

4.5.4 La piedra debe colocarse cuidadosamente de preferencia a mano, sin dejarla caer o tirarla, para no causar daño a las formaletas, a las tuberías transversales en el caso de cabezales o al concreto adyacente parcialmente fraguado.

4.5.5 Podrá usarse piedra estratificada, siempre que sea colocada horizontalmente en relación a su plano de ruptura. Toda la piedra antes de ser colocada, debe limpiarse y mojarse con agua limpia, a modo de evitar que la piedra absorba agua del concreto. Cada piedra debe estar rodeada de por lo menos 25 centímetros de cualquier superficie ni a menos de 8 centímetros de cualquier otra superficie de la estructura que se está construyendo.

4.5.6 Si se interrumpe la fundición, al dejar una junta de construcción, deben dejarse piedras sobresaliendo no menos de 10 centímetros para formar llave. Antes de continuarse la fundición, debe limpiarse la superficie donde se colocará el concreto fresco, y mojarse la misma con agua limpia.

4.5.7 El concreto ciclópeo no se debe usar en elementos cuyo peralte sea menor de 40 centímetros y/o en las que el espesor sea menor de 30 centímetros.

4.6 Concreto

4.6.0.1 El concreto es una mezcla heterogénea de arena, grava, cemento y agua. En algunas ocasiones con aditivos que modifican sus características.

4.6.0.2 La economía de usar concreto reside en que tanto la grava como la arena y otros agregados están disponibles en forma abundante en casi todas las localidades.

4.6.0.3 El concreto puede ser de varios tipos; actualmente son los más conocidos el concreto de peso normal y el concreto liviano.

4.6.0.4 La resistencia del concreto depende de muchos factores tales como los materiales, el diseño de la mezcla, el colado y curado.

4.6.1 Dosificación del concreto

4.6.1.1 Las proporciones de los ingredientes del concreto deben establecerse con el objeto de garantizar el cumplimiento con los requisitos para la evaluación y aceptación del concreto con base en las pruebas de resistencia; la trabajabilidad, que es la consistencia adecuada para permitir que el concreto se trabaje fácilmente, dentro de las formaletas y alrededor del refuerzo, bajo las condiciones de colocación que van a emplearse, sin segregación o exudación excesivas; y la resistencia a aguas o suelos nocivos y otras condiciones hostiles, cuando se requiera.

4.6.1.2 Las proporciones del concreto pueden establecerse con base en la experiencia de campo, con materiales semejantes a los que se emplearán en la obra propuesta, o sobre la base de pruebas de tanteo en el laboratorio.

4.6.1.3 La dosificación debe realizarse en forma muy cuidadosa. Se recomienda tener en cuenta la siguiente tabla según sea el elemento estructural que se va a construir:

Tabla X. Tabla dosificación del concreto

Elementos	Cemento	arena	grava
Cimientos	1 parte	2 partes	2 ¹ / ₂ partes
Columnas y vigas	1 parte	2 partes	2 partes
Pisos	1 parte	2 partes	3 partes
Dinteles	1 parte	2 partes	3 partes

Fuente: AGIES. NR-4 inciso 4.6.1.3

4.6.1.4 Las partes se deben medir en el mismo recipiente como balde, cubeta o cajón.

4.6.1.5 Cuando se trate de estructuras pequeñas y si no se cuenta con experiencia de campo o con datos adecuados, de bachadas de tanteo en el laboratorio, pueden basarse las proporciones del concreto en los límites de la relación agua/cemento indicadas en la tabla siguiente:

Tabla XI. Tabla relaciones de agua/cemento

Resistencia (Kg/cm ²)	Resistencia (lbs/pulg ²)	Galones por saco	Litros/saco	Agua/cemento	Sacos de 42.5 Kg por m ³ de concreto
140	2000	8	30	0.71	6.5
175	2500	7	26.5	0.68	7
210	3000	6.5	24.5	0.58	7.5

Fuente: AGIES. NR-4 inciso 4.6.1.5

4.6.1.6 Las cantidades indicadas en tabla anterior no deben tomarse como límites cuando se apliquen los métodos normales de diseño de mezclas.

4.6.1.7 El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser preferente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales, como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero.

4.6.1.8 El agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable, puede usarse sin ensayos previos. Donde el lugar de abastecimiento sea poco profundo, la toma debe hacerse en forma que excluya sedimentos, toda hierba y otras materias perjudiciales.

4.6.2 Mezclado

El concreto debe mezclarse preferentemente en el lugar de la obra. También puede hacerse por medio de la combinación de una mezcladora en un punto central y camiones agitadores o mezcladores. El concreto se debe mezclar solamente en la cantidad que sea necesaria para el uso inmediato.

4.6.2.1 Mezcladoras estacionarias en el lugar de la obra

4.6.2.1.1 El contenido de la mezcladora debe ser totalmente vaciado del tambor, previamente a la colocación de la carga siguiente. El interior del tambor y la canaleta de descarga, deben mantenerse libres de acumulaciones de mezclas y lavarse con mucho cuidado, inmediatamente después y antes de cada fundición o cuando se interrumpa por más de 45 minutos la fundición.

4.6.2.1.2 Cada carga se debe introducir en tal forma dentro del tambor que parte del agua entre en el mismo antes del cemento y del agregado y continúe fluyendo dentro del tambor cuando menos durante 5 segundos después de que todo el cemento y los agregados estén en él. El agua debe quedar vertida totalmente dentro del tambor dentro de la primera cuarta parte del tiempo especificado de mezcla.

4.6.2.1.3 Para mezcladoras estacionarias, no mayores de una capacidad de cuatro yardas cúbicas (3m³), el tiempo total de mezclado debe ser no menor de un minuto y medio.

Por cada yarda cúbica adicional de capacidad, el tiempo puede incrementarse en un cuarto de minuto, y se debe continuar hasta lograr un concreto de consistencia uniforme y apariencia satisfactoria. En todo caso, el tiempo máximo de mezclado no debe sobrepasar de cinco minutos, a fin de evitar la rotura y la segregación del agregado.

4.6.2.1.4 El tiempo de mezclado será medido desde el momento en que los agregados y el cemento estén dentro del tambor y éste empiece a girar. El mezclado del concreto debe iniciarse dentro de los treinta minutos a partir del momento en el que el cemento entre en contacto con los agregados.

4.6.2.1.5 Si los agregados están muy húmedos o la temperatura ambiente es mayor de 30 °C (85°F) o existen otras condiciones que favorezcan el rápido endurecimiento de la mezcla, este tiempo debe reducirse a 15 minutos.

4.6.2.2 Mezclado manual

4.6.2.2.1 El mezclado manual debe hacerse en bachadas no mayores de 2/3 de yarda cúbica (1/2 de metro cúbico). La cantidad de agregado debe ser medida en cajones apropiados. La mezcla debe hacerse sobre una plataforma lisa e impermeable. La arena y el cemento deben mezclarse cuidadosamente por medio de palas mientras estén secos, hasta que la mezcla tenga un color uniforme, después de lo cual se formará un cráter agregando el agua en cantidad necesaria para obtener un mortero de adecuada consistencia.

El material de la parte exterior del anillo del cráter se palea entonces hacia el centro y se da vueltas a toda la masa cortándola, en secciones, hasta que se logre una consistencia uniforme.

4.6.2.2.2 Se humedece completamente el agregado grueso y se añade al mortero, dando vueltas y revolviendo toda la masa por lo menos seis veces, hasta que todas las partículas de piedra estén cubiertas de mortero y la mezcla sea de un color y apariencia uniformes. Las cargas mezcladoras a mano no deben usarse para concreto colocado debajo del agua.

4.6.2.2.3 Cuando se realice una mezcla de concreto, se debe realizar la prueba de la bola. Ésta consiste en formar una bola con la mezcla. Si no la puede formar, pues se desmorona, es porque le falta agua o arena. Si se escurre en las manos, se pasó de agua. Si se logra formar es que la mezcla es adecuada.

4.6.2.3 Mezclado en planta y transportado en camiones

4.6.2.3.1 Los camiones mezcladores o agitadores deben ser preferentemente del tipo tambor giratorio, y construidos de tal forma que el mezclado produzca un concreto homogéneo.

4.6.2.3.2 El concreto debe ser descargado, entregado y colocado dentro de hora y media después de que el cemento haya sido puesto en contacto con los agregados en la mezcladora.

4.6.2.3.3 Cuando existan condiciones de clima cálido, 30°C (85°F) o mayor, de mucho viento u otras que favorezcan el rápido endurecimiento de la mezcla, el límite de tiempo mencionado puede ser reducido a 1, hora si para el transporte se usan camiones agitadores, y a 45 minutos o menos, si se emplean otros medios de transporte desprovistos de agitadores.

4.6.2.3 Manejo y colocación de concreto

4.6.2.3.1 Todo el concreto debe ser fundido en horas del día y su colocación en cualquier parte de la obra no debe iniciarse si no puede completarse en dichas condiciones, a menos que se disponga de un adecuado sistema de iluminación.

4.6.2.3.2 Previamente a la colocación del concreto, debe limpiarse el interior de las formaletas, de aserrín, viruta, basuras y otras materias extrañas.

4.6.2.3.3 Cuando sea necesario, las formaletas de madera, las superficies de cimentación, y otras superficies que absorban humedad, se deben mojar antes de colocar el concreto.

4.6.2.3.4 No se debe exponer el concreto a la acción del agua antes del fraguado final. El concreto se debe depositar en seco. El concreto no debe exponerse durante su colocación o después de la misma a la acción de aguas o suelos que contengan sales alcalinas, hasta pasado un período de por lo menos 7 días.

4.6.2.3.5 Para el manejo del concreto desde la mezcladora hasta la colocación del mismo en su sitio final, deben usarse solamente aquellos métodos y equipo que reduzcan la segregación, la separación o pérdida de materiales, y aseguren el suministro de un concreto homogéneo y digno de confianza bajo todas las condiciones y procedimientos de colocación.

4.6.2.3.6 Donde las operaciones de colocación del concreto impliquen verterlo directamente desde una altura de más de dos metros, se debe depositar a través de tubos de lamina metálica u otro material aprobado.

4.6.2.3.7 El concreto debe colocarse tan cerca de su posición final como sea posible. No debe depositarse una gran cantidad de él en un determinado punto, para luego extenderlo o manipularlo a lo largo de las formaletas.

4.6.2.3.8 El concreto debe, durante y después de ser depositado, compactarse completamente, manipulándolo continuamente con una herramienta adecuada, o vibrándolo como se establece más adelante. Donde no se usen vibradores, todas las partes angostas deben ser bien paletadas y el mortero emparejado en la superficie, por el manejo continuo de un implemento para trabajar el concreto.

4.6.2.3.9 En todos los casos en que sea difícil colocar el concreto junto a las formaletas, debido a las obstrucciones producidas por el acero de refuerzo, o por cualquier otra condición, debe procurarse el contacto apropiadamente entre el concreto y las caras interiores de las formaletas, vibrando estas últimas. Las vibraciones se producen por vibradores de formaleta.

4.6.2.3.10 El concreto se debe colocar en capas horizontales continuas cuyo espesor no exceda generalmente de 30 centímetros. Cuando por razones de emergencia sea necesario colocar menos de una capa horizontal completa, en una sola operación, dicha capa debe de terminar en una sección vertical. En cualquiera de las capas, las descargas deben sucederse una tras otra, debiendo cada una de ellas colocarse y compactarse, antes de que la precedente haya alcanzado el fraguado inicial, para que no quede una separación entre las mismas. Cada capa de concreto se debe dejar algo áspera para lograr una liga eficiente en la capa subsiguiente. La capa superior, colocada antes de que la anterior haya fraguado, debe compactarse en forma tal, que evite la formación de una junta de construcción entre ambas.

4.6.2.3.11 Las capas que se completen en un día de trabajo o que hayan sido colocadas poco antes de interrumpir temporalmente las operaciones, se deben limpiar de toda la lechada o de cualquier otro material objetable, tan pronto como las superficies sean lo suficientemente firmes para retener su forma. Para evitar las uniones visibles en las caras expuestas, hasta donde sea posible, se les debe dar una acabado adecuado.

4.6.2.3.12 El método y manera de colocación del concreto se regulará en tal forma que todas las juntas de construcción se coloquen en las zonas de bajo esfuerzo cortante y en lo posible en sitios que no sean visibles.

4.6.2.3.13 La colocación del concreto por bombeo puede ser permitida dependiendo de la adaptabilidad del método a usarse en obra. El equipo debe disponerse en una forma tal que las vibraciones derivadas de su operación no dañen el concreto fresco, recién colocado.

4.6.2.3.14 Al emplear bombeo mecánico, la operación de la bomba debe ser tal, que se produzca una corriente continua de concreto sin bolsas de aire. Cuando se terminen las operaciones de bombeo, en caso de que se vaya a usar el concreto que quede en las tuberías, éste se debe expeler de tal manera que no se contamine o que se separen los agregados.

4.6.2.3.15 Al emplearse bombeo neumático, el equipo de bombeo debe colocarse lo más cerca posible del depósito de concreto. Las líneas de descarga deben ser horizontales o inclinadas hacia arriba respecto a la máquina de bombeo.

4.6.2.3.16 El concreto para las columnas debe colocarse en una operación continua. Debe dejarse que el concreto haya endurecido por lo menos 12 horas, antes de apoyar sobre ellas las vigas o losas.

4.6.2.3.17 El concreto de las vigas debe ser colocado en una sola operación, depositándolo uniformemente en capas horizontales a todo el largo de la viga.

4.6.2.3.18 Antes de colocar cualquier concreto para las losas se debe tener a mano una regla niveladora y herramientas de acabado aprobadas, para nivelar la superficie de la losa hasta obtener el nivel deseado.

4.6.2.3.19 El concreto debe colocarse en fajas como lo indican los planos y en su espesor total. El ancho de dichas fajas será tal que el concreto de cualquiera de ellas no alcance su fraguado inicial antes de que se efectúe la fundición de la siguiente. Al efectuar el trabajo, el concreto puede ser transportado en carretillas sobre la losa ya fundida, siempre que se usen tablonces para distribuir la carga sobre las vigas.

4.6.2.4 Reblandamiento del concreto. No se debe hacer ningún reblandamiento del concreto, agregándole más agua o por otros medios.

4.6.3 Vibrado

4.6.3.1 El vibrado se debe hacer para eliminar las burbujas de aire en el concreto y evitar futuras “ratoneras” o vacíos en los elementos estructurales, ya que debilitan su resistencia, rigidez y continuidad.

4.6.3.2 Una vez colocado el concreto en el sitio, se debe empujar con una varilla lisa y recta que tenga una punta redondeada.

4.6.3.3 A menos que se especifique de otra manera, todo el concreto debe ser compactado, usando para el efecto vibradores mecánicos, de tipo interno. Para fundiciones delgadas, donde las formaletas estén específicamente diseñadas para resistir la vibración, se pueden utilizar vibradores exteriores de formaleta. Para vibrar secciones delgadas fuertemente reforzadas, el constructor debe usar cabezas de un tamaño que permita la apropiada vibración del concreto sin causar desperfectos o molestias al acero de refuerzo, a las formaletas, ni al concreto adyacente ya endurecido.

4.6.3.4 La vibración debe ser de una intensidad y duración suficientes para producir la plasticidad y la adecuada consolidación del concreto, pero no debe extremarse hasta causar la segregación de los materiales. La intensidad de la vibración será tal que afecte visiblemente una masa de concreto de revenimiento o asentamiento de 2 centímetros, en un radio de por lo menos 45 centímetros.

4.6.3.5 Las vibraciones se deben aplicar en el punto de descarga y donde haya concreto depositado poco antes. Los vibradores no deben empujarse rápidamente sino que se les permita que ellos mismos se abran camino dentro de la masa de concreto y se retiren lentamente para evitar la formación de cavidades.

4.6.3.6 Los vibradores deben insertarse verticalmente, atravesar la capa que se está consolidando y penetrar unos centímetros en la capa colocada anteriormente, la que debe estar en estado plástico, a intervalos sistemáticos, de tal manera que se logre una compactación adecuada.

Los puntos de aplicación deben espaciarse uniformemente a distancias no mayores del doble del radio de vibración efectiva de los vibradores.

4.6.3.7 La vibración debe ser tal que el concreto sobre el refuerzo no fuerce a secciones o capas de concreto que hayan endurecido, a tal grado que el concreto no pueda volverse plástico por su revibración, y tampoco debe usarse como medio para transportar el concreto a lo largo de las formaletas ni para desplazar el mismo distancias tales que causen su segregación.

4.6.3.8 Con el fin de obtener un concreto debidamente compactado carente de cavidades, burbujas y similares, la vibración debe ser complementada por la compactación manual que sea necesaria a lo largo de las superficies de las formaletas y en la esquinas y puntos donde sea difícil obtener una vibración adecuada.

4.6.4 Curado

4.6.4.1 El concreto necesita tiempo de curado, porque no todas sus partículas reaccionan y se endurecen al mismo tiempo. Todas las superficies de concreto deben mantenerse húmedas por un periodo no menos de 7 días, después de haber sido colocado. Durante ese tiempo se debe proteger el concreto del viento y del sol y debe mantenerse tan húmedo como sea posible, especialmente los tres primeros días.

4.6.4.2 Inmediatamente después del retiro de las formaletas y la terminación del acabado de las superficies, el concreto puede ser curado por alguno de los métodos indicados a continuación. Si las formaletas de madera deben permanecer en su sitio por el período de curado, deben mantenerse húmedas todo ese tiempo. Deben tomarse las precauciones necesarias para proteger el concreto fresco contra las altas temperaturas, así como con los vientos que puedan causar un secado prematuro y la formación de agrietamientos superficiales. En caso necesario deben colocarse cortinas protectoras contra el viento hasta que el concreto haya endurecido lo suficiente para recibir una cubierta o tratamiento de curado.

4.6.4.3 Métodos de curado con agua

4.6.4.3.1 Las losas de concreto pueden ser cubiertas por:

- Tierra o arena mojada de un espesor mínimo de 5 centímetros.
- Lámina de agua, mantenida a un nivel tal que la superficie de la losa quede completamente sumergida durante el periodo de curado.
- Cubiertas apropiadas, como esterillas de algodón o brines empapados, membranas de polietileno, papel impermeable u otras cubiertas.

4.6.4.3.2 Todas las otras superficies de concreto pueden ser mantenidas húmedas mediante el uso de cubiertas apropiadas como las indicadas en el párrafo anterior o por medio de rociado o riego continuo de agua.

Para aquellas áreas que deban ser acabadas por frotado, podrá quitárseles las cubiertas provisionalmente para permitir el acabado, debiendo las mismas ser repuestas tan pronto como sea posible.

4.6.4.4 Compuesto líquido para curado

4.6.4.4.1 A todas las superficies se les debe dar el acabado superficial exigido antes de la aplicación del compuesto líquido para curado. Durante el periodo de curado, el concreto debe ser protegido por cubiertas húmedas o por rociado continuo. El compuesto líquido para curado debe ser de una consistencia apropiada para regarlos a las temperaturas existentes durante la construcción y formar una película continua y uniforme. Debe estar libre de materiales en suspensión causadas por las condiciones de almacenamiento o temperatura, ser relativamente antitóxico y de tal naturaleza que no reaccione con el concreto.

4.6.4.4.2 Además, si es del tipo transparente o translucido debe contener una tintura temporal para ayudar a obtener una cobertura uniforme. El color debe permanecer visible por lo menos 4 horas, al cabo de las cuales se esfumará dejando la superficie del concreto libre de cualquier cambio pronunciado de color, salvo un ligero oscurecimiento y carente de decoloración objetable.

4.6.4.4.3 El compuesto líquido debe aplicarse por medio de un equipo de rociado o regado a la velocidad indicada por el fabricante pero no menor de un galón para cada 150 pies cuadrados (1 litro cada 3.6 M2) de superficie de concreto. Todo el concreto curado por este método debe recibir dos aplicaciones del compuesto líquido para curado.

La primera capa debe aplicarse después del retiro de la formaleta y haber sido acabado el concreto. Si la superficie está seca, debe mojarse completamente con agua, aplicando el compuesto líquido de curado cuando desaparezca de la superficie la película de agua. La segunda aplicación se hace después de que haya secado y fraguado la primera capa.

4.6.4.4.4 Las capas de curado deben mantenerse protegidas contra daños por lluvia u otra forma, por un periodo no menor de 10 días. Si no se puede evitarse que se produzcan daños, debe exigirse la aplicación del curado con agua. Durante el tiempo caluroso, las superficies de concreto deben conservarse húmedas por curado continuo con agua por un periodo no menor de 24 horas, inmediatamente después del acabado de las mismas. Después de este periodo puede aplicarse compuesto líquido para curado (preferiblemente con pigmento blanco) o continuar con el curado con agua. Para temperaturas ambientales mayores de 32°C y vientos secos, es recomendable suspender el uso de compuesto líquido de curado y utilizar el método de curado con agua.

4.6.5 Remoción de las formaletas y de la obra falsa

4.6.5.1 El tiempo de remoción de las formaletas y obra falsa está condicionado por el tipo y localización de la estructura, el curado, el clima y otros factores que afecten el endurecimiento del concreto.

Si las operaciones de campo no están controladas por ensayos de especímenes de concreto, el siguiente cuadro puede usarse como guía para el tiempo mínimo requerido antes de la remoción de las formaletas y la obra falsa.

Tabla XII. Tiempo para remoción de formaleta

Tipo de elemento	Tiempo para remoción de formaleta
Vigas de luces de 3 metros o menos	10 a 14 días
Vigas con luces mayores de 3 metros	14 a 21 días
Losas	7 a 14 días
Muros	12 a 24 horas
Columnas	1 a 7 días
Lados y vigas y todas las demás partes	12 a 24 horas

Fuente: AGIES. NR-4 inciso 4.6.1.5

4.6.5.2 La remoción de formaletas y soportes se debe hacer cuidadosamente y en forma tal que permita al concreto tomar gradual y uniformemente los esfuerzos debidos a su peso propio.

ANEXO III

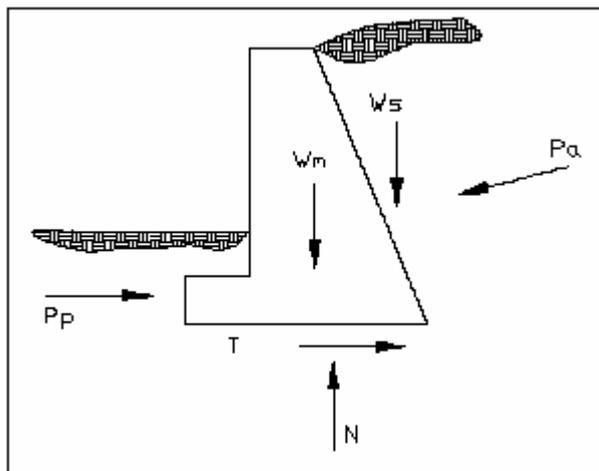
ANÁLISIS Y EL DISEÑO DE UN MURO POR GRAVEDAD HECHO CON CONCRETO CICLÓPEO

Para esto se debe de tomar en cuenta lo siguiente:

a. Fuerzas sobre el muro:

Las fuerzas que actúan, en forma general, sobre el muro, se muestran en la figura 19. Estas fuerzas se acostumbran tomar por unidad de longitud, ya sea por metro o por pie.

Figura 19. Fuerzas actuantes sobre el muro



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

Donde:

W_m = Peso del muro.

W_s = Peso del suelo.

P_a = Empuje activo.

P_p = Empuje pasivo.

T = Resistencia al deslizamiento.

N = Fuerza sustentante.

La fuerza sustentante soporta el peso del muro, el peso del suelo más las componentes verticales de las demás fuerzas. El empuje activo que se desarrolla al colocar el relleno y cuando actúan otras sobrecargas sobre la superficie del terreno, tiende a empujar el muro hacia el exterior. Este movimiento hacia fuera es contrarrestado por la resistencia al deslizamiento en la base del muro y por la presión pasiva del suelo o del agua situada por delante del muro.

El empuje activo también tiende a volcar el muro alrededor de su pie. Este vuelco es contrarrestado por el peso del muro y por la componente vertical del empuje activo. Así pues, el peso del muro es importante por dos razones:

- Se opone al vuelco del muro.
- Da lugar a una resistencia al deslizamiento en la base.

Un muro de gravedad con concreto ciclópeo, junto con el relleno que sostiene y el suelo que soporta, constituyen un sistema con un grado elevado de indeterminación. Las magnitudes de las fuerzas que actúan sobre un muro no pueden determinarse únicamente a partir de la estática, además, estas magnitudes resultarán afectadas por la secuencia de las operaciones de construcción y relleno. Por esto, el análisis de un muro de este tipo se basa no solo en un cálculo de las fuerzas que existirían en caso que el muro comenzara a fallar, debido a cargas dinámicas producidas por desastres naturales.

El primer paso para el cálculo del muro será prever el sistema de deformaciones que conducirán a la falla. Al desplazarse el muro hacia fuera, un mínimo espacio, el suelo de relleno se mueve hacia el muro y hacia abajo. Estos movimientos son la causa de que la falla se produzca a través de una zona activa, es decir, toda la resistencia por fricción se movilizó en dicha zona.

Una segunda zona de falla por corte, o sea la zona pasiva, se desarrolla al pie del muro, cuando éste empuja contra el suelo.

El empuje activo y pasivo de tierras es calculado, ya sea con las ecuaciones de Coulomb o con las ecuaciones de Rankine. Éstas se presentan a continuación:

Ecuación de Rankine:

$$P_a = K_a * \gamma * H^2/2 \quad \text{y} \quad P_p = K_p * \gamma * H^2/2$$

Donde:

P_a = Empuje activo de tierras.

P_p = Empuje pasivo de tierras.

γ = Peso unitario del suelo.

H = Altura del muro.

K_a = coeficiente de presión activa.

K_p = Coeficiente de presión pasiva.

El coeficiente de la presión activa depende únicamente de ϕ (ángulo de fricción interna) y de β (ángulo del talud del terreno) de esto Rankine dedujo la siguiente fórmula:

$$K_a = \cos \beta * \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

Donde:

β = Ángulo del talud del terreno.

ϕ = Ángulo de fricción interna.

Al igual que el coeficiente de empujes activos, el coeficiente de empujes pasivos solamente depende de ϕ y de β

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

$$K_p = 1 / K_a$$

Donde:

β = Ángulo del talud del terreno

ϕ = Ángulo de fricción interna

Algunos diseñadores usan la presión hidrostática que produciría un flujo imaginario, cuyo peso específico fuera γ_f , que se llama peso específico equivalente. A esta forma de hallar los empujes se le llama equivalente líquida o equivalente fluida. Esto no es más que la modificación de la fórmula de Rankine en la que:

$$\gamma_f = K_a \gamma \quad \text{o} \quad \gamma_f = K_p \gamma$$

Ecuación de Coulomb:

$$P_a = K_a \gamma H^2/2 \quad \text{y} \quad P_p = K_p \gamma H^2/2$$

Donde:

P_a = Empuje activo de tierras.

P_p = Empuje pasivo de tierras.

γ = Peso unitario del suelo.

H = Altura del muro.

K_a = coeficiente de presión activa.

K_p = coeficiente de presión pasiva.

Para el caso activo, la teoría de Coulomb, la forma del coeficiente del empuje activo de tierras depende de las siguientes variables: ϕ , α , β , δ y es independiente de γ y de H

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \phi)}{\text{sen}^2 \alpha * \text{sen}(\alpha - \delta) * \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) * \text{sen}(\phi - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta) * \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

El coeficiente de presión pasiva depende también de las variables anteriormente mencionadas, y tiene la siguiente forma:

$$K_p = \frac{\text{sen}^2(\alpha - \phi)}{\text{sen}^2 \alpha * \text{sen}(\alpha + \delta) * \left[1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) * \text{sen}(\phi + \beta)}{\text{sen}(\alpha + \delta) * \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Si la teoría de Coulomb es la usada para determinar los empujes, en ésta se asume que hay un pequeño deslizamiento en la cara posterior del muro y que la presión de la tierra actúa a un ángulo δ (fricción suelo – muro) formado con la normal al muro.

La solución de Rankine aplica la presión activa a un ángulo β con la horizontal, sobre un plano vertical que pasa por el extremo de la base

b. Dimensionamiento:

El diseño de un muro por gravedad empieza con la selección de dimensiones tentativas. Con estas dimensiones se hace el análisis de la estabilidad del muro y los requerimientos estructurales y, si es necesario, se reajustan las mismas.

Como éste es un procedimiento de “tanteos”, son varias las soluciones que se pueden obtener. Todas estas soluciones son, pues, satisfactorias a los requerimientos planteados.

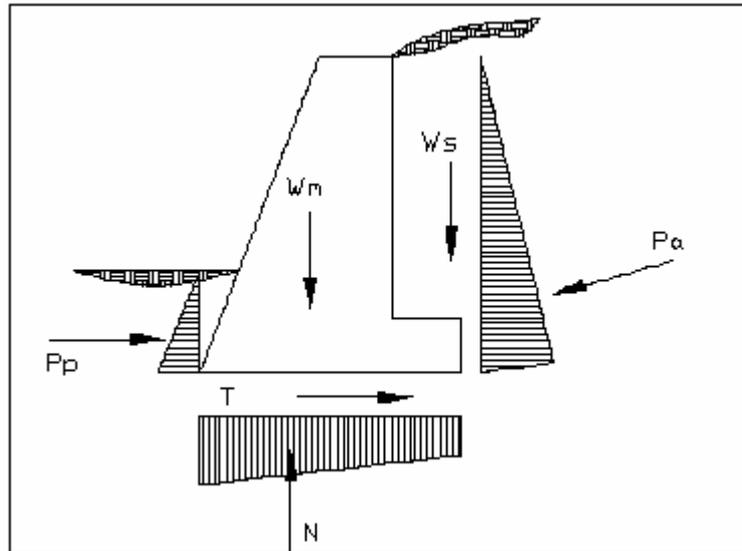
La base y otras dimensiones del muro deben ser tales que la resultante o fuerza sustentante caiga en el tercio medio. Si esto es así, por lo general el muro es una estructura estable. La parte superior del muro debe ser, al menos, de 30 centímetros, pudiendo variarse hasta $H/8$.

c. Estabilidad contra deslizamiento:

Es común, en la práctica, tomar en cuenta el suelo del frente del muro, solamente hasta la altura de la base del muro, en el análisis de estabilidad contra deslizamiento. El suelo en esta parte provee una presión pasiva resistente cuando el muro tiende a deslizarse dentro de ésta. Por lo tanto, si el suelo fuera excavado por alguna razón, después que el muro sea construido, esta presión pasiva dejaría de ser efectiva y se tendría una falla por deslizamiento en potencia.

La resistencia a la fuerza de deslizamiento a lo largo de la base se identifica con la letra T.

Figura 20. Diagrama de presiones de un muro por gravedad



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

La fuerza sustentante es igual a la suma de fuerzas verticales, incluyendo la componente vertical del empuje.

$$N = \Sigma F_v$$

La resistencia al deslizamiento no es más que:

$$T = fN$$

Donde:

F = Factor de deslizamiento.

N = Fuerza sustentante.

El coeficiente de fricción, f , se toma como la tangente del ángulo de fricción externa ($2/3 \phi$):

$$f = \text{tg} (2/3 \phi)$$

En cuanto el factor de seguridad para el análisis de estabilidad contra el deslizamiento se tiene:

$$\text{f.s.} = \text{FR}/\text{Pah}$$

Donde:

f.s. = Factor de seguridad.

FR = Fuerza resistente.

Pah = Empuje activo horizontal.

d. Estabilidad contra el volteo:

El empuje sobre el muro, tiende a volcar éste alrededor de su pie o base (punto 0). Este momento de volteo es equilibrado por el momento que desarrolla el peso del muro.

Para el análisis de estabilidad contra volteo se tiene:

$$f.s. = M_e/M_v$$

Donde:

f.s. = Factor de seguridad contra volteo.

M_e = Momento estabilizante.

M_v = Momento de volteo.

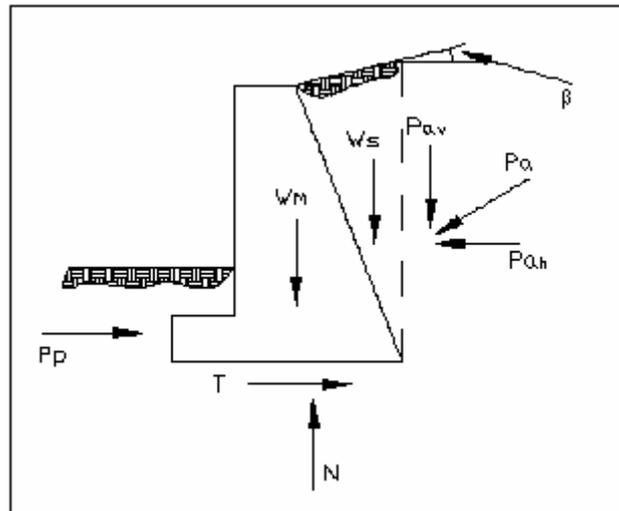
El momento estabilizante está dado por el peso de la estructura, el peso del suelo, la componente vertical del empuje y el empuje pasivo del frente del muro.

El momento de volteo está dado por el empuje horizontal que actúa sobre el muro.

El factor de seguridad contra el volteo es usual tomarlo también como de 1.5, aunque puede ser mayor. Existen varias maneras de determinar el factor de seguridad, para un problema dado (sismos, lluvias, deslaves, etc.) depende del procedimiento.

Por lo general si la resultante N cae en el tercio medio de la base, la estabilidad contra el volteo es adecuado.

Figura 21. Componentes h y V de la presión activa



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

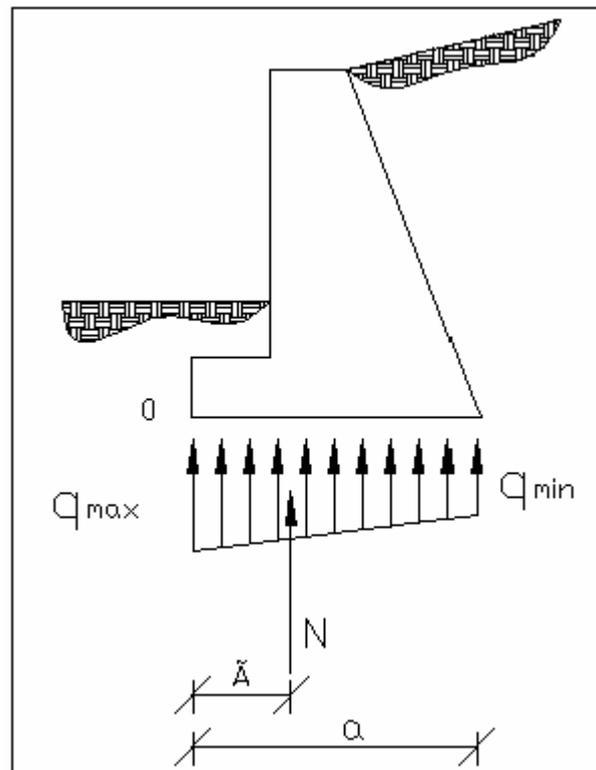
e. Capacidad soporte:

Para el diseño de los muros que trabajan por gravedad es muy importante tomar en cuenta la capacidad soporte del suelo, ya que no se debe sobrepasar la capacidad del mismo, a causa de la absorción de cargas.

Se debe procurar que la resultante N , fuerza sustentante caiga en el tercio medio de la base, con el objeto de tener una distribución de presiones, como la que se muestra en la figura 22.

Es muy importante que en esta distribución de presiones no haya tensiones, pues el suelo no es capaz de absorberlas.

Figura 22. Distribución de presiones en la base del muro



Fuente: Jorge Estuardo González. Trabajo de graduación.

La resultante vertical N , que actúa en la base es igual a la suma de las fuerzas verticales que actúan sobre el muro. Puede tener una excentricidad “ e ”, con respecto al centroide de la base.

Tomando momentos alrededor del punto 0, se tiene:

$$M_N = M_E - M_V$$

Donde:

M_N = Momento neto que actúa sobre el muro.

M_E = Momento estabilizante.

MV = Momento de volteo.

Por otro lado se tiene que:

$$MN = N \cdot e \quad \text{por lo tanto} \quad e = MN/N$$

Donde:

MN = Momento neto.

N = Fuerza sustentante.

e = Brazo con respecto a 0 de N.

Si el ancho de la base es a, la excentricidad puede ser determinada por:

$$e = a/2 - e_c$$

La presión sobre la base del muro por metro de longitud es:

$$q = N/a (1 \pm 6e/a)$$

de donde:

$$q_{\max} = N/a (1 \pm 6e/a)$$

El valor de la presión máxima debe ser menor o igual a la capacidad soporte.