0.38	1.58	1249	274	38.43	7.29	15.31	1.99	21.36	# 8@0.23	0.61	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	8 #4
2.75	1	0.20	0.30	1.24	2.08	3.53	0.30x0.46	1.77	1421	349	43.55	7.52	17.32	2.03	32.90	#10@0.23	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.18	0.30	9 #4
3.00	1	0.20	0.34	1.45	2.29	3.94	0.30x0.42	2.09	1595	450	32.02	7.88	12.75	2.10	59.37	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.41	#4@0.38	#4@0.15	0.30	# 4@0.15	0.30	10 #4
3.25	2	0.23	0.40	1.63	2.44	4.29	0.30x0.36	2.57	1780	533	22.26	8.19	8.88	2.15	55.87	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 6@0.25	0.46	13 #4
3.50	2	0.23	0.39	0.94	2.64	3.81	0.30x0.37	2.41	1773	94	23.35	5.96	9.41	1.72	60.08	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.36	#4@0.33	#4@0.15	0.30	# 6@0.28	0.46	11 #4
3.75	2	0.25	0.44	1.02	2.79	4.06	0.30x0.32	2.86	1919	110	16.80	6.09	6.82	1.74	55.12	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.33	#4@0.30	#4@0.15	0.30	# 6@0.23	0.46	14 #4
4.00	2	0.28	0.49	1.04	2.97	4.29	0.30x0.27	3.30	2044	124	12.49	6.10	5.12	1.74	54.35	#10@0.13	0.69	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.20	0.46	16 #4
4.25	2	0.28	0.55	1.14	3.15	4.57	0.30x0.29	3.77	2182	140	12.79	6.22	5.24	1.76	91.76	#11@0.10	0.76	#4@0.46	#4@0.30	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 6@0.18	0.46	9 #6
4.50	2	0.30	0.60	1.17	3.33	4.80	0.30x0.24	4.31	2312	157	9.42	6.24	3.91	1.76	76.74	#11@0.13	0.76	#4@0.46	#4@0.28	#4@0.25	#4@0.15	0.30	# 8@0.28	0.61	10 #6
4.75	2	0.33	0.66	1.24	3.48	5.05	0.30x0.18	4.96	2468	179	6.52	6.35	2.76	1.78	77.20	#11@0.13	0.76	#4@0.46	#4@0.25	#4@0.23	#4@0.15	0.30	# 8@0.25	0.61	12 #6

NOTES:

1. SEE RETAINING WALL DETAIL A
2. SEE RETAINING WALL DETAIL B



RETAINING WALL DETAIL A
N.T.S.



RETAINING WALL DETAIL B
N.T.S.

DESIGN OF CANTILEVERED RETAINING WALLS

Soil Properties:
- Unit Weight = 120 lb/ft^3
- Friction angle = 40°
- Friction coeficient = 0.40

Backfill Slope, i = 28°

Material Properties:
- f'c = 3 ksi
- fy = 60 ksi

COMMONWEALTH OF PUERTO RICO
DEPARTMENT OF TRANSPORTATION AND PUBLIC WORKS
HIGHWAY AND TRANSPORTATION AUTHORITY

RECOMMENDED BY: _____
DESIGN AREA DIRECTOR
DATE : _____

APPROVED BY: _____
EXECUTIVE DIRECTOR
DATE : _____

APPROVED BY: _____
DIV. ADM. FHWA-PR DIVISION
DATE : _____

DATE	REVISION	BY

STD. DWG. ### # of #