

Escuela Politécnica del Ejército



Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

**“Diseño Técnico de Pernos de Anclaje al Concreto y
Desarrollo de un Programa de Aplicación”**

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

CAPT. MARCO GEOVANNY ÁLVAREZ SILVA

CAPT. JUAN CARLOS LOZA ANDRADE

SANGOLQUÍ - ECUADOR

ABRIL DEL 2011

RESUMEN EJECUTIVO

La presente tesis comprende una investigación exploratoria sobre los sistemas de anclaje al concreto, analizando mediante ensayos a probetas los criterios expuestos en el Apéndice D del Código ACI-318-08-S, en los trabajos del Prof. Richard Klingner de la Universidad de Texas en Austin y de los Profesores Rolf Eligehausen, Rainer Mallée, y John F. Silva en su texto “Anchorage in Concrete Construction”, para lo cual se aplicó normativas para ensayos de materiales y probetas obteniendo resultados confiables, confrontados con el cálculo teórico que emplea un ángulo de 45° , con el Método de Diseño por Capacidad del Concreto de 35° (CCD, según sus siglas en inglés) y con el programa informático PACAL_01 bajo la plataforma de Excel, el mismo que aplica los coeficientes de reducción de capacidad de acuerdo al ACI 318-08, para los casos de un anclaje y grupo de anclajes con fuerzas concéntricas de tracción y de corte.

Resultados que luego del análisis corroboraron que el CCD, es el método más eficiente para el cálculo de sistemas de anclajes.

ABSTRACT

This thesis comprises an exploratory research of the concrete anchoring systems, tests on samples analyzed by the criteria in Appendix D of ACI-318-08-S, in the work of Prof. Richard Klingner of the University of Texas in Austin and Professors Rolf Eligehausen, Rainer Mallee, and John F. Silva in their text "Anchorage in Concrete Construction", for which was applied standards for testing of materials and samples to obtain reliable results to compare with the theoretical calculation that uses a 45 degree angle with the Method Concrete Capacity Design 35 ° (CCD) and the PACAL_01 software under the Excel platform, the same applies the coefficients to reduce capacity according to ACI 318-08, in case of an anchor and a group of anchors for concentric forces of shear and traction.

Results corroborated after the analysis that the CCD is the most efficient method for calculating the anchorage systems.

CERTIFICACIÓN

El ING. MARCELO GUERRA Director de Tesis y el ING. ERNESTO PRO

Codirector:

CERTIFICAN

Que el plan de tesis titulado “Diseño Técnico de Pernos de Anclaje al Concreto y Desarrollo de un Programa de Aplicación” elaborado por los señores: CAPT. MARCO GEOVANNY ÁLVAREZ; y CAPT. JUAN CARLOS LOZA ANDRADE egresados de la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica del Ejército, ha sido dirigido y revisado en todas sus partes, por lo que se autoriza a los autores para que lo presenten y continúen con el proceso de elaboración de la investigación.

Sangolquí, 26 de Abril del 2011

DIRECTOR DE TESIS

CODIRECTOR DE TESIS

ING. MARCELO GUERRA

ING. ERNESTO PRO

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de ser un hombre útil a la sociedad, y por obsequiarme el don de la salud y la inteligencia para tratar de ser un buen hijo, un buen padre, un buen esposo y un buen ser humano.

A mi esposa Verónica, a mis hijos Marck y Karen, por la inspiración diaria de superación y servicio a la sociedad, pues solo con su apoyo constante y abnegado he llegado a conseguir este triunfo.

A mis padres, y especialmente a mi madre Gloria, por ser fuente inagotable de valores y principios que han guiado y guiarán mis pasos por el camino del bien común y la justicia.

Al Ejército Ecuatoriano, institución que me ha brindado su apoyo y guía para permitirme servir de mejor manera a mi país.

Al Cuerpo de Ingenieros del Ejército y a la ESPE, por haber formado dos soldados de ingeniería con vocación de servicio a su país.

Al Ingeniero Marcelo Guerra, por la generosidad con que transmitió sus conocimientos durante mi paso por la ESPE y para permitir el desarrollo del presente trabajo.

Al Ingeniero Ernesto Pro, por el ejemplo, colaboración y amistad, a lo largo de la carrera así como en la elaboración de nuestro proyecto de tesis.

Al Ingeniero Mario Calderón, por su ejemplo de comandante, profesional y amigo, cuya sencillez y apoyo perdurará en el tiempo.

A mis hermanos, Ángel y Rocío, por ser ejemplo y apoyo firme en el recorrido por las aulas de esta universidad.

A mi compañero de tesis Juan Carlos por poner todo el esfuerzo y dedicación junto a mí para llegar a cumplir las metas propuestas.

Al Ingeniero Jorge Zúñiga e Ingeniero Ricardo Durán, por la viabilidad y colaboración que nos dieron para la realización de este proyecto y la amistad y conocimientos brindados durante todo mi paso por las aulas de la ESPE.

Por último quiero agradecer a Gabriela, Darío y Arturo porque con su amistad, cariño y apoyo hicieron que mi estadía por la Universidad sea un recuerdo valioso y eterno.

Marco Geovanny Álvarez Silva

AGRADECIMIENTO

Sin duda y en primer lugar a Dios, por guiar mis pasos hasta este punto del camino, y los seguiré guiando por los senderos de la vida, familia, y trabajo, con sus bendiciones, y amor de padre celestial.

A mi padres, que han sabido inculcar en mí los valores humanos, a mi madre que me acogió en su seno en los primeros días de mi existencia, a mi padre que supo enseñarme el valor de la disciplina, el esfuerzo y la dedicación.

A mi hermana Anita, que siempre me brindó su apoyo y consejos con amor fraterno.

A mi General Rumiñahui, que mostró el valor que tienen los guerreros indígenas, y cuya sangre corre por nuestras venas.

A mi General Eloy Alfaro que reformó la sociedad, creó la Escuela Militar, y dio el ejemplo de los progresos que se puede realizar, con una visión pragmática y a largo plazo de un país lleno de recursos y con un buen potencial de desarrollo.

Al Cuerpo de Ingenieros del Ejército, por ser nuestra casa como soldado, bajo cuya tutela, nos permitió realizar las practicas y ganar la experiencia para llegar a ser un buen profesional al servicio de los intereses de la nación.

A la ESPE, a su cuerpo docente, y en especial a la Carrera de Ingeniería Civil, que me han brindado la formación profesional en la parte técnica, académica y práctica, necesaria para servir a mí patria en este futuro inmediato.

A mi CAPT, Marco Álvarez, líder y compañero de Armas y de aula, junto a quien el esfuerzo y dedicación han rendido frutos.

Al personal de QUIFATEX S.A. por su apoyo permanente a lo largo del desarrollo del presente trabajo.

Por último quiero agradecer a mis compañeros de carrera que me acompañaron durante el diario vivir de las aulas, con quienes compartimos tareas, clases, y lo más importante la amistad.

Juan Carlos Loza Andrade

DEDICATORIA

Los números y las ciencias no tienen sentido de existencia sino se los domina y comprende con un ideal noble y humano, con perspectivas de servicio y humildad. Dedico el esfuerzo y cariño puesto en el presente trabajo a toda mi familia, y en especial a las tres mujeres que con su dedicación han sido el estímulo diario de superación, primero a mi Madre Gloria por su abnegado cuidado en mis noches de obscuridad, a mi Esposa Verónica por ser mi fuente de inspiración, y a mi Abuela Josefina por su ejemplo de humildad.

Y profesionalmente lo dedico a mi ejército glorioso de mil batallas, al Ejército Ecuatoriano que con el legado valioso de los héroes olvidados, pero que los llevamos en la mente y el corazón, nos dejaron huellas de honor y sacrificio por la Patria sin buscar nada a cambio.

Marco Geovanny Álvarez Silva

DEDICATORIA

Dedico el fruto de este trabajo a mi familia, a mi madre y padre que sacrificaron los frutos de su trabajo a favor de mi educación desde la niñez hasta mi realización profesional, dedicando su tiempo al incomparable reto de educar a un niño, a un adolescente, a un joven, y lo han logrado bien y con gran satisfacción.

Y también lo dedico al Ejército del Ecuador que me dio la oportunidad de prepararme técnicamente y lograr las metas profesionales que me he trazado.

Juan Carlos Loza Andrade

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	II
ABSTRACT	III
CERTIFICACIÓN	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE	9
LISTADO DE TABLAS	12
LISTADO DE FIGURAS	13
NOMENCLATURA UTILIZADA.....	XVI
CAPÍTULO I.....	1
1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes	3
1.3 Importancia.....	5
1.4 Objetivo General del Estudio.....	6
1.5 Objetivos Específicos del Estudio	7
1.6 Alcance del Estudio.....	8
CAPÍTULO II.....	9
2. MARCO TEÓRICO DE ANCLAJES AL CONCRETO	9
2.1 Definiciones Básicas	9
2.1.1 Anclaje.-	9
2.1.2 Bulón.-.....	10
2.1.3 Profundidad efectiva de embebido.-.....	10
2.1.4 Métodos de aseguramiento.-.....	11
2.2 Sistemas de anclaje	12
2.2.1 Anclaje Preinstalado.-.....	13
2.2.2 Anclaje Postinstalado.-.....	17
2.3 Características de los Materiales Base	27
2.3.1 Características del Concreto.-.....	27
2.3.2 Características del Acero.-.....	40
2.4 Características de los Ligantes	50

2.4.1 Morteros de Relleno:	51
2.4.2 Lechadas de Relleno o Grouts:	51
2.4.3 Epóxicos.-.....	52
CAPITULO III.....	53
3. DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJE	53
3.1 Introducción.....	53
3.2 Métodos de Diseño de Sistemas de Anclaje	54
3.2.1 Análisis del Apéndice D del Código ACI 318-02 y ACI 318-08.-.....	57
3.2.2 Análisis del método del Dr. Eligehausen.-	61
3.3 Factores para el Diseño de Sistemas de Anclaje.....	63
3.3.1 Consideraciones Generales.-	63
3.3.2 Cargas de Diseño y Combinaciones.-	69
3.3.3 Resistencia del Concreto.-	73
3.3.4 Resistencia del Acero.-.....	90
3.3.5 Interacción acero concreto.-	92
3.3.6 Separación a Caras Libres.-.....	95
3.3.7 Grupo de Anclajes y Placas de Fijación.-	97
3.3.8 Excentricidad.-.....	104
3.3.9 Factores Ambientales.-.....	106
CAPITULO IV.....	114
4. RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO	114
4.1 Introducción	115
4.1.1 Normativa de Ensayos ACI 355-2.-.....	117
4.2 Preparación de Probetas.....	119
4.2.1 Probetas de Sistemas de Anclaje Preinstalados.-	120
4.2.2 Probetas de Sistemas de Anclaje Postinstalados.-	121
4.3 Ensayos de los Materiales Base	122
4.3.1 Ensayos al Concreto.-	122
4.3.2 Ensayos al Acero.-	125
4.4 Ensayos de los Sistemas de Anclajes.....	131
4.5 Entrevistas y Aplicación de Cuestionario.....	133
4.6 Procesamiento	135
4.6.1 Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto.-	135
4.6.2 Resultados del Ensayo de Resistencia a la Tracción del Acero.-.....	135

4.6.3 Resultados del Ensayo de Resistencia al Corte del Acero.-.....	136
4.6.4 Resultado de los ensayos a tracción de los sistemas de Anclajes.-.....	137
4.7 Resultado de las Entrevistas y Encuestas.....	138
4.7.1 Entrevistas a Ingenieros Civiles.-	138
4.7.2 Encuestas Aplicadas.-	139
CAPÍTULO V	150
5. PROGRAMA DE APLICACIÓN	150
5.1 Introducción.....	150
5.2 Características del Programa de Aplicación.....	150
5.3 Guía del Programa y Flujo grama	152
5.3.1 Datos de Ingreso	157
5.3.2 Criterios de Diseño	157
5.3.3 Combinaciones de Carga y Factores de Reducción	157
5.3.4 Características de los Materiales	158
5.3.5 Datos de Salida (Resultados).....	160
5.4 Interpretación de Datos y Aplicación	160
CAPÍTULO 6	161
5. CONCLUSIONES:	161
6.1. MÉTODOS DE CÁLCULO:	161
6.2. CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS.	161
6.3. ENCUESTAS Y ENTREVISTAS.	162
6.4. SOFTWARE	163
6.5. GENERALES	163
BIBLIOGRAFÍA	165
ANEXO "A"	166
ANEXO "B"	167
ANEXO "C"	168
ANEXO "D"	169
ANEXO "E"	170
ANEXO "F".....	172
DECLARACIÓN	180

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1 Clasificación ASTM de los tipos de concreto.....	28
Tabla 2.2 Clasificación de los concretos por su peso.....	28
Tabla 2.3 Clasificación ASTM de concretos.....	29
según su resistencia a la compresión	29
Tabla 2.4 Tipos de acero por su porcentaje de carbono.	40
Tabla 2.5 Efectos de elementos aleados al acero.....	41
Tabla 2.6 Propiedades Mecánicas de las normas principales.....	44
Tabla 2.7 Coeficientes de fricción para anclajes abulonados	49
Tabla 2.8 Normas más comunes para aceros de anclajes.....	50
Tabla 3.1 Valores ACI del Factor de Reducción de Carga.....	70
Tabla 3.2 Recubrimientos Mínimos	110
Tabla 3.3 Tolerancias en Distancia d y Recubrimientos.....	111
Tabla 3.4 Recubrimientos de Zinc para Sistemas de Anclaje	112
Tabla 4.1 Dosificación de Agregados.....	118
Tabla 4.2 Dimensiones de Cilindros de Ensayo	118
Tabla 4.3 Resistencia a tracción del acero.....	128
Tabla 4.4 Probetas ensayadas a corte	130
Tabla 4.6 Lista de Profesionales Entrevistados.....	133
Tabla 4.7 Ámbitos abordados.....	134
Tabla 4.8 Resistencia a la Compresión del Concreto de Ensayo.....	135
Tabla 4.9 Resistencia a la Tracción del Acero	136
Tabla 4.10 Probetas ensayadas a corte.....	136
Tabla 4.11 Resistencia a la tracción de los sistemas de anclaje en estudio ..	137

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2.1 Profundidad efectiva de embebido en anclajes.....	10
Figura 2.2 Enclavamiento Mecánico	11
Figura 2.3 Aseguramiento por Fricción.	11
Figura 2.4 Enclavamiento Químico.	12
Figura 2.5 Empleo de Pistola de Aire.	13
Figura 2.7 Bulones en “J” o en “L”	14
Figura 2.8 Barra roscada.....	15
Figura 2.9 Barras para armadura	15
Figura 2.10 Insertos Roscados.....	16
Figura 2.11 Placas para soldadura de pernos.....	16
Figura 2.12 Conexiones abulonadas.....	17
Figura 2.13 anclajes regulables.....	17
Figura 2.14 Anclajes cementados con mortero	18
Figura 2.15 a) Anclaje químico con barra roscada	19
Figura 2.15 b) Anclaje químico con barra conformada.....	19
Figura 2.16 Anclajes de torque controlado.....	20
con camisa para cargas pesadas.....	20
Figura 2.17 Anclaje con camisa	21
Figura 2.18 Anclaje de expansión con casquillo.....	21
Figura 2.19 Anclaje de cuña.....	22
Figura 2.20 Anclaje de expansión para roca / concreto	23
Figura 2.21 Anclaje tipo “drop-in”.	24
Figura 2.22 Anclaje autoperforante	24
Figura 2.23 perno de Anclaje.	25
Figura 2.24 Con orificio rebajado perforado	26
Figura 2.25 Con orificio rebajado perforado	26
Figura. 2.26 a) Taladro Eléctrico de Impacto Rotatorio	30
Figura. 2.26 b) Taladros con Núcleo de Diamante	30
Figura. 2.26 c) Taladros Electro-Neumáticos	30
Figura 2.27 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación.....	32
Figura 2.28 Gráfico del Cono de Falla del concreto	32

Figura 2.29 Gráfica de la curva Carga de Falla y la Profundidad Efectiva.	34
Figura 2.30 Gráfica de la curva deformación unitaria del concreto	35
Fig. 2.31 Imagen de un Sistema de Anclaje postinstalado	37
Figura 2.32 Influencia de las fisuras sobre la carga	38
Fig. 2.33 Influencia del tamaño del agregado grueso.....	39
Figura. 2.34 Curva carga-desplazamiento para varios sistemas de anclaje	46
Figura 2.35 Rotación del anclaje	48
Figura 3.1 Anclajes en elementos estructurales.....	53
Figura 3.2 Disipador de energía con sistema de anclaje.....	54
Figura 3.3 Sistema de anclaje.....	55
Figura 3.4 Fractura del concreto modelo cónico 45°	56
Figura 3.5 Fractura del concreto modelo de pirámide 35°	57
Figura 3.6 Resistencia a la tracción del acero de anclaje	64
Figura 3.7 Resistencia al cortante del acero de anclaje	64
Figura 3.8 Resistencia a la tracción del concreto.	65
Figura 3.9 Resistencia al arrancamiento del concreto por cortante.....	65
Figura 3.10 Resistencia a la extracción por deslizamiento.....	65
Figura 3.11 Resistencia al desprendimiento lateral por tracción.	66
Figura 3.12 Falla por hendimiento del concreto	66
Figura 3.13 (a) Cono de arrancamiento por tracción.....	68
Figura 3.13 (b) Cono de arrancamiento por cortante	68
Figura 3.14 Cálculo de A_{Nco} ; y cálculos de A_{Nc}	75
Figura 3.15 Tracción en elementos angostos.....	76
Figura 3.16 Definición de la dimensión e'_N	77
Figura 3.17 Definición de la dimensión e'_N	77
Figura 3.18 Refuerzo de anclaje para tracción.....	80
Figura 3.19 Área bruta de la sección del concreto A_{vc} para el caso 1	81
Figura 3.20 Área bruta de la sección del concreto A_{vc} para el caso 2.....	81
Figura 3.21 Consideración para el cálculo A_{Vco}	82
Figura 3.22 Fuerza cortante paralela a un borde	83
Figura 3.23 Cuando se aplica una fuerza cortante cerca de una esquina.....	83
Figura 3.24 Distancia c_{a1} de un grupo de anclajes.	84
Figura 3.25 Cortante de anclajes influenciados por tres o más bordes.....	86
Figura 3.26 Definición de las dimensiones e'_v para un grupo de anclajes.....	87

Figura 3.27(a) Refuerzo de anclaje de horquilla para cortante.....	89
Figura 3.27 (b) Refuerzo de borde y refuerzo de anclaje para cortante	89
Figura 3.28 (a) Corte lateral (b) Fuerzas que actúan en la placa de fijación ...	97
Figura 3.29 Casos de excentricidad en anclajes.	104
Figura 3.30 Anclaje que trabaja a tracción debido a la excentricidad.....	105
Figura 3. 3.1 Zona de compresión generada por excentricidad.	105
Figura 3.32 Excentricidad aplicada en los dos ejes.....	106
Figura 3.29 Aseguramiento de anclaje expuesto a ambientes agresivos.....	108
Figura 4.1 Tres tipos de cilindros elaborados.....	119
Figura 4.2 Elaboración de Probetas.	120
Figura 4.3 Elaboración de Probetas para Sistemas Preinstalados.....	120
Figura 4.4 Elaboración de Probetas para Sistemas de Anclaje Postinstalados de torque controlado en cuña.....	121
Figura 4.5 Elaboración de Probetas para Sistemas de Anclaje Postinstalados con Enclavamiento Químico.....	122
Figura 4.6 Máquina de Ensayo de Compresión	123
Figura 4.7 Elaboración de Probetas de Concreto.....	124
Figura 4.8 Ensayo de Compresión realizado a los 28 días.	124
Figura 4.9 Preparación de probetas de acero.	125
Figura 4.10 Colocación de probetas de acero.....	126
Figura 4.11 Aplicación de carga y obtención de curva.	126
Figura 4.12 Ensayo de corte en probetas de anclajes de acero A36.	130
Figura 4.13 Ensayo de sistemas de anclaje a tracción	132
Figura 5.1 Menú inicial de presentación del programa.....	150
Figura 5.2 Predimensionamiento.....	151
Figura 5.3 a) Factor Φ para ACI 318 Cap. 9	151

NOMENCLATURA UTILIZADA

- A_{brg} = área de apoyo de la cabeza de un perno o tornillo de anclaje, o barra corrugada con cabeza mm^2 .
- A_{Nc} = área de falla proyectada del concreto en un anclaje solo o en un grupo de anclajes, utilizada para calcular la resistencia a tracción, mm^2 .
- A_{Nco} = área de falla proyectada del concreto en un anclaje solo, utilizada para calcular la resistencia a tracción cuando no se encuentra limitada por la distancia al borde o el espaciamiento, mm^2 .
- $A_{se,N}$ = área efectiva de la sección transversal del anclaje en tracción, mm^2 .
- $A_{se,V}$ = área efectiva de la sección transversal del anclaje en cortante, mm^2 .
- A_{Vc} = área proyectada de falla del concreto de un anclaje solo o de un grupo de anclajes, utilizada para calcular la resistencia al cortante, mm^2 .
- A_{Vco} = área proyectada de falla del concreto de un anclaje solo, utilizada para calcular la resistencia a cortante, cuando no se encuentra limitada por la influencia de una esquina, del espaciamiento, o del espesor del elemento, mm^2 .
- c_{ac} = distancia crítica al borde requerida para desarrollar la resistencia básica del concreto al arrancamiento de un anclaje post instalado en concreto no fisurado sin refuerzo suplementario para controlar el hendimiento, mm.
- $c_{a,máx}$ = máxima distancia medida desde el centro del fuste de un anclaje al borde del concreto, mm.
- $c_{a,mín}$ = mínima distancia medida desde el centro del fuste de un anclaje al borde del concreto, mm.
- c_{a1} = distancia medida desde el centro del fuste de un anclaje hasta el borde del concreto en una dirección, mm. Si se aplica cortante al anclaje, c_{a1} se mide en la dirección de la fuerza cortante aplicada. Si se aplica tracción al anclaje, c_{a1} es la mínima distancia al borde.
- c_{a2} = distancia desde el centro del fuste de un anclaje hasta el borde del concreto en dirección perpendicular a c_{a1} .
- d_a = diámetro exterior de un anclaje o diámetro del fuste del perno con cabeza, del tornillo con cabeza, o del perno con forma de gancho, mm.

- d'_a = valor que se sustituye por d_a cuando se emplea un anclaje sobre dimensionado, mm.
- e_h = distancia desde la superficie interna del fuste de un perno en forma de J o de L hasta la parte externa de la punta del perno en forma de J ó L, mm.
- e'_N = distancia entre la resultante de tracción en un grupo de anclajes cargados en tracción y el centroide del grupo de anclajes cargados en tracción, mm; e_N es siempre positiva.
- e'_V = distancia entre la carga resultante de cortante en un grupo de anclajes solicitados en cortante en la misma dirección y el centroide del grupo de anclajes cargados a cortante en la misma dirección, mm, e'_V es siempre positiva.
- f'_c = resistencia especificada a la compresión del concreto, MPa.
- f_{uta} = resistencia especificada a la tracción del acero del anclaje, MPa.
- f_{ya} = resistencia especificada a la fluencia en el acero del anclaje, MPa.
- h_a = espesor de un elemento en el que se coloca un anclaje, medido paralelamente al eje del anclaje, mm.
- h_{ef} = profundidad efectiva de embebido del anclaje, mm.
- k_e = coeficiente para la resistencia básica al arrancamiento del concreto en tracción.
- k_{ep} = coeficiente para la resistencia al desprendimiento por cabeceo del anclaje.
- l_e = longitud de apoyo de la carga de un anclaje para cortante, mm.
- n = número de unidades, tales como ensayos de resistencia, barras, alambres, dispositivos de anclaje para torones individuales, anclajes, o brazos de una cabeza de cortante.
- N_b = resistencia básica al arrancamiento del concreto en tracción de un solo anclaje en concreto fisurado, N.
- N_c = fuerza de tracción en el concreto debida a la carga muerta más la carga viva no mayoradas, N.
- N_{cb} = resistencia nominal al arrancamiento del concreto en tracción de un solo anclaje, N.
- N_{cbg} = resistencia nominal al arrancamiento del concreto en tracción de un grupo de anclajes, N.

- N_n = resistencia nominal en tracción, N.
- N_p = resistencia a la extracción por deslizamiento por tracción de un solo anclaje en concreto fisurado, N.
- N_{pn} = resistencia nominal a la extracción por deslizamiento por tracción de un solo anclaje, N.
- N_{sa} = resistencia nominal de un solo anclaje o de un grupo de anclajes en tracción determinado por la resistencia del acero, N.
- N_{sb} = resistencia al desprendimiento lateral de un solo anclaje, N.
- N_{sbg} = resistencia al desprendimiento lateral de un grupo de anclajes, N.
-
- N_{ua} = fuerza mayorada de tracción aplicada a un anclaje o grupo de anclajes, N.
- s = espaciamiento medido centro a centro de unidades tales como refuerzo longitudinal, refuerzo transversal, tendones de pre esfuerzo, alambres, o anclajes, mm.
- V_b = resistencia básica al arrancamiento por cortante de un solo anclaje en concreto fisurado, N.
- V_{eb} = resistencia nominal al arrancamiento del concreto por cortante de un solo anclaje, N.
- V_{ebg} = resistencia nominal al arrancamiento del concreto al cortante de un grupo de anclajes, N.
- V_{ep} = resistencia nominal al desprendimiento del concreto por cabeceo de un anclaje solo, N.
- V_{epg} = resistencia nominal al desprendimiento del concreto por cabeceo de un grupo de anclajes, N.
- V_n = resistencia nominal a cortante, N.
- V_{sa} = resistencia nominal a cortante de un solo anclaje o de un grupo de anclajes determinada por la resistencia del acero, N.
- V_{ua} = fuerza cortante mayorada aplicada a un anclaje solo o a un grupo de anclajes, N.
- λ = factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual resistencia a la compresión.
- Φ = factor de reducción de resistencia.

$\Psi_{c,N}$ = factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes con base en presencia o ausencia de fisuras en el concreto.

$\Psi_{c,P}$ = factor de modificación para la resistencia a la extracción por deslizamiento con base en la presencia o ausencia de fisuras en el concreto.

$\Psi_{c,v}$ = factor de modificación para resistencia a cortante de anclajes con base en la presencia o ausencia de fisuras en el concreto y la presencia o ausencia de refuerzo suplementario para anclajes sometidos a cortante.

$\Psi_{cp,N}$ = factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes postinstalados utilizados en concreto no fisurado y sin refuerzo suplementario.

$\Psi_{ec,N}$ = factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes con base en la excentricidad de las cargas aplicadas.

$\Psi_{ec,v}$ = factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes con base en la excentricidad de las cargas aplicadas.

$\Psi_{ed,N}$ = factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes con base en la proximidad a los bordes del elementos de concreto.

$\Psi_{ed,v}$ = factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes con base en la proximidad a los bordes del elementos de concreto.

Ψ_h = factor de modificación para la resistencia a cortante de anclajes colocados en elementos de concreto con $ha < 1.5c_{a1}$.

C_{a1} = valor límite de C_{a1} cuando los anclajes están localizados a menos de $1.5 h_{ef}$ de tres o más bordes.

h_{ef} = valor límite de h_{ef} cuando los anclajes están localizados a menos de $1.5 h_{ef}$ de tres o más bordes.

K_{05} = coeficiente asociado con el percentil del 5 por ciento.

M = momento que actúa sobre un anclaje o grupo de anclajes.

N = fuerza de tracción que actúa sobre un anclaje o grupo de anclajes.

V = fuerza cortante que actúan sobre un anclaje o grupo de anclajes.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Introducción

Hasta la década de los 70, según el Prof. Richard Wollmershauser, miembro del Comité ACI 355, los estudios sobre anclajes permanecieron en datos experimentales sin ser reglamentados oficialmente por los organismos especializados como el ACI, PCI, ASTM y el AISC, que son los que han servido de referencia básica para la elaboración del Código Ecuatoriano de la Construcción vigente, el mismo que reglamenta este medio en nuestro país, y que en consecuencia tampoco incluyó ni siquiera los datos del Apéndice B del ACI 349-85 y del Manual de Diseño PCI “Prestressed Concrete Institute Design Handbook”. Para el diseño de los anclajes hormigonados en situ y para los anclajes incorporados al concreto endurecido, los diseñadores ecuatorianos utilizaban estudios de diferentes investigadores y de los manuales de los fabricantes.

En el año 2002 el Código ACI 318-02 presenta el Apéndice D con requisitos para el diseño de anclajes en concreto, tanto para hormigonados en situ como para elementos incorporados a hormigones endurecidos, sustentado en ensayos realizados y reglamentados por el Comité ACI 355-2. Producto de estos estudios se ha generado una serie de consideraciones en el diseño de Pernos de Anclaje que en la actualidad, están siendo incorporadas y difundidas en todo el mundo, ampliando criterios con trabajos como los del Prof. Richard

Klingner de la Universidad de Texas en Austin, que han sido plasmadas en el Código ACI 318-08, dando nuevas herramientas de cálculo para dar mayor seguridad a este tipo de anclajes y con ello aumentar su confiabilidad y por ende su utilización en los diferentes proyectos de ingeniería.

1.2 Antecedentes

La necesidad de nuevas alternativas para solucionar los problemas de ingeniería en obra, los adelantos mundiales en el desarrollo de proyectos de estructuras mixtas, de restauraciones y reforzamientos estructurales y sismoresistentes, ha obligado a los diseñadores ecuatorianos a emplear diferentes métodos de cálculo y datos de investigadores y fabricantes para llenar el vacío existente en la normativa de la construcción en nuestro país, representada por el Código Ecuatoriano de la Construcción y el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, los cuales todavía no proveen de los lineamientos básicos para la utilización de este tipo de técnicas y muchas otras más, que hoy se vuelven fundamentales en el desarrollo de los diferentes proyectos.

La alternativa entre reforzar y volver a construir dentro de un proyecto marca una gran diferencia, y lo mismo sucede al confrontar la construcción de una estructura mixta y una solo de concreto reforzado o solo metálica; la comparación en seguridad, tiempos, mano de obra y costo de materiales obligan al proyectista a tomar caminos más eficientes que involucran soluciones como la utilización de sistemas de anclaje para fusionar la estructura metálica al concreto y permitir un avance en obra más dinámico, estructuralmente seguro y económicamente rentable. Esta complementariedad entre el concreto y las estructuras metálicas ha hecho que esta alternativa se vuelva muy común a nivel nacional e internacional, pero que debido a la urgencia y necesidad del mercado se lo hace de manera empírica al trabajar con datos de fabricantes o basado en la experiencia y juicio profesional del

ingeniero constructor, que puede incurrir en no emplear eficientemente estos elementos de anclaje, o de utilizar sistemas no adecuados a los diferentes casos que se presentan en obra, y que por no haber sido diseñados apropiadamente producen la falla del anclaje y un colapso de la estructura.

En el mundo actualmente existe una renovación de criterios en cuanto a sistemas de anclaje y su utilización, la aparición de agentes químicos que mejoran la adherencia como los cementos epóxicos han dado nuevas alternativas más confiables y eficientes; el estudio de anclajes a hormigones fisurados brindan soluciones que han fomentado el empleo de estos elementos, pero partiendo de un estudio técnico que brinde confianza y genere la base teórica para su empleo en obra. Por ello surge la necesidad del análisis de estos nuevos criterios para su estudio y divulgación en el país.

1.3 Importancia

Hasta finales del siglo anterior los diferentes códigos que se dedican al estudio de la respuesta estructural de los diferentes elementos de una edificación no prestaron atención a los sistemas de anclaje, y creyeron suficiente el análisis de su capacidad a corte y tracción. En la actualidad los investigadores han reconocido que el anclaje es el que controla esa capacidad, con los diferentes factores que permiten la transferencia de cargas, por lo cual se presentó la necesidad de establecer un criterio y diseño más acercado a la realidad.

La importancia del presente trabajo radica en la difusión de los métodos actuales del diseño de sistemas de anclaje al concreto que permitan generar la necesidad de reglamentar estas técnicas en los organismos competentes (CEC, INEN, etc.), en base a experiencias en el Ecuador, y poder utilizar estos elementos brindando seguridad a las diferentes estructuras en los proyectos que se ejecutan en nuestro país empleándolos de manera eficiente.

1.4 Objetivo General del Estudio

El presente trabajo busca analizar y corroborar los nuevos estudios realizados para el cálculo, diseño y empleo óptimo de los sistemas de anclaje al concreto presentados en el Reglamento para Concreto Estructural del American Concrete Institute ACI 318S-08, en los estudios del Prof. Richard E. Klingner y del Prof. Rolf Eligehausen, tanto en sistemas fraguados en el concreto como de los instalados luego de curado; para difundirlos mediante un programa de aplicación que permita su diseño empleando los conocimientos producto de este estudio, generando en el futuro la necesidad de llevarlos a la experimentación y reglamentación por los organismos reguladores del medio de la construcción en el Ecuador como son el INEN y el Código Ecuatoriano de la Construcción.

1.5 Objetivos Específicos del Estudio

- Analizar trabajos nuevos realizados para el diseño de Anclajes al Concreto, principalmente por el ACI y los diferentes comités especializados en este tema como son el 318 del Reglamento para Concreto Estructural, el 349 de Diseño Estructural de Plantas Nucleares de Concreto y el 355 de Anclajes para Concreto.

- Analizar los trabajos y estudios realizados por el profesor Klingner R., y por los profesores Eligehausen R., Rainer Mallée y John Silva acerca de los anclajes en concreto.

- Desarrollar un programa que permita el diseño de Anclajes al Concreto empleando los conocimientos obtenidos.

- Difundir estos conocimientos mediante el presente trabajo y el programa de aplicación.

- Promover la actualización del Código Ecuatoriano de la Construcción como referente para el empleo de este elemento estructural en los diferentes proyectos del país, amparado en normativas nacionales creadas por el INEN.

1.6 Alcance del Estudio

El presente análisis recopila los estudios e investigaciones realizados por los diferentes comités especializados del ACI en este tema como son el 318 y el 355, y además los realizados por los Profesores Richard Klingner, Cook y Rolf Eligehausen; que orientaron sus aportes a Pernos de Anclaje con diámetros comprendidos entre $\frac{1}{4}$ de pulgada (0,635 cm.) y 2-1/2 pulgadas (6,35 cm.) y a los Anclajes en general.

Del mismo modo se debe recalcar que los datos que se obtengan producto del presente trabajo de investigación no incluye a elementos como perfiles estructurales, sujetadores accionados por detonación, insertos de plástico liviano o plomo, clavos para concreto instalados con martillo, sistemas instalados por rosca y cables, pues su estudio demanda un tratamiento individual y no existen datos de ensayos realizados por ningún código vigente o investigador que permita establecer similitud de comportamiento y se pueda emplear los criterios a ser utilizados en el presente trabajo.

Por lo tanto los resultados obtenidos de este estudio van encaminados a establecer mediante ensayos prácticos la validez de los criterios presentados por el Apéndice D del Reglamento para Concreto Estructural ACI 318 en cuanto a la relación del ángulo de fractura producido al fallar el concreto en el anclaje y su relación para el cálculo de la profundidad efectiva de embebimiento necesaria para las solicitaciones actuantes en la estructura en diseño.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO DE ANCLAJES AL CONCRETO

2.1 Definiciones Básicas

En la actualidad la tecnología ha permitido la creación y oferta por parte de los diferentes fabricantes, como FISCHER, HILTI, WURTH, ROBUSTA-GAUKEL, HECO, HALFEN y otros; de numerosos tipos de dispositivos para anclar un variado tipo de elementos estructurales al concreto, por lo cual se hace necesario establecer conceptos elementales que permitirán tener una idea clara del tema en estudio. Para ello tomaremos definiciones establecidas principalmente por el Reglamento para Concreto Estructural ACI 318S-08 por ser el más utilizado en nuestro país, el Libro “Anchorage in Concrete Construction” de los profesores Rolf Eligehausen, Rainer Mallée y John Silva, y publicaciones científicas como las del Profesor Klingner y Cook, que serán los documentos en los cuales basamos la presente investigación.

2.1.1 Anclaje.-

Un dispositivo de acero ya sea preinstalado antes de colocar el concreto, o postinstalado en un elemento de concreto endurecido y usado para transmitir fuerzas aplicadas, incluidos los tornillos con cabeza, los tornillos con extremo en forma de gancho (**J** ó **L**), pernos con cabeza, anclajes de expansión o anclajes con sobre perforación en su base.¹

¹ Tomado del ACI 318S – 05 Apéndice D

2.1.2 Bulón.-

La palabra bulón se utiliza para denominar pernos de acero estructural de diámetro y tamaño relativamente grande, con rosca solo en la parte extrema de su cuerpo, y generalmente con cabeza redonda, cuadrada o hexagonal con superficie de apoyo plana que son utilizados en obras de ingeniería y en mecánica industrial.

2.1.3 Profundidad efectiva de embebido.-

Profundidad total a través de la cual el anclaje transfiere fuerzas hacia o desde el concreto que lo rodea. La profundidad efectiva de embebido generalmente es la profundidad de la superficie de falla del concreto en las aplicaciones de tracción. Para tornillos con cabeza preinstalados y pernos con cabeza, la profundidad efectiva de embebido se mide desde la superficie de contacto de apoyo de la cabeza². Fig. 2.1

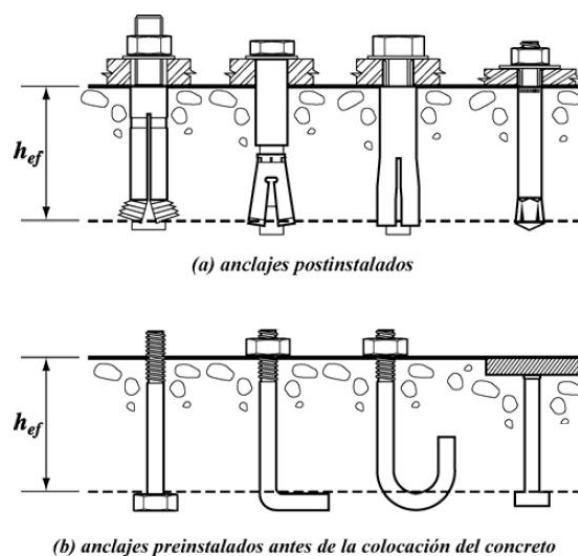


Figura 2.1 a) Profundidad efectiva de embebido en anclajes postinstalados.
b) Profundidad efectiva de embebido en anclajes preinstalados.

² Tomado del ACI 318S – 05 Apéndice D

2.1.4 Métodos de aseguramiento.-

Son las maneras como el anclaje transmite las cargas al concreto, estas pueden ser:

2.1.4.1 Enclavamiento Mecánico o Mediante Base de Soporte

2.1.4.2 Aseguramiento por fricción

2.1.4.3 Enclavamiento Químico o por Adherencia

2.1.4.1 Enclavamiento Mecánico.- Es el mecanismo de transferencia de carga que emplea un cojinete de aseguramiento entre el anclaje y el concreto, generalmente es empleado por los sistemas de anclaje hormigonados in-situ.

Fig. 2.2

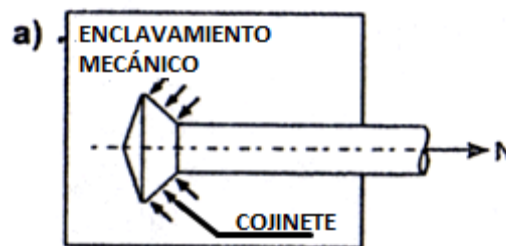


Figura 2.2 Enclavamiento Mecánico

2.1.4.2 Aseguramiento por Fricción.- Es el mecanismo de transferencia de carga que emplea la fuerza de fricción generada entre el anclaje y la pared del orificio al actuar esfuerzos principalmente de tracción sobre el sistema de anclaje. Fig. 2.3

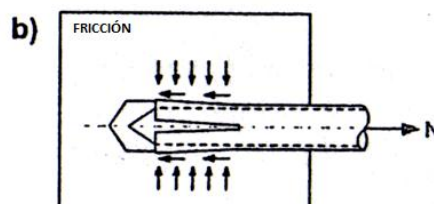


Figura 2.3 Aseguramiento por Fricción.

2.1.4.3 Enclavamiento químico.- Es el mecanismo de transferencia de carga que emplea ligantes, los mismos que actúan entre el anclaje y las paredes del orificio perforado mediante la adherencia que se genera entre los elementos del sistema de anclaje. Fig. 2.4

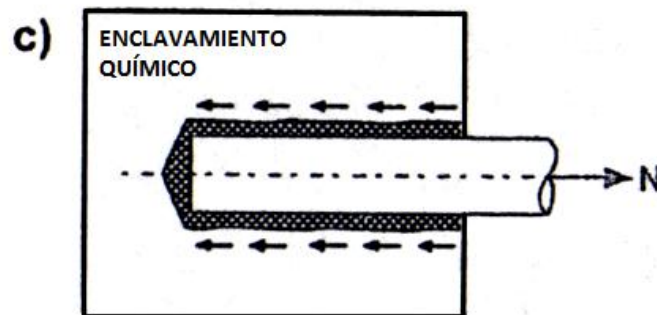


Figura 2.4 Enclavamiento Químico.

2.2 Sistemas de anclaje

Teniendo claro los conceptos anteriores pasaremos a estudiar los anclajes en si como un sistema, un conjunto de elementos de acero que permiten recibir o transmitir cargas estructurales al concreto. En el presente trabajo estudiaremos los dos grupos más utilizados:

2.2.1.- Anclaje Preinstalado o Sistemas hormigonados in situ (Cast-in-Anchor).

2.2.2.- Anclaje Postinstalado o Sistemas instalados en concreto endurecido (Post- installed anchor).

Existiendo también los Sistemas de Instalación Directa, que emplean cargas explosivas o aire comprimido (fig. 2.5) para introducir el anclaje al material base, sea este concreto o acero. Estos no serán estudiados por no tener un comportamiento similar a los otros sistemas, requiriendo otro tipo de diseño y otros fines de utilización.

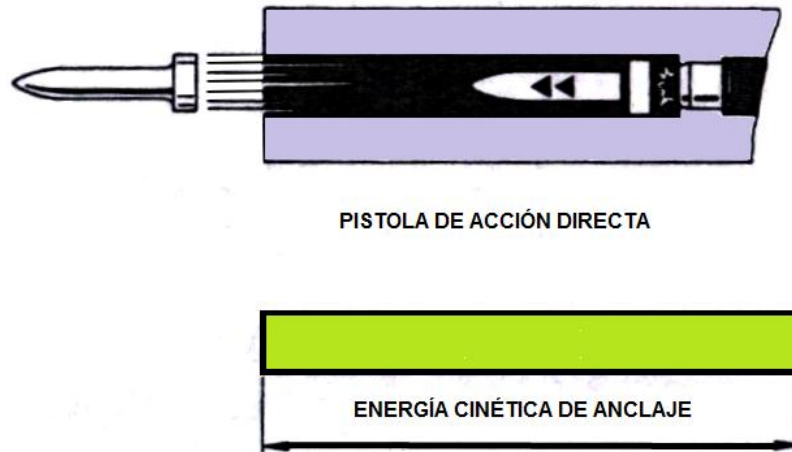


Figura 2.5 Empleo de Pistola de Aire.

2.2.1 Anclaje Preinstalado.-

Son sistemas donde los anclajes se instalan antes de colocar el concreto. Generalmente empleados cuando se conoce la posición exacta de colocación.

Pueden ser:

- 2.2.1.1 Anclajes embebidos no regulables.
- 2.2.1.2 Conexiones abulonadas.
- 2.2.1.3 Anclajes regulables.

2.2.1.1 Anclajes embebidos no regulables: Estos anclajes tienen un dispositivo de fijación o base de soporte en su extremo, como por ejemplo un lazo, una cabeza (cojinete), una tuerca o una placa, para mejorar las

propiedades del método de anclaje y así desarrollar plenamente la resistencia potencial por enclavamiento mecánico. Existen varios tipos como:

- 2.2.1.1.1 Bulones comunes fig. 2.6
- 2.2.1.1.2 Bulones en "J" o "L" terminados en gancho fig. 2.7
- 2.2.1.1.3 Barras roscadas fig. 2.8
- 2.2.1.1.4 Acero de armaduras fig. 2.9
- 2.2.1.1.5 Insertos roscados fig. 2.10
- 2.2.1.1.6 Placas para soldadura de pernos fig. 2.11

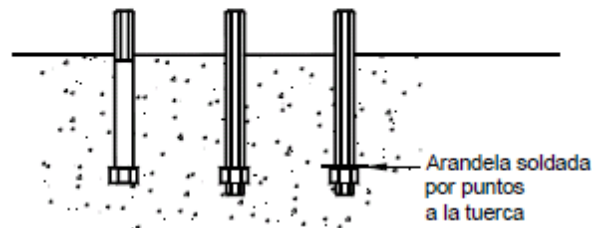
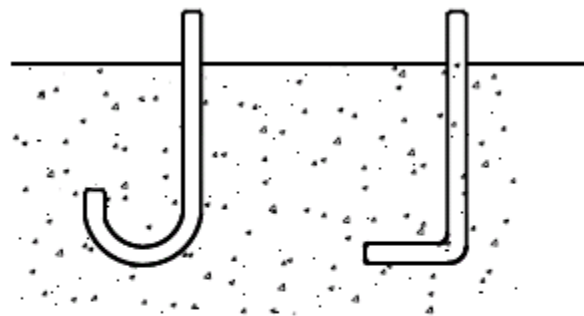


Figura 2.6 Bulones comunes



Nota: Se pueden fabricar bulones en "J" o "L" usando barras lisas o roscadas

Figura 2.7 Bulones en "J" o en "L"

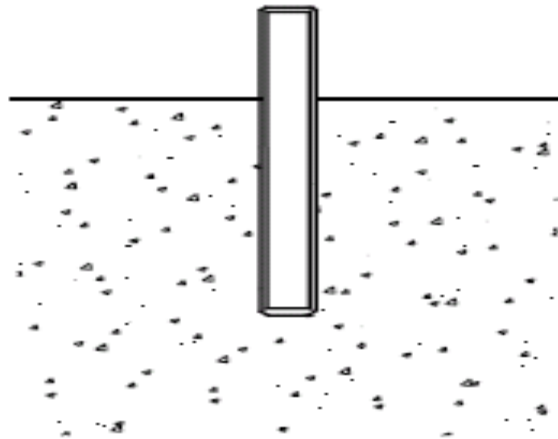


Figura 2.8 Barra roscada

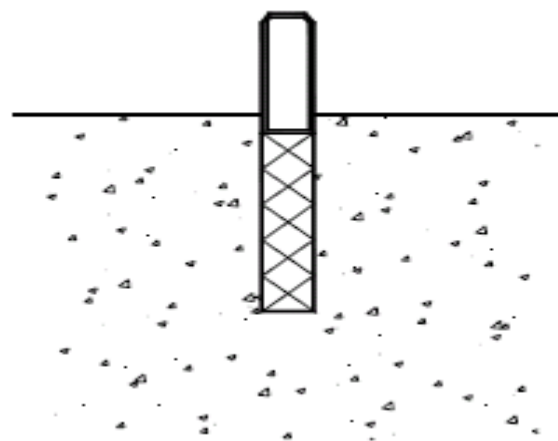


Figura 2.9 Barras para armadura

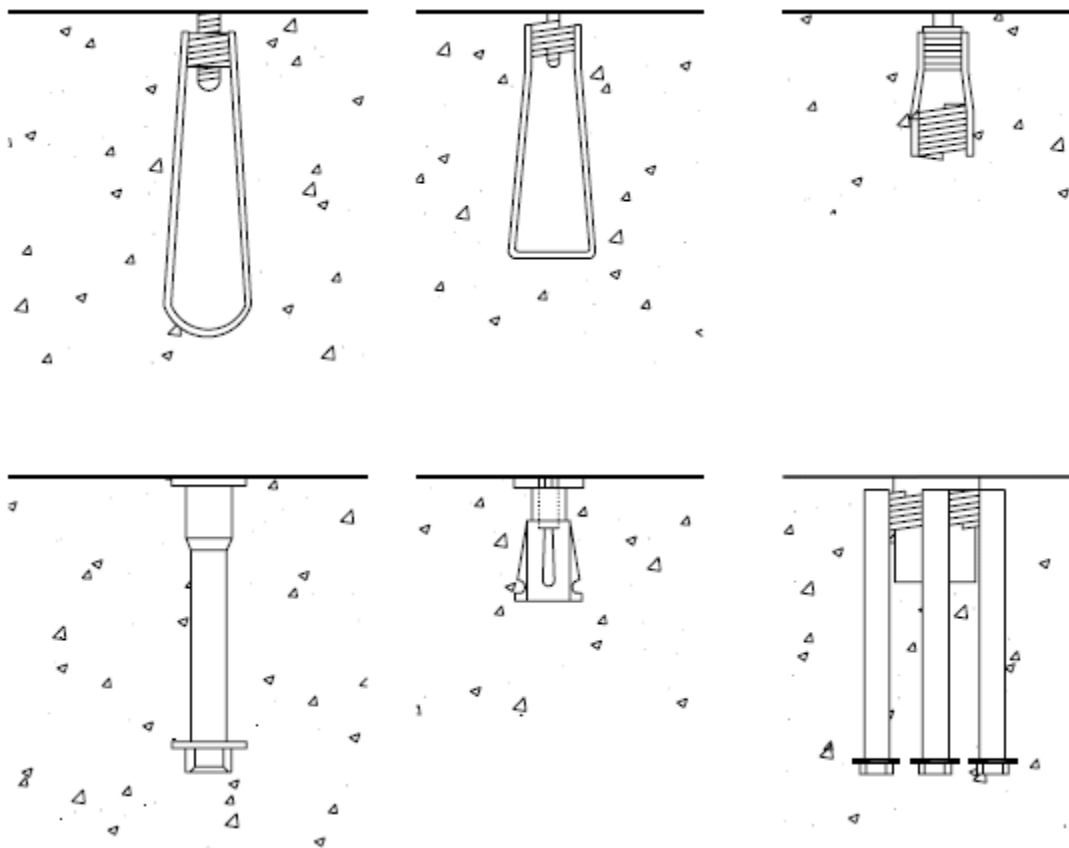


Figura 2.10 Insertos Roscados

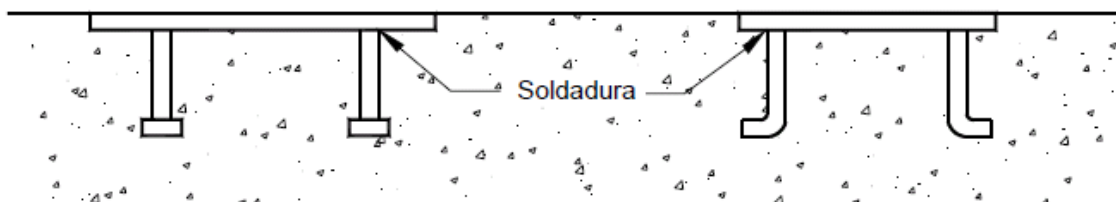


Figura 2.11 Placas para soldadura de pernos

2.2.1.2 Conexiones abulonadas: Consisten en bulones con cabeza, tales como los conectores embebidos o instalados en agujeros pasantes. Empleado en elementos estructurales delgados, especialmente en losas donde la profundidad efectiva de embebimiento sobrepasa el espesor de concreto. Fig. 2.12

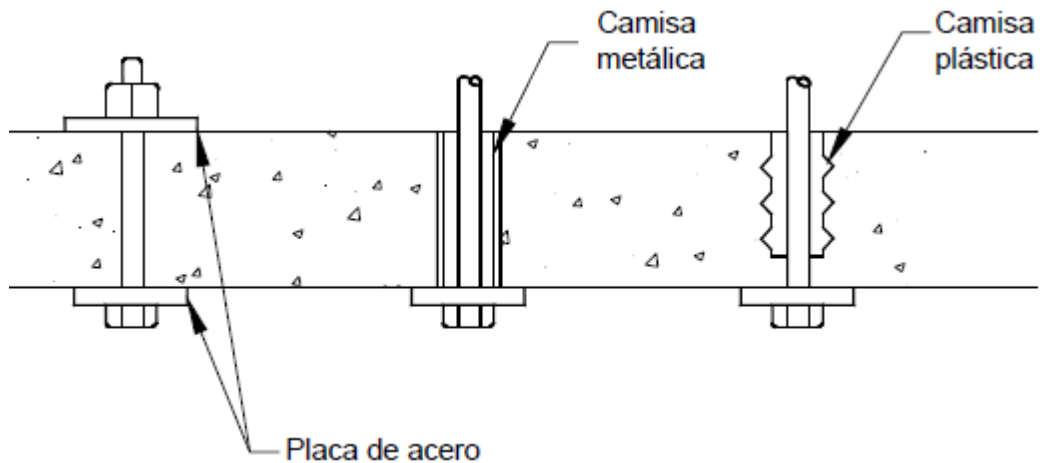


Figura 2.12 Conexiones abulonadas.

2.2.1.3 Anclajes regulables: Permiten ajustar su posición, tanto lateral como en profundidad. Empleado para anclar elementos temporales y variables. Fig.

2.13

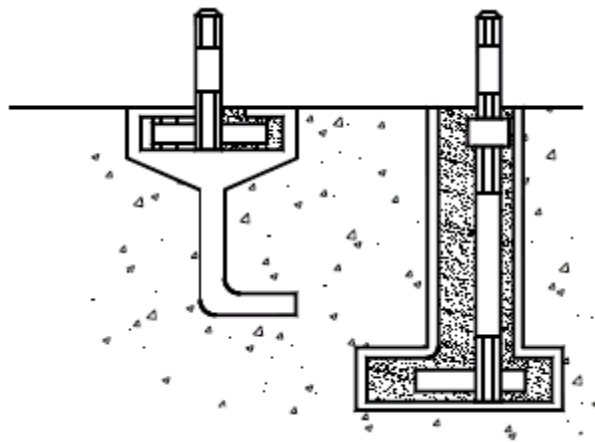


Figura 2.13 anclajes regulables.

2.2.2 Anclaje Postinstalado.-

Son sistemas muy empleados en la actualidad, siendo anclajes que se instalan en orificios perforados en hormigones después de su fraguado o ya en servicio; estos pueden ser:

2.2.2.1. Anclajes cementados.

2.2.2.2. Anclajes de expansión.

2.2.2.1 Anclajes cementados: Son anclajes que transfieren las cargas al concreto mediante el uso de una ligante entre el anclaje y las paredes del orificio.

2.2.2.1 .1. Anclajes cementados con mortero (Inorgánicos).

2.2.2.1 .2. Anclajes cementados con químicos (Orgánicos).

2.2.2.1.1 Anclajes cementados con mortero: Consiste en barras roscadas, bulones con o sin cabeza instalados en orificios perforados utilizando como ligante mortero de cemento portland y arena o algún otro tipo de mortero según las diferentes especificaciones o diseños. Fig. 2.14

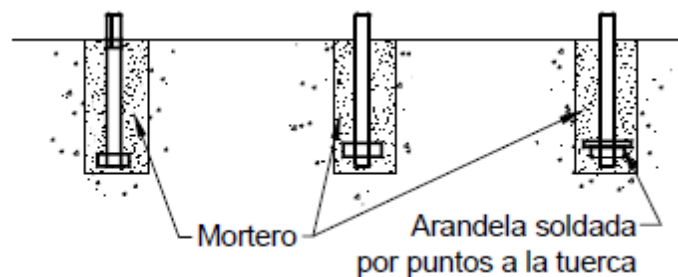


Figura 2.14 Anclajes cementados con mortero

2.2.2.1.2 Anclajes cementados con químicos: Consiste en barras roscadas (fig. 2.15 a) o barras conformadas (fig. 2.15 b), que se adhieren al concreto utilizando compuestos químicos de dos componentes, generalmente orgánicos como los poliésteres insaturados, vinilésteres o epoxis. Estos ligantes son aplicados mediante sistemas de cápsulas o de inyección.

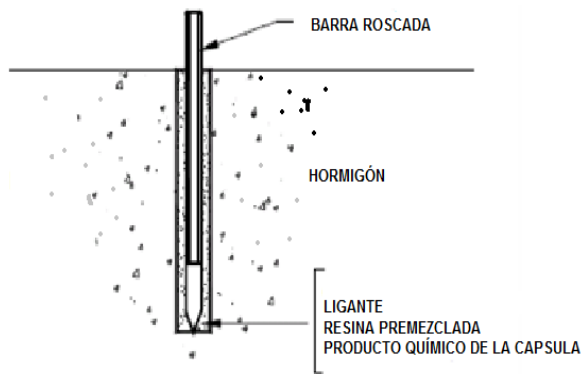


Figura 2.15 a) Anclaje químico con barra roscada

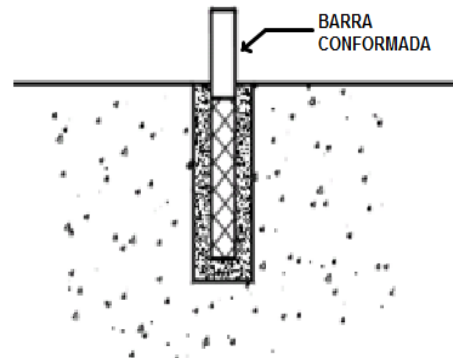


Figura 2.15 b) Anclaje químico con barra conformada

2.2.2.2 Anclajes de expansión: Son sistemas que transmiten las cargas desde y hacia el concreto mediante enclavamiento mecánico, fricción, o ambos, aplicando presiones o fuerzas de expansión mediante fricción y/o acción de palanca contra la pared de la perforación. Estos a su vez pueden ser de tres tipos:

- 2.2.2.2.1. De torque controlado
- 2.2.2.2.2. De deformación controlada
- 2.2.2.2.3. Rebajados

2.2.2.2.1 Anclajes de torque controlado.- Son sistemas en los cuales el método de aseguramiento es accionado al aplicar un torque que provoca la expansión de una camisa, apretando al perno contra las paredes del orificio generando gran fuerza de fricción. Estos se presentan de tres tipos:

- 2.2.2.2.1.1 Con camisa para cargas pesadas.
- 2.2.2.2.1.2 Con camisa normal.
- 2.2.2.2.1.3 Con casquillo.
- 2.2.2.2.1.4 De cuña.
- 2.2.2.2.1.1 De expansión para roca

2.2.2.2.1.1 Anclajes de torque controlado con camisa para cargas

pesadas: Consisten en un bulón o una barra roscada con un conjunto tuerca-arandela en uno de sus extremos, y un cono en el extremo embebido, alrededor del cono existe una camisa de expansión de alta resistencia con un mecanismo colapsable; existe también una camisa separadora que se extiende hasta la superficie de la perforación y que incrementa la capacidad de corte. El anclaje se instala ajustando la cabeza del bulón, y desarrolla su resistencia a la tracción mediante una combinación de palanca sobre las paredes y la elevada fricción que se genera entre la camisa y el concreto. La capacidad de tracción depende de la resistencia del bulón y de la longitud embebida. Fig. 2.16

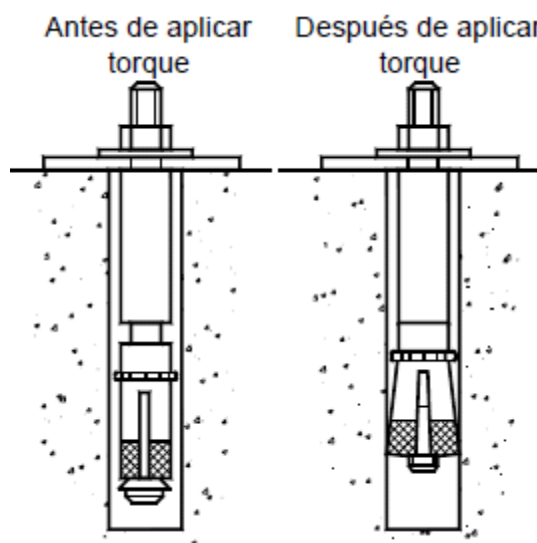


Figura 2.16 Anclajes de torque controlado con camisa para cargas pesadas.

2.2.2.2.1.2 Anclajes con camisa: Consiste en un perno de acero, una camisa de expansión, generalmente de chapa metálica con ranuras longitudinales para permitir la expansión, y un conjunto de tuerca-arandela. El fondo del perno de acero tiene un mandril (punta) uniformemente ahusado cuyo extremo tiene el mismo diámetro que la camisa de expansión, permitiendo la transmisión de

carga desde y hacia el concreto por fricción de la camisa y las paredes del orificio. Fig. 2.17.

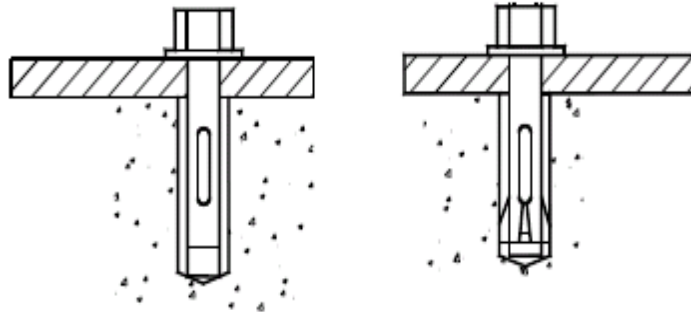


Figura 2.17 Anclaje con camisa

2.2.2.2.1.3 Anclajes de expansión con casquillo: Son de dos tipos, un tipo consiste en un casquillo de dos piezas, que se mantienen unidas mediante lengüetas de acero y tiene un tapón ahusado con rosca interna en su extremo. El segundo tipo consiste en un casquillo de dos piezas con dos conos de acero ahusados, uno en la parte superior y otro en la parte inferior, que se mantienen unidos mediante un resorte de acero que se encuentra en el centro, el cono inferior tiene una rosca interna para aceptar un bulón o perno, al aplicar torque al sujetador para insertarlo en el anclaje, los conos de acero expanden el casquillo, el cual se abre y presiona contra la pared del orificio. Fig. 2.18

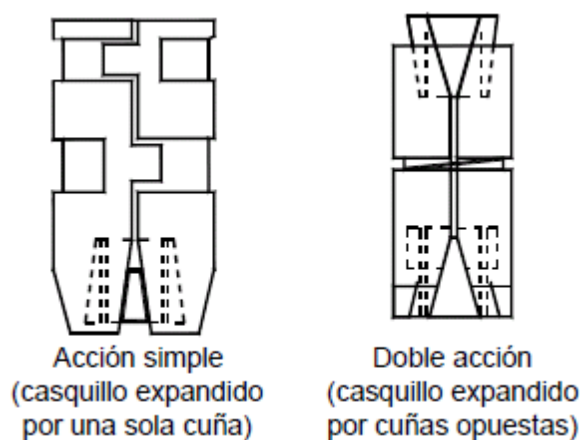


Figura 2.18 Anclaje de expansión con casquillo

2.2.2.2.1.4 Anclajes de cuñas: Consiste en un perno de acero cuya parte inferior posee un mandril (punta de sujeción) uniformemente ahusado, con tuerca y arandela. Alrededor del mandril cuenta con un clip expandible de acero o cuñas también de acero pero individuales con protuberancias, que al ajustar el perno, se acuñan entre el mandril y la pared del orificio. Fig. 2.19

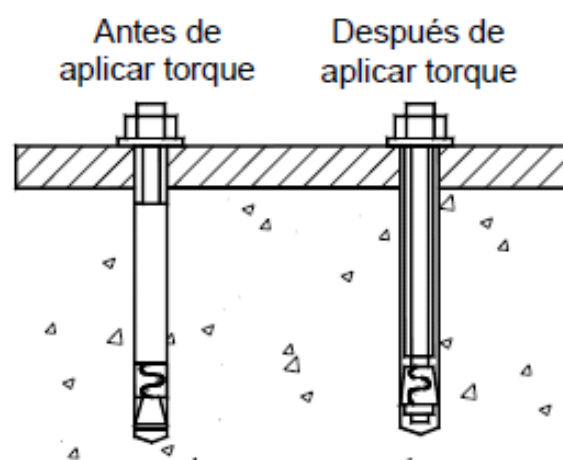


Figura 2.19 Anclaje de cuña

2.2.2.2.1.5 Anclajes de expansión para roca / concreto: Consiste en un bulón que en su parte superior tiene una rosca para colocar una tuerca, y en su extremo inferior posee un gran anclaje de expansión mecánico, que para ajustarlo se debe rotar el bulón en sentido anti horario. Generalmente se los utiliza cuando el concreto es de alta resistencia a la compresión o en roca. Fig. 2.20

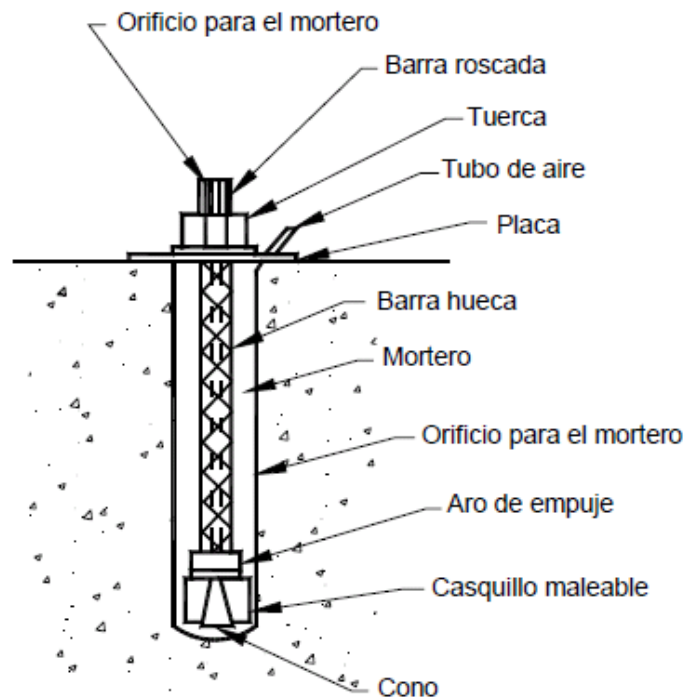


Figura 2.20 Anclaje de expansión para roca / concreto

2.2.2.2.2 Anclajes de deformación controlada.-Son sistemas en los cuales las camisas o mangas que recubren al perno traen diseños previamente establecidos para mediante su deformación aplicar el método de aseguramiento, generalmente de fricción. Estos son de tres tipos:

2.2.2.2.2.1 Tipo "Drop-in".

2.2.2.2.2.2 Autoperforantes.

2.2.2.2.1.1 Pernos de Anclaje.

2.2.2.2.2.1 Anclajes tipo "drop-in": Consiste en un casquillo de acero y un tapón de expansión interno de acero. El extremo superior del anclaje tiene una rosca interna, mientras que el extremo inferior tiene un punta (mandril) ahusada uniforme que concuerda con la forma del tapón de acero dentro del anclaje. La parte inferior del casquillo tiene ranuras longitudinales que lo dividen en segmentos iguales para permitir que el anclaje se expanda cuando

el tapón interno se martillea con una herramienta de instalación, de tal manera que se abra el casquillo y presione contra la pared del orificio. Fig. 2.21

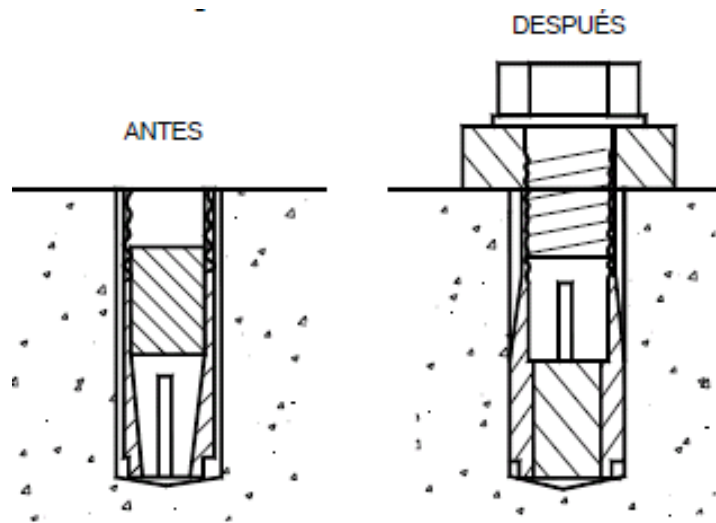


Figura 2.21 Anclaje tipo "drop-in".

2.2.2.2.2 Anclajes autoperforantes: Consiste en un casquillo de acero con un tapón de acero, ahusado en su extremo. La parte inferior del casquillo tiene dientes que le permiten recortar el casquillo que tiene una rosca interna para aceptar un bulón o un perno, el tapón expande la parte inferior del casquillo, la cual presiona contra la pared de la perforación. Fig. 2.22

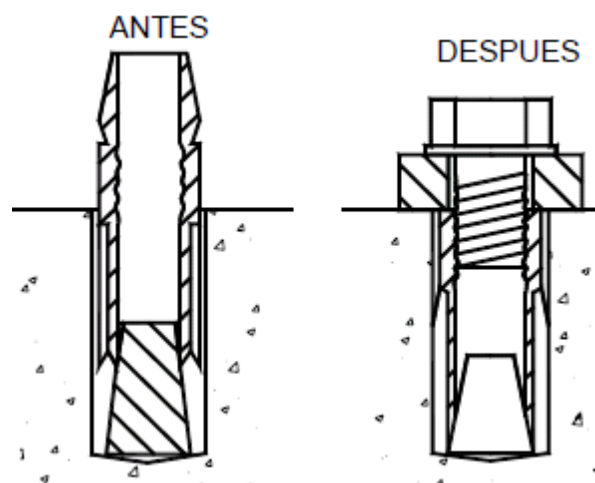


Figura 2.22 Anclaje autoperforante

2.2.2.2.3 Pernos de Anclaje: El propio perno de anclaje consiste en un perno de acero con una rosca en su extremo superior y un orificio perforado con ranuras longitudinales en su extremo inferior para aceptar un tapón de acero ahusado, la parte superior de la sección roscada está elevada para que permita martillar de tal manera que el tapón ahusado expanda el extremo inferior del perno haciendo presión contra la pared del orificio. Fig. 2.23.

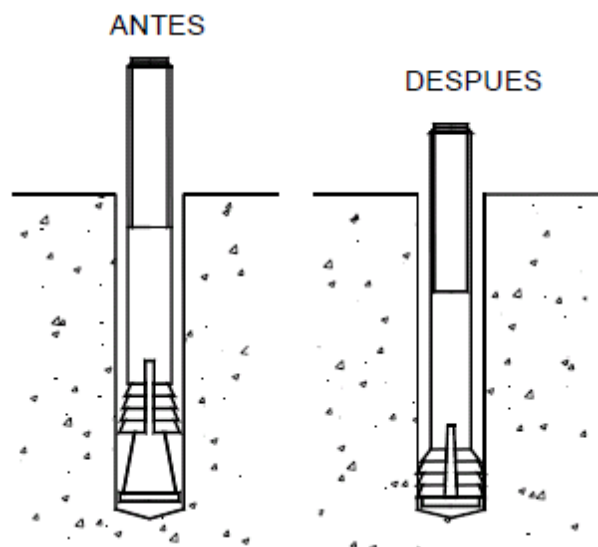


Figura 2.23 perno de Anclaje.

2.2.2.2.3 Anclajes rebajados.- Operan haciendo palanca y presionando contra una muesca rebajada en el concreto en el fondo de la perforación. Estos anclajes provocan en el concreto una fuerza de expansión poco significativa o nula, pero generan grandes capacidades de carga de tracción por su enclavamiento mecánico. Este sistema de anclajes generalmente es utilizado en hormigones fisurados, y se presenta en dos tipos:

2.2.2.2.3.1 Con orificio rebajado perforado.

2.2.2.2.3.2 Autorebajante.

2.2.2.2.3.1 Con orificio rebajado perforado: Requiere una segunda operación de perforado para crear una muesca rebajada en el fondo de la primera perforación. El anclaje se instala con la parte inferior de la camisa de expansión dentro de la muesca, de tal manera que al ajustar la tuerca el tapón de expansión actúe sobre la parte inferior de la camisa de expansión. Fig. 2.24

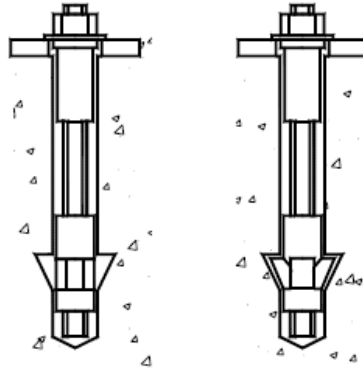


Figura 2.24 Con orificio rebajado perforado

2.2.2.2.3.2 Autorebajantes: Corta su propia muesca en el fondo de la perforación, se requiere una máquina giratoria con percutor, la parte inferior de la camisa se introduce en un cono en el fondo de la perforación, y al expandirse recorta su propia muesca en la pared del orificio, y al justar la tuerca, el bulón y el cono ahusado son tirados hacia arriba, expandiendo la parte inferior de la camisa contra el orificio. Fig. 2.25.

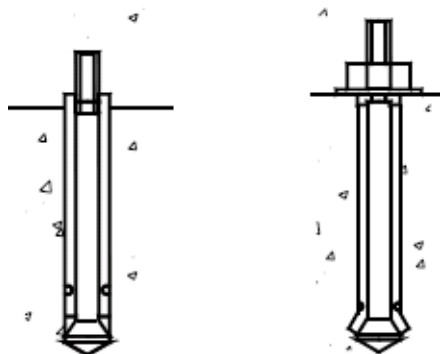


Figura 2.25 Con orificio rebajado perforado

2.3 Características de los Materiales Base

En el presente trabajo analizaremos como materiales base para los anclajes al acero y al concreto, estudiando sus características generales y especificaciones empleadas en su aplicación y especialmente en los ensayos y estudios realizados, así como las recomendadas por los fabricantes de anclajes, especialmente por la Compañía HILTI.

2.3.1 Características del Concreto.-

El hormigón o concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, agregados y agua, cuyo comportamiento como material base del sistema de anclaje ha sido producto de los últimos estudios, a partir de los años setenta del siglo pasado, por los investigadores de institutos, organizaciones y empresas especializadas en el tema, determinando que su importancia va más allá de la simple resistencia para las solicitaciones requeridas por el elemento a fijarse en una estructura. Producto de lo anterior se empieza a incluir en el diseño de anclajes el comportamiento del concreto en el cual se va aplicar el sistema, así como sus características, principalmente en los postinstalados.

A continuación mostramos tablas de características elementales de los hormigones que son importantes tener presentes para estudiar al concreto, así tenemos la norma C-150 de ASTM:

Tabla 2.1 Clasificación ASTM de los tipos de concreto.

TIPO	CARACTERÍSTICA
I	Uso general
II	Resistencia moderada a los sulfatos
II (MH)	Moderada resistencia a los sulfatos y calor de hidratación
III	Alta resistencia inicial
IV	Bajo calor de hidratación
V	Alta resistencia a los sulfatos
Los concretos Tipo I, II y III pueden ser fabricados con incorporadores de aire, a estos se los tipifica añadiendo la letra A en su denominación.	

Otra tabla como referencia, es la clasificación de los hormigones por su peso, que requieren de distintos tipos de agregados, que modifican el comportamiento de los anclajes:

Tabla 2.2 Clasificación de los concretos por su peso

TIPO	PESO ESPECÍFICO (ton/m ³)
PESADO	MAYOR A 3,7
NORMAL	2,3
LIVIANO ESTRUCTURAL	ALREDEDOR DE 1,7
LIVIANO CELULAR	ENTRE 1,3 Y 1,5

Tomando como referencia lo anterior a continuación se analizará las características fundamentales para el presente estudio.

2.3.1.1 Resistencia a la compresión del concreto del anclaje: El comportamiento del concreto frente a solicitaciones de compresión gobierna el diseño del sistema de anclaje. Partiendo de esto se tomará como un concreto de uso común en sistemas de anclaje al que posee una resistencia a la compresión entre los 240 kg/cm² (24 MPa ó 3500 psi) y 460 kg/cm² (46 MPa ó 6500 psi), hormigones de alta resistencia a los mayores a 460 kg/cm² y de baja resistencia a los menores de 240 kg/cm².

La clasificación según norma ASTM C31 es:

Tabla 2.3 Clasificación ASTM de concretos según su resistencia a la compresión

TIPO DE CONCRETO	RESISTENCIA (kg/cm ²)
BAJA RESISTENCIA COMÚN	170 - 240
	240 - 460
ALTA RESISTENCIA	460 - 570

Las conclusiones de los ensayos y experiencias obtenidas por los comités 355 y 318 del código ACI, manuales de productos y estudios de especialistas, determinan que los métodos de diseño difundidos son eficientes de forma óptima para hormigones con resistencias de mínimo 140 kg/cm² en hormigones no fisurados y de 210 kg/cm² en hormigones fisurados, y recomiendan resistencias máximas de 700 kg/cm² (70 MPa ó 10000 psi) en hormigones no fisurados y de 550 kg/cm² (55 MPa ó 8000 psi) en los fisurados³.

El comportamiento de los sistemas de anclajes, especialmente en hormigones con resistencias a la compresión mayores a las antes anotadas ($f'c > 700$ kg/cm² – 70 MPa – 10000 psi), exige ensayos para su utilización, principalmente en el caso de los sistemas postinstalados en los cuales el método de aseguramiento puede tener dificultad en expandirse y variar su comportamiento según el caso específico de su empleo y las condiciones en los cuales va a ser instalado.

De manera similar, altas resistencias influyen en los métodos de perforación para obtener orificios adecuados en los sistemas de anclajes postinstalados, obligando al empleo de herramientas como taladros de Impacto Rotatorio (Martillos Giratorios fig. 2.26 a), taladros con Núcleo de Diamante (fig. 2.26 b) y

³ Tomado del ACI 318S – 05 Apéndice D y Manual de Diseño HILTI

los Electro-Neumáticos (fig. 2.26 c), que permite obtener separaciones adecuadas entre el anclaje y las paredes del orificio según estándares como los del American National Standards Institute (ANSI) en los sistemas cementados, donde influye la capa de ligante en la resistencia final a tracción del sistema de anclaje, que debe ser de 4 a 10 mm mayor del diámetro requerido por el anclaje, valores que por disminución o exceso provocan fallas o desperdicio respectivamente, afectando la resistencia del sistema.



Figura. 2.26 a) Taladro Eléctrico de Impacto Rotatorio

Figura. 2.26 b) Taladros con Núcleo de Diamante

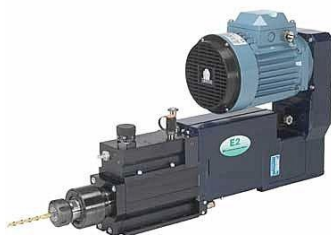


Figura. 2.26 c) Taladros Electro-Neumáticos

2.3.1.2 Resistencia a la tracción del concreto del anclaje: El concreto común tiene una relación de 1/6 a 1/10 entre la resistencia a la compresión y la de tracción axial. Investigadores como el profesor alemán Heilmann en 1969, han propuesto expresiones como la siguiente para relacionar las dos resistencias (siendo f_{ct} la resistencia del concreto a la tracción y f_{cc} la resistencia del concreto a la compresión):

$$f_{ct} = k \cdot f_{cc}^{2/3} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Siendo k una constante con valores entre 0.17 y 0.35.

Y otros, como el profesor Rimmell en 1994, tomaron como muy sobrestimado este valor y prefieren relacionar la resistencia a la tracción con esta otra expresión:

$$f_{ct} = \sqrt{f_{cc}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Que es más conservadora, sin embargo, la resistencia a la tracción está gobernada primariamente por la adherencia entre la pasta hidratada de cemento y el tipo de agregado.

Los métodos de aseguramiento empleados por los diferentes sistemas de anclaje transmiten las cargas al concreto para aprovechar la capacidad de resistencia a la tracción en la porción de material base (concreto), y en varios casos la falla de los anclajes se produce cuando estas exceden esa capacidad⁴ (fig. 2.27). Esta falla produce un cono de fractura (fig. 2.28) el cual se relaciona

⁴ Tomado del Libro "Anchorage in Concrete Construction" Pág. 33

directamente con el comportamiento del sistema de anclaje, motivo por el cual será estudiado con detenimiento en el Capítulo 3 del presente trabajo dentro del diseño.

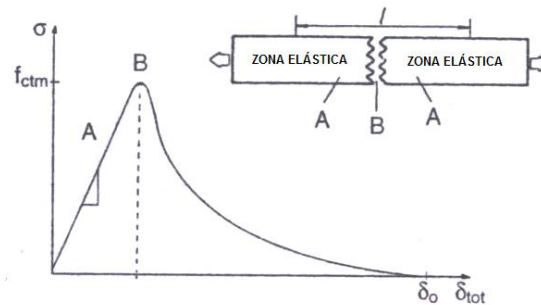


Figura 2.27 Gráfica de la curva Esfuerzo-Deformación de un elemento de concreto.

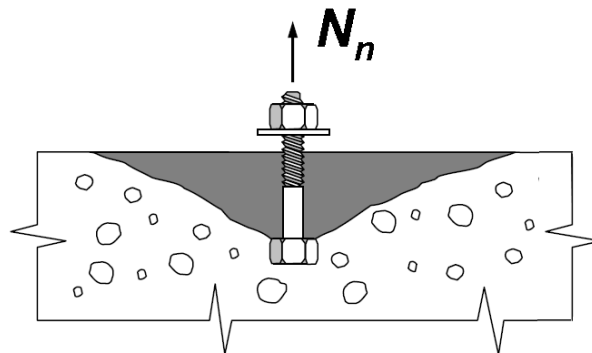


Figura 2.28 Gráfico del Cono de Falla del concreto en un Sistema de Anclaje

Este comportamiento del concreto en tracción es estudiado por el “Método de Diseño de Anclajes por la Capacidad del Concreto (CCD)” y ha generado nuevas teorías tendientes a mejorar la seguridad en las estructuras donde se emplea sistemas de anclaje, y se lo ha concretado en la adición o corrección de los diferentes factores de seguridad empleados y cuyos estudios han logrado predecir de mejor manera el comportamiento del concreto en el sistema.

Hay muchos factores que inciden en esta característica del concreto en el sistema de anclaje, se analizará los que han sido tomados como fundamentales para nuestro estudio a partir de propiedades como el módulo de elasticidad E_c y la energía de fractura G_f (Energía necesaria para fracturar al concreto).

2.3.1.2.1 Profundidad de embebimiento: El comportamiento del sistema de anclaje frente a la tracción, tiene una relación directa con la profundidad efectiva que el elemento de acero penetra en el concreto. Los estudios hechos por Bazant en 1984 con teoría plástica⁵, relacionan el cono de falla en relación a la profundidad de embebimiento, y desarrolló la siguiente fórmula en base a sus pruebas:

$$N = \frac{k_1 \times f_{cc}^{0.5} \times h_{ef}^2}{\left(1 + \frac{h_{ef}}{h_{ef}^0}\right)^{0.5}} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Siendo h_{ef} la profundidad efectiva de empotramiento

Dando los ensayos de evaluación como constantes a k_1 y h_{ef}^0 , con valores en hormigones comunes ($f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$) de:

$$k_1 = 2.7$$

$$h_{ef}^0 = 50 \text{ mm.}$$

Siendo h_{ef}^0 la profundidad mínima de embebimiento y k_1 un primer coeficiente de la resistencia al arranque del concreto. Concluyendo que la relación de esta profundidad es proporcional a $h_{ef}^{1.5}$. Fig. 2.29.

⁵ Tomado del Libro "Anchorage in Concrete Construction" Pág. 43

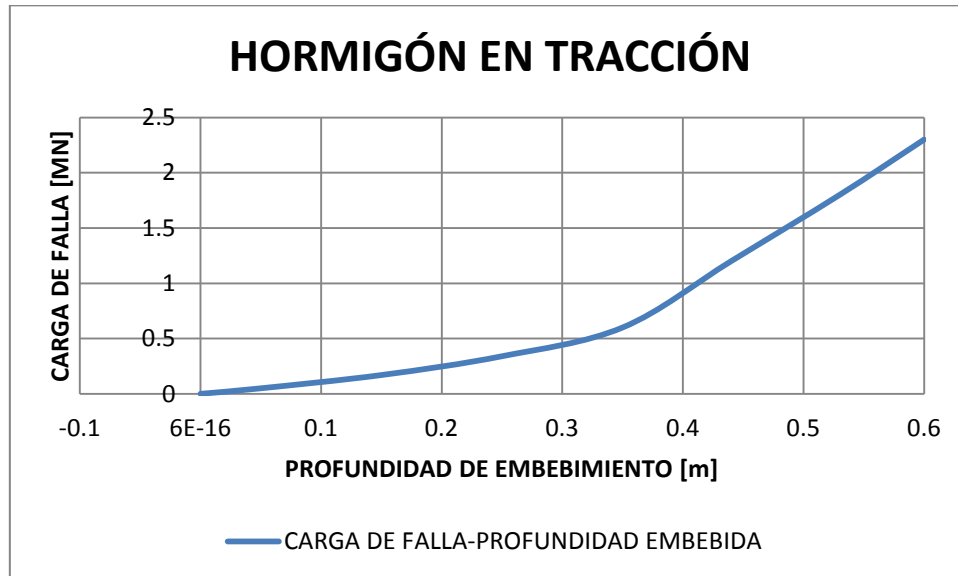


Figura 2.29 Gráfica de la curva de la relación entre la Carga de Falla y la Profundidad Efectiva de Embebimiento hasta de 600 mm.

Estos estudios, y posteriores, son recogidos en el Código ACI 318 a partir del año 2002, con la experimentación del Comité 355, llegando a establecer como límite de la resistencia básica al arrancamiento del concreto (N_b) de un solo anclaje en tracción embebido en concreto fisurado en:

$$N_b = k_c \times f'_c{}^{0.5} \times h_{ef}{}^{1.5} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde k_c es el coeficiente de la resistencia básica al arrancamiento, producto de la simplificación y experimentación de modelos de cálculo como el de Bazant, Cook y Eligehausen. Pero cabe anotar que para algunos sistemas de anclaje este valor de N_b es conservador, y será estudiado más detenidamente en el Capítulo 3 del presente trabajo.

2.3.1.2.2 Esfuerzo en hormigones de baja densidad: El empleo actual de nuevas tecnologías y aplicaciones del concreto, material base de los anclajes, presentan nuevos desafíos, este es el caso del uso de hormigones de baja

densidad o livianos, desarrollados y empleados principalmente como aisladores térmicos y acústicos, y en otros casos para disminuir la carga muerta en elementos estructurales donde su baja resistencia a la compresión sea admisible, que generalmente obtiene un 80% de un concreto común de similares características en cada uno de los tipos y clases que existen.

En cuanto al sistema de anclajes, este material base tiene un comportamiento característico estudiado por los profesores alemanes Hordijk, Van Mier y Reinhardt en 1989⁶, quienes observaron que, a pesar de que la resistencia a la tracción máxima es similar a la de un concreto normal de características parecidas, su falla luego de pasar este valor, en hormigones alivianados, es brusca y en los normales es atenuada, comportamiento que debe tomarse en cuenta si el anclaje integra elementos estructurales importantes dentro de la edificación. Fig. 2.30

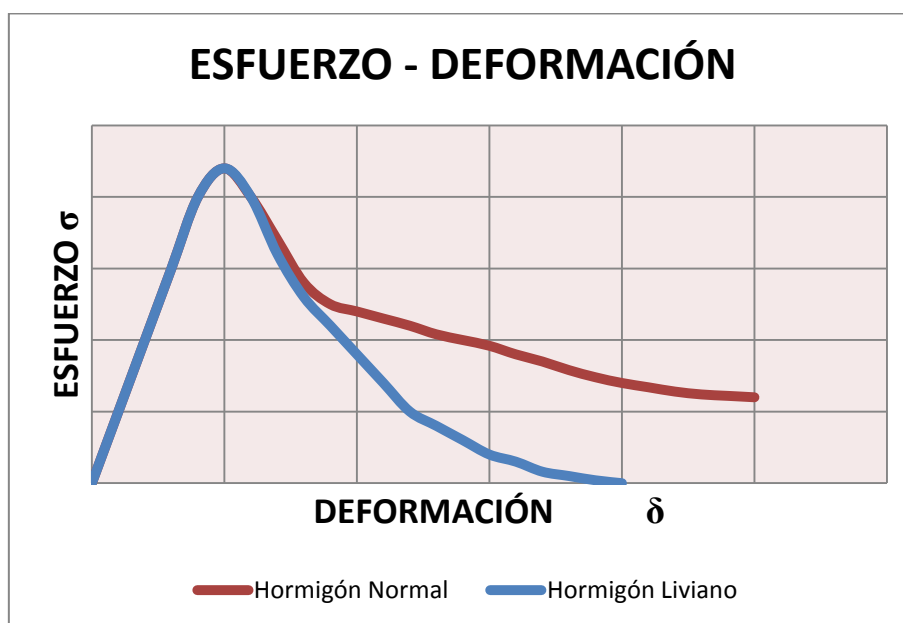


Figura 2.30 Gráfica de la curva del comportamiento de la deformación unitaria del concreto liviano y el común, en función de su resistencia a la tensión.

⁶ Tomado del Libro "Anchorage in Concrete Construction" Pág. 34

2.3.1.2.3 Esfuerzo en Hormigones Fisurados: Otra característica, estudiada en los últimos años, es la fisuración en los hormigones, sea esta producida durante la instalación del anclaje en los sistemas postinstalados, por la aplicación de las cargas de servicio que soporta el elemento estructural donde está siendo aplicado el anclaje, o por diferentes agentes o sollicitaciones que hayan logrado provocar fisuras que no sean de carácter patológico. Entendiendo por concreto fisurado aquel en el cual el ancho de las fisuras es uniforme a lo largo de la profundidad de embebimiento del anclaje.

El cono de falla del concreto tiene un proceso de formación a partir de las microfisuras que se van originando por la repetición de cargas que exceden la resistencia básica al arrancamiento del sistema de anclaje. Este comportamiento se transmite en la porción de concreto que rodea al sistema formando el cono. Cuando estas microfisuras se difunden en un medio ya fisurado su colapso se acelera proporcionalmente a la magnitud de este fisuramiento existente, es decir, un concreto con mayor fisuramiento presenta una menor resistencia a la tracción. De esto se concluye que esta característica del concreto del sistema de anclaje debe ser incluido en su diseño, cuidando que las fisuras mayores a 0.3 mm. y 0.4 mm. no excedan el percentil del 5% dentro de la porción de concreto a ser utilizada⁷ (Fig. 2.31), siendo afectada la resistencia en este caso hasta en un 40% de la resistencia en un concreto no fisurado, y estableciendo con un ancho de grieta máxima aceptable en cargas últimas de hasta 0.5 mm. y 0.6 mm., con una reducción en la resistencia de hasta el 60%.

⁷ Tomado del Libro "Anchorage in Concrete Construction" Pág. 51

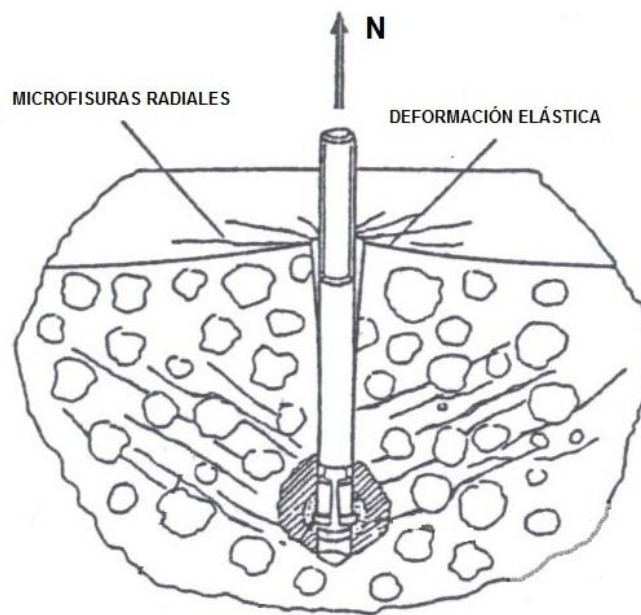


Fig. 2.31 Imagen de un Sistema de Anclaje postinstalado en un concreto fisurado.

Según las experiencias, el modelar el sistema de anclaje asumiendo un concreto fisurado, es mucho más seguro, frente a la imposibilidad de determinar si la porción de concreto utilizada presente fisuras al entrar en servicio, o si el sistema, durante o posterior a su instalación, pueda generar tal concentración de esfuerzos que provoquen el fisuramiento. Sin embargo, si el análisis no determina fisuración, se puede obviar esta consideración, lo cual generalmente se puede hacer en elementos horizontales donde el esfuerzo sea perpendicular. Fig. 2.32

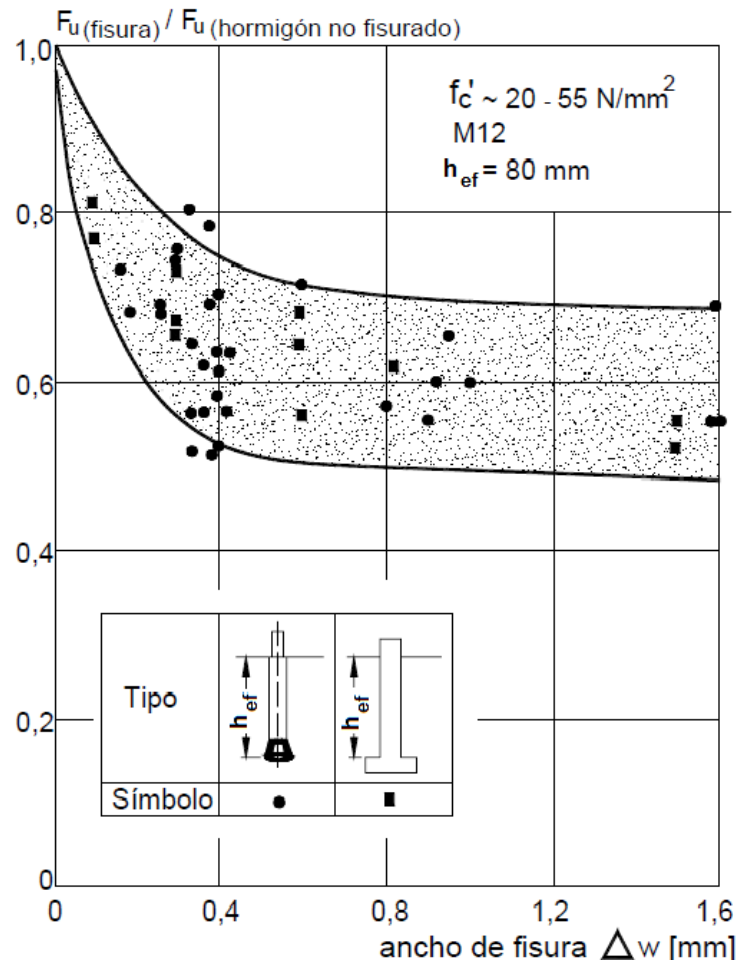


Figura 2.32 Influencia de las fisuras sobre la carga última de anclajes rebajados y con cabeza (Eligehausen 1984)

2.3.1.3 Agregados del concreto: Como otra de las características del concreto que inciden en el comportamiento del sistema de anclaje, tenemos al tipo de agregado, principalmente el grueso, empleado en la confección de este. Como ya se ha mencionado, el diámetro promedio del agregado influye en la adherencia entre los componentes del concreto, pero también influye en la transmisión de la fractura, tema importante cuando se trata de hormigones fisurados, pues agregados gruesos de gran diámetro pueden ayudar a la resistencia del concreto a la tracción, según los estudios.

Estudios como los del profesor Wesche publicados en su libro sobre “Materiales de Construcción” en 1993 relacionan la variación del módulo de elasticidad con la mezcla del concreto, llegando a determinar que este se incrementa aumentando agregado con mayor módulo de elasticidad (mayor diámetro), y reduciendo el cemento y la relación agua/cemento.

De lo anterior se deduce que al tener agregado grueso de mayor diámetro promedio, obtenemos un concreto con mayor módulo de elasticidad, y por consiguiente con mayor resistencia a la tracción, como podemos observar en la fig. 2.33 con gráficas de curvas de ensayos de resistencia a la tracción con hormigones de promedio de agregado grueso diferente:

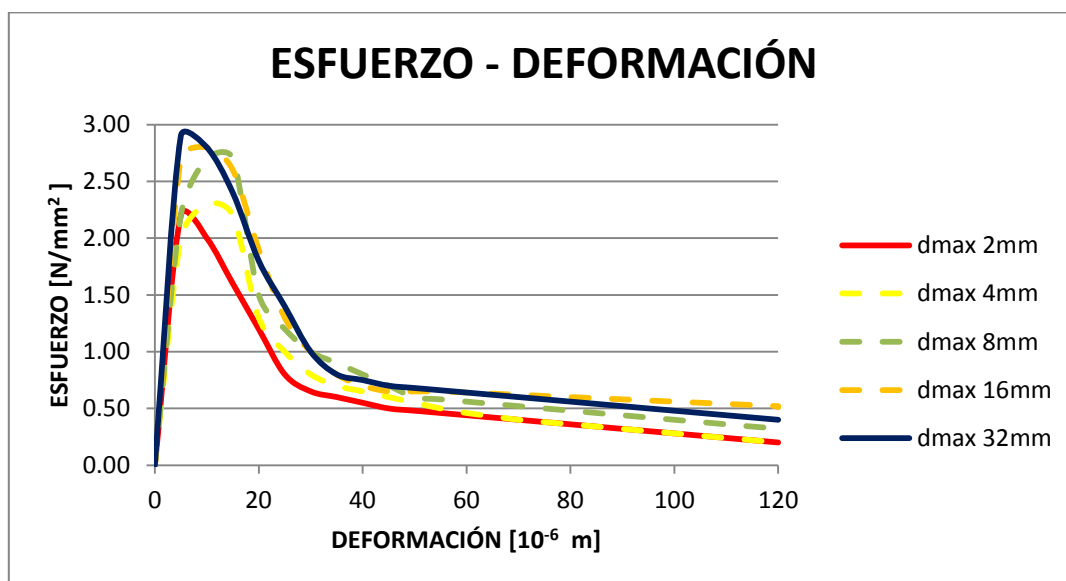


Fig. 2.33 Influencia del tamaño del agregado grueso en la resistencia a la tensión del concreto.

En cuanto a la adherencia se debe recordar que las superficies rugosas ayudan en este tema, por lo que se debe evitar hormigones elaborados con agregados gruesos de canto rodado para sistemas de anclaje, ya que pueden reducir la resistencia hasta en un 20%.

2.3.2 Características del Acero.- El acero estructural como material base de los sistemas de anclaje ha sido estudiado de manera paralela al concreto, sabiendo que sus características dependen principalmente de sus propiedades físicas y químicas. Es así como se ha realizado ensayos para lograr mejorar la adherencia al concreto, protegerlo de ataques químicos, mejorar su método de aseguramiento y experimentar otros criterios y características que han sido recogidos por los distintos códigos y manuales como PCI, ASTM, ACI, EUROCODIGO, etc. En el presente trabajo analizaremos las principales características que interesan al medio de la construcción del Ecuador recomendadas por las distintas empresas fabricantes y el Código ACI por ser referente para el presente estudio.

2.3.2.1 Composición: Es importante recordar que el acero es una aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2,0% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar (a diferencia de los aceros), se moldean. A continuación tenemos una tabla de la clasificación de los aceros llamados al carbón por su concentración en la aleación:

Tabla 2.4 Tipos de acero por su porcentaje de carbono.

PORCENTAJE DE CARBONO	DENOMINACIÓN	RESISTENCIA (kg/cm ²)
0.1 a 0.2	ACEROS EXTRASUAVES	2600–3300
0.2 a 0.3	ACEROS SUAVES	3300–3800
0.3 a 0.4	ACEROS SEMISUAVES	3800–4300
0.4 a 0.5	ACEROS SEMIDUROS	4300 – 4900
0.5 a 0.6	ACEROS DUROS	4900 – 5200
0.6 a 0.7	ACEROS EXTRADUROS	5200–5600
MAYOR A 0.7	ACEROS ESPECIALES	

Del mismo modo vamos a presentar otra tabla con los otros componentes que dan características especiales al acero y que son de interés para los sistemas de anclaje:

Tabla 2.5 Efectos de elementos aleados al acero.

ELEMENTO	EFEECTO
ALUMINIO	Utilizado con porcentajes hasta del 1% y generalmente con propiedades desoxidantes.
AZUFRE	Se encuentra en los aceros como impureza, se toleran porcentajes hasta un 0.05 %, en caliente produce una gran fragilidad del acero, sus efectos perjudiciales pueden neutralizarse en parte con la adición del manganeso, que se combina con él formando sulfuro de manganeso. A veces se adiciona en proporciones de 0.1 a 0.3 % con un contenido mínimo de manganeso de 0.6 %, dando lugar a aceros llamados de fácil mecanización, que tienen menor resistencia, pero pueden ser trabajados con velocidades de corte doble que un acero corriente.
BORO	Se presenta con bajas concentraciones menores a 0.1%, aporta con dureza al acero y actualmente es muy empleado en aceros de baja aleación.
COBALTO	Se usa en los aceros rápidos para herramientas, aumenta la dureza de la herramienta en caliente. Se utiliza para aceros refractarios. Aumenta las propiedades magnéticas de los aceros.
CROMO	Forma carburos muy duros y confiere al acero mayor dureza, resistencia y tenacidad a cualquier temperatura. Solo o aleado con otros elementos, proporciona a los aceros características de inoxidable y refractarios.
MANGANESO	Se utiliza fundamentalmente como desoxidante y desulfurante de los aceros.
MOLIBDENO	Junto con el carbono es el elemento más eficaz para endurecer el acero. Evita la fragilidad.
NÍQUEL	Aumenta la resistencia de los aceros, aumenta la templabilidad proporciona una gran resistencia a la corrosión.
PLOMO	El plomo no se combina con el acero, se encuentra en él en forma de pequeñísimos glóbulos, como si estuviese emulsionado, lo que favorece la fácil mecanización por arranque de viruta, (torneado, cepillado, taladrado, etc.) ya que el plomo es un buen lubricante de corte, el porcentaje oscila entre 0.15 y 0.30 % debiendo limitarse el contenido de carbono a valores inferiores al 0.5 % debido a que dificulta el templado y disminuye la tenacidad en caliente.
SILICIO	Se emplea como desoxidante en la obtención de los aceros, además les proporciona elasticidad. Si la proporción es elevada (1 a 5%) los aceros tienen buenas características magnéticas.
TUNGSTENO	Forma con el hierro carburos muy complejos estables y durísimos, soportando altas temperaturas. En porcentajes del 14 al 18 %, proporciona aceros rápidos con los que es posible triplicar la velocidad de corte de los aceros al carbono para herramientas.
VANADIO	Posee una enérgica acción desoxidante y forma carburos complejos con el hierro, que proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción y poder cortante en los aceros para herramientas.

La composición del acero es importante dentro del sistema de anclaje, tanto por su resistencia a las solicitaciones estructurales como a las exigencias de otro tipo de factores como las del medio ambiente donde es instalado, ataques químicos de sustancias propias del uso de la infraestructura, corrosión electroquímica y otros. En el Ecuador los distribuidores de anclajes de fábricas como: HILTI, POWER, HALFEN y otras, ofrecen como soluciones para ataques químicos los recubrimientos de zinc galvanizado y elementos de acero inoxidable (Aceros con alto contenido de cromo), que cubren las obras comunes de ingeniería, pero para obras más exigentes, como proyectos petroleros, plantas recicladoras y otras, se puede exigir y diseñar con un espectro más amplio y específico a cada caso.

2.3.2.2 Tipo de acero: Los múltiples usos del acero han diversificado su tipificación, la cual puede ser en función de su composición, de sus usos, de sus propiedades físicas, propiedades mecánicas, etc. Para los sistemas de anclaje también interesa esta diversidad, así estudiaremos los aceros frágiles y los dúctiles, de mucha importancia cuando los anclajes constituyen partes estructurales de una edificación.

2.3.2.2.1 Elementos dúctiles de acero: Es aquel anclaje cuyo acero presenta un alargamiento en tracción mayor al 14%, o una reducción de área menor al 30%, antes de su fractura. Dentro de estas características entran los aceros que cumplen con la norma ASTM 307. Las necesidades comunes exigen aceros dúctiles, los cuales aprovechan el límite plástico en aplicaciones como rótulas plásticas que emplean criterios de seguridad que se basan en la

deformación previa antes del colapso, la misma que se traduce en tiempo y alarma para evitar pérdidas humanas.

2.3.2.2 Elemento frágil de acero: Es aquel anclaje cuyo acero presenta un alargamiento en tracción menor al 14%, o una reducción de área mayor al 30% antes de su fractura. Estos aceros son usados donde la forma de falla es secundaria frente a la gran resistencia que brinda el elemento, uso que no es frecuente en edificaciones, sin embargo existen nuevas tendencias que emplean aceros de baja aleación que son frágiles pero con gran resistencia en elementos estructurales por ser de menor costo. Estos todavía no han sido experimentados como aceptables para ser utilizados en los sistemas de anclajes, especialmente en los postinstalados.

2.3.2.3 Resistencia a la tracción del acero: Esta característica es fundamental para el funcionamiento de los sistemas de anclaje, especialmente cuando se emplea elementos frágiles. Según las experimentaciones hechas, registradas en los códigos internacionales, el ACI recomienda que la resistencia específica del acero a tracción f_{uta} no debe superar al menor valor comparado entre la resistencia específica del acero del anclaje $1.9f_{ya}$ y 860 MPa. Por lo que concluye que la resistencia nominal de un solo anclaje o grupo de anclajes en tracción N_{sa} no debe exceder a:

$$N_{sa} = nA_{se,N} f_{uta} \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde n es el número de anclajes y $A_{se,N}$ es el área de sección efectiva recomendada por el fabricante. Estimación que se aplica en los aceros estructurales de norma ASTM A36, con una resistencia baja de 36 ksi, y el

ASTM A572, que ofrece resistencias de 42, 45, 50, 55, 60 y 65 ksi. A continuación presentamos una tabla con la resistencia nominal a tracción y otras propiedades de los aceros más utilizados según normas ASTM, para la elaboración de anclajes:

Tabla 2.6 Propiedades Mecánicas de las normas principales.

Norma aplicable al material ¹	Grado o tipo	Diámetro	Resistencia a la tracción, para el diseño, f_{ut}	Resistencia a la tracción, mín. (ksi)	Esfuerzo de fluencia, mín.		Alargamiento, mín		Reducción del área, mín. (%)
					ksi	método	%	longitud	
AWS D1.1 ²	B	½ - 1	60	60	50	0,2 %	20	2	50
ASTM A 3073	A	≤ 4	60	60	-	-	18	2	-
	C	≤ 4	58	58-80	36	-	23	2	-
ASTM A 354 ⁴	BC	≤ 4	125	125	109	0,2 %	16	2	50
	BD	≤ 4	125	150	130	0,2 %	14	2	40
ASTM A 449 ⁵	1	≤ 1	120	120	92	0,2 %	14	4D	35
		1 - 1-1/2	105	105	81	0,2 %	14	4D	35
		> 1-1/2	90	90	58	0,2 %	14	4D	35
ASTM F 1554 ⁶	36	≤ 2	58	58-80	36	0,2 %	23	2	40
	55	≤ 2	75	75-95	55	0,2 %	21	2	30
	105	≤ 2	125	125-150	105	0,2 %	15	2	45

Notas de la tabla 2.6:

1. Los materiales listados son los que habitualmente se utilizan para los anclajes en hormigón. Aunque se pueden utilizar otros materiales (por ejemplo, acero ASTM A 193 para aplicaciones de alta temperatura, acero ASTM A 320 para aplicaciones de baja temperatura), para las aplicaciones normales se prefieren los materiales listados. Los materiales para bulones de acero estructural, tales como los aceros ASTM A 325 y ASTM A 490, normalmente no se consiguen en las longitudes que se requieren en las aplicaciones para anclaje en hormigón.

2. *AWS D1.1-00 Structural Welding Code - Steel*. Esta especificación abarca los pernos con cabeza soldados o los pernos con gancho soldados (sin rosca).

Ninguna de las otras especificaciones listadas abarca los pernos soldados.

3. ASTM A 307-00 Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60.000 psi Tensile Strength. Este es un material habitualmente utilizado para los anclajes en hormigón. El Grado A corresponde a los bulones y pernos con cabeza. El Grado C corresponde a los bulones (pernos) sin cabeza, ya sean rectos o doblados, y equivale al acero ASTM A 36. Observar que aunque no hay un requisito sobre la reducción del área, se puede considerar que el acero ASTM A 307 es un elemento de acero dúctil.

4. ASTM A 354-01 Standard Specification for Quenched and Tempered Alloy Steel Bolts, Studs, and Other Externally Threaded Fasteners. La resistencia del Grado BD equivale a la del ASTM A 490.

5. ASTM A 449-00 Standard Specification for Quenched and Tempered Steel Bolts and Studs. ASTM A 325 hace referencia a esta especificación para los bulones de anclaje "equivalentes."

6. ASTM F 1554-99 Standard Specification for Anchor Bolts. Esta especificación abarca los bulones de anclaje rectos y doblados, con y sin cabeza, de tres grados diferentes de resistencia. Se pueden conseguir anclajes con diámetros menores que 4 in, pero los requisitos sobre reducción del área varían para los anclajes de menos de 2 in.

Cabe anotar que el aprovechamiento de la resistencia máxima a la tracción se incrementa con el aumento de la profundidad efectiva de embebimiento, y que los valores máximos ensayados con diferentes tipos de anclajes se ha conseguido con los sistemas autoperforantes y autorebajantes⁸, según lo registra Eligehausen en su libro según las curvas de la figura 2.34.

⁸ Tomado del Libro "Anchorage in Concrete Construction" Pág. 67

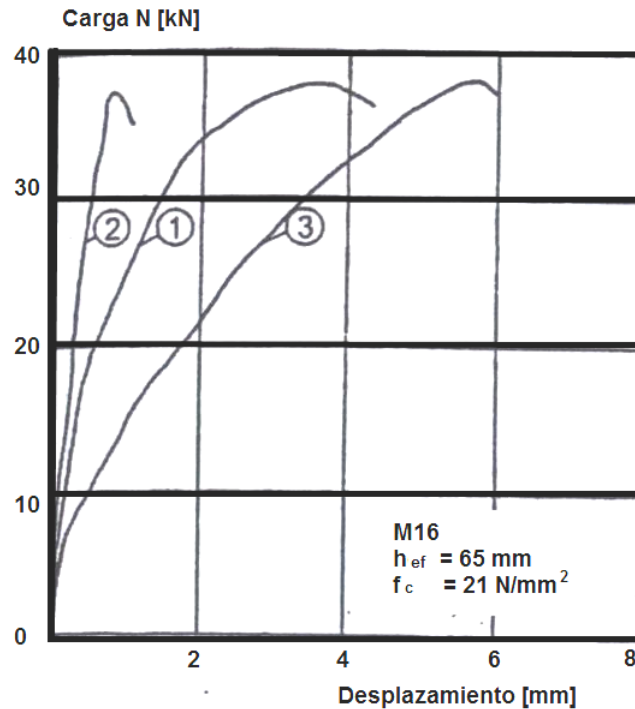


Figura. 2.34 Curva carga-desplazamiento para varios sistemas de anclaje

- 1) Anclaje de torque controlado**
- 2) Anclaje tipo Drop-in**
- 3) Anclaje autoperforante**

También se debe tomar en cuenta que la falla del acero del anclaje representa uno de los más altos valores de resistencia atribuible al anclaje, que generalmente se produce con profundidades efectivas de embebimiento grandes y en sistemas preinstalados.

2.3.2.4 Resistencia al Corte: Otra característica importante del acero de anclaje es su resistencia al corte, aunque teóricamente no sea apropiado calcular una falla asociada a esta, por su complejo comportamiento y la interacción con los esfuerzos de tracción y flexión. Por esto generalmente se asume que la falla ocurre al ser sobrepasada la capacidad a tracción, que es común, antes de la falla a corte. Sin embargo investigadores como *Fribergen*

1940, *Friedmann* 1983 y *Tassios* en 1987, entre otros, plantearon una solución que la asocia a los criterios del problema clásico de indeterminación de una viga en una fundación elástica o elasto-plástica, relacionando la distribución del empuje del concreto y el principio de un momento plástico en el anclaje producido a una determinada distancia de la superficie, lo cual, tras años de experimentación, posteriormente fue simplificado en la relación:

$$V_{us} = \alpha A_s f_u \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde el coeficiente α ha sido estudiado por *Klingner*, *Mendonca*, *Roiky* otros, dando valores de α que rodean 0.6 para anclajes comunes y 0.7 para los soldados a una placa base, y para un grupo de anclajes *Klingner*, *Cook* y *Eligehausen* recomiendan tomar un valor de 0.5 para mayor seguridad. En este tema debemos mencionar las investigaciones hechas sobre elementos donde hubo fallas a corte en el concreto, previa a la falla del acero, lo cual no es común, pero investigadores como *Ollgaard*, *Slutter*, *Fisher* en 1971 y *Roiken* 1982 propusieron la siguiente ecuación para establecer la resistencia a corte del concreto en un sistema de anclaje con pernos soldados a una placa base:

$$V_{usp} = 0.5 A_s \sqrt{E_c * f_c} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Otros estudios también han incluido la acción de palanca generada en algunos sistemas de anclaje, especialmente en los llamados *stand-off* o sistemas con separación, que producen momentos; estos serán analizados dentro del diseño en base a la ecuación propuesta por *Scheer*, *Peil* y *Nölle* en 1987:

$$V_{us} = \alpha_M \frac{M_{us}}{l} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde α_M toma valores de 1 cuando la rotación no tiene restricciones tanto en el anclaje como en la placa base, y 2 cuando la rotación del anclaje está restringida por la placa base como se indica en la figura 2.35.

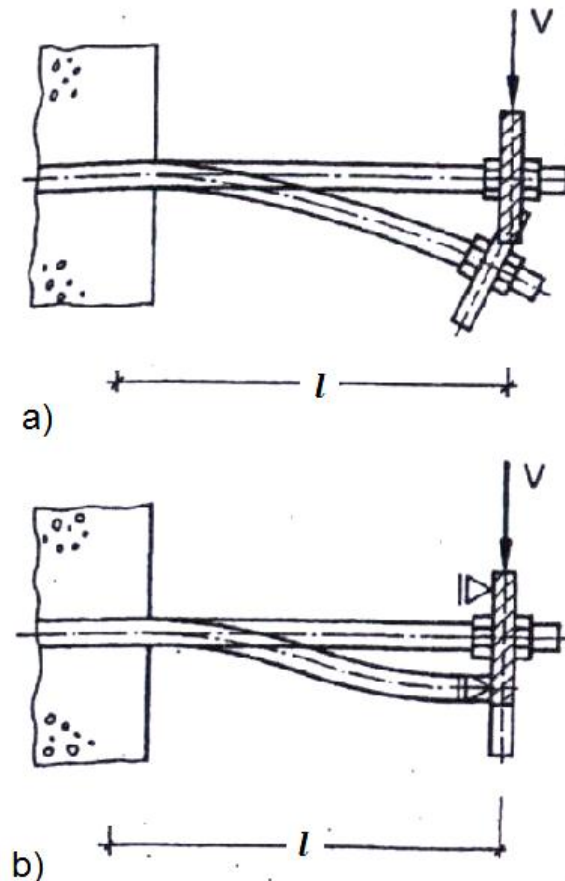


Figura 2.35
a) Rotación sin restricciones
b) Rotación del anclaje restringido por la placa

2.3.2.5 Fricción: La fricción que presenta las superficies de contacto del acero es una característica que involucra también, al concreto en los sistemas preinstalados, y al ligante o relleno en los postinstalados, según sea el caso. Cuando el método de aseguramiento es en base a la fricción, esta característica de la superficie en contacto del acero se vuelve fundamental en el funcionamiento del sistema de anclaje, esto fue estudiado por *Kellermann* y

Klein en 1955 y depurada por la *VDI* (*Verein Deutscher Ingenieure* o *Asociación Alemana de Ingenieros*) en 1983 mediante la siguiente ecuación para obtener la fuerza de fricción en un anclaje:

$$F_{sv} = \frac{T}{k \cdot d} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde la constante k se calcula en base a los siguientes coeficientes de fricción:

Tabla 2.7 Coeficientes de fricción para anclajes abulonados según la VDI (Asociación Alemana de Ingeniería)

SUPERFICIE	$\tan(\delta_g)$	$\tan(\delta_k)$
Electro galvanizada seca	0.12 – 0.20	0.16 – 0.20
Electro galvanizada lubricada	0.10 – 0.18	0.10 – 0.18
Acero inoxidable	0.26 – 0.50	0.35 – 0.50
Acero inoxidable lubricado	0.12 – 0.23	0.08 – 0.12

Donde δ_g es el ángulo de fricción de la rosca del anclaje y δ_k es el ángulo de fricción de la cabeza del anclaje.

2.3.2.5 Normativa: Todas estas características importantes del acero de anclaje, requeridas para su resistencia a las diferentes sollicitaciones, se ha recogido en diferentes normas de las diferentes asociaciones e institutos, algunas de las cuales presentamos a continuación en la tabla 2.8 con las más comunes que se exigen a los aceros de los sistemas de anclaje al concreto⁹ a nivel mundial, tomando como base las establecidas por la *ASTM* (*American Society for Testing and Materials*) que es la más común en nuestro medio de la construcción:

⁹Tomado del Capítulo 34 del Código ACI 318 pág. 3

Tabla 2.8 Normas más comunes para aceros de anclajes.

NORMA APLICABLE	TIPO DE ELEMENTO DE ACERO
AWS D1.1	Especificaciones para pernos con cabeza soldados o pernos con ganchos soldados.
ASTM A36/ A36M-03	Especificaciones para el acero estructural al carbón.
ASTM A 193	Especificaciones para aplicaciones de acero a alta temperatura.
ASTM A 307	Especificaciones para bulones y pernos de acero al carbón con resistencia de tensión mínima de 60000 psi.
ASTM A 320	Especificaciones para aplicaciones de acero a bajas temperaturas
ASTM A 325M	Especificaciones para bulones y pernos de acero de alta resistencia a tensión.
ASTM A 354	Especificaciones para bulones y pernos de aceros de aleaciones temperadas y apagadas.
ASTM A 449	Especificaciones para bulones y pernos de acero temperados y apagados.
ASTM A 490	Especificaciones para bulones y pernos de acero de resistencias a la tensión de mínimo 150 ksi.
ASTM A 572	Especificación para aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación con niobio y vanadio.
ASTM F 1554	Especificaciones para bulones de anclaje.

Dentro de estas normas no hacemos constar la normativa ecuatoriana INEN por no poseer una específica para este tipo de elementos estructurales.

2.4 Características de los Ligantes

Se entiende por ligante a aquella sustancia o compuesto químico que se aplica en el sistema de anclaje para crear una capa adhesiva entre el concreto y el acero para mantenerlos unidos. Este compuesto en la actualidad se ha diversificado mucho en la industria debido a su efectividad, tanto en resistencia como en facilidad de aplicación. Inicialmente aparecieron los morteros de relleno, luego aparecen los llamados Grouts o lechadas de relleno, alcanzando mejores resistencias y manejo, los mismos que dieron paso a los cementantes

epóxicos que actualmente son muy utilizados. De estos, los dos primeros se los conoce como Ligantes Inorgánicos, y los epóxicos como Ligantes Orgánicos por la procedencia de sus componentes.

2.4.1 Morteros de Relleno:

Son ligantes inorgánicos resultado de la mezcla de cementante, agua y agregados finos, pudiendo incluir aditivos según el sistema de anclaje en el cual va a ser empleado. Estos morteros presentan resistencias bajas en relación a los otros, a pesar de ser mejorados por los diferentes aditivos, siendo su principal función la adherencia entre el concreto y el acero. Morteros expansivos de este tipo logran resistencias sobre los 400 kg/cm^2 , teniendo como limitante su consistencia y trabajabilidad en relación a los otros ligantes, siendo más económica su preparación.

2.4.2 Lechadas de Relleno o Grouts:

Generalmente se los confunde con los morteros, pero los grouts tienen diferencias claras como:

1. No necesita tener agregados obligatoriamente.
2. Su consistencia es variable según su uso y colocación.
3. El grout es utilizado más como un llenador de espacios vacíos.

Anotado lo anterior diremos que los grouts son una mezcla de cementante y agua, con o sin agregados, dosificados para obtener una consistencia que permita su colocación sin que se produzca la segregación de sus constituyentes. En los sistemas de anclajes es utilizado para garantizar la continuidad de transferencia de cargas entre el acero y el concreto, sus

características de resistencia están especificadas en la norma ASTM C476 para lechadas de mampostería. Los grouts, fácilmente superan resistencias de 500 kg/cm^2 según sea su uso final.

2.4.3 Epóxicos.

Son ligantes orgánicos producto de la unión de dos o más componentes, generalmente un polímero termoestable y un catalizador que permite su endurecimiento. El polímero puede ser una resina epoxi, un viniléster o un poliéster insaturado, los cuales pueden formar nuevos ligantes al combinarse con un tercer componente como los grouts. Los cementantes epóxicos pueden alcanzar resistencias a compresión mayores a 700 kg/cm^2 y sobre los 150 kg/cm^2 en tracción, lo cual lo vuelve un material ligante ideal para los anclajes, por ello la mayoría de casas fabricantes ha concentrado su producción en este tipo de ligantes, que a pesar de tener mayor costo que sus predecesores, las ventajas que ofrece justifica la inversión. En este campo podemos nombrar productos como el *Sikadur 42 Anclaje* de la fábrica *Sika*, el *HIT RE 500* de la fábrica *HILTI*, entre muchas otras alternativas que el diseñador debe elegir para cada caso específico.

CAPITULO III

3. DISEÑO DE PERNOS DE ANCLAJE

3.1 Introducción

Los anclajes actualmente se han constituido en una solución constructiva eficiente, que ha permitido la transferencia de cargas desde nuevos elementos hacia la estructura, o la unión de elementos estructurales heterogéneos fig. 3.1

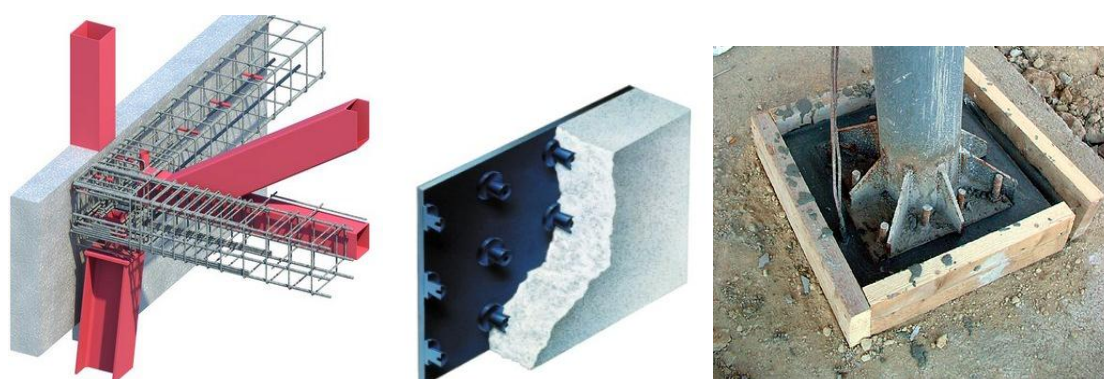


Figura 3.1 Anclajes en elementos estructurales

En la construcción en ocasiones se determina la clase y dimensiones de los anclajes en base a las propiedades del material o las tablas de los fabricantes, y no considerándolo como un sistema, lo que conlleva al sobredimensionamiento o al subdimensionamiento de los mismos, generando en el primer caso un gasto mayor de recursos económicos, y en el segundo la disminución de la seguridad de la estructura.

El presente estudio busca que el cálculo de pernos de anclaje se realice en base a métodos establecidos como el desarrollado por en el Apéndice D del Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08) y los procedimientos del Dr. Eligehausen expresados en el libro “Anchorage in Concrete Construction”, para el diseño de anclajes en el concreto, utilizados para transmitir las cargas estructurales de tracción, cortante o combinación de estos, entre los elementos estructurales conectados; o también de aditamentos y elementos estructurales relacionados con la seguridad como aisladores de base, disipadores de energía y otros fig. 3.2.

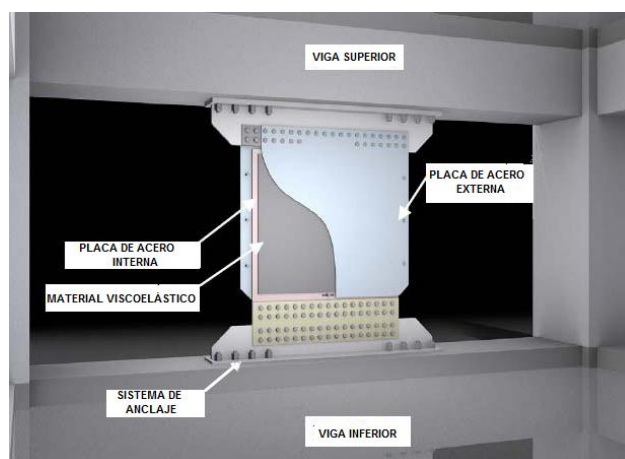


Figura 3.2 Disipador de energía con sistema de anclaje.

3.2 Métodos de Diseño de Sistemas de Anclaje

Los anclajes y grupos de anclajes según el Apéndice D del ACI 318 se diseñan para los efectos críticos producidos por cargas mayoradas, determinadas por medio de un análisis elástico. Cuando la resistencia nominal está controlada por elementos de acero dúctiles, se permite el enfoque del análisis plástico teniendo en cuenta la compatibilidad de deformaciones. El diseño de los anclajes en concreto se debe ocupar tanto de la resistencia del acero de los

anclajes como de aquella asociada con la porción de los anclajes que está empotrada. La menor de estas dos resistencias será la que determine el diseño fig. 3.3.

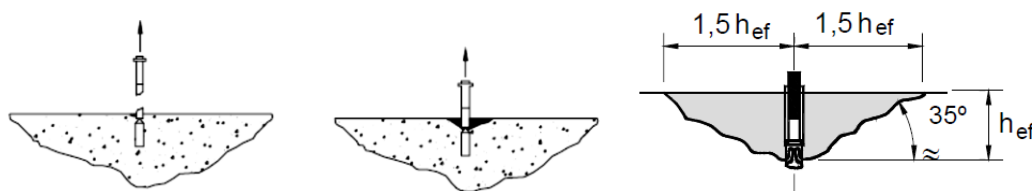


Figura 3.3 Sistema de anclaje.

El método del cono de desprendimiento a 45 grados usado en el Apéndice B de ACI 349-85 "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures" y el Manual de Diseño PCI "Design Handbook, 5º Ed." fue uno de los primeros desarrollados sobre este tema a mediados de la década del 70 del siglo pasado. En 1980, continuando con estos estudios, en la Universidad de Stuttgart se realizaron numerosos ensayos sobre diferentes tipos de anclajes, usando distintas longitudes de empotramiento, distancias a los bordes y efectos de grupo, tanto en concreto no fisurado como en concreto fisurado. Se desarrolló el método Kappa (K) que fue introducido en ACI 349 y ACI 355 a partir de finales de esa década. En 1990, en la Universidad de Texas, Austin, se mejoró el método K intentando simplificar su aplicación. Obteniendo el Método de Diseño por Capacidad del Concreto (Método CCD, según sus siglas en Inglés). A mediados de esa década, la mayor parte del trabajo de los Comités ACI 349 y 355 se centró en evaluar el método CCD y el método del cono de 45°. Los Comités ACI 318, 349 y 355 procedieron a implementar este método a la par otros códigos como el IBC y el Eurocódigo. Los requisitos de diseño del Apéndice D de ACI 318-02 y el Apéndice B de ACI 349-01 "Code

Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures, Appendix B – Steel Embedment," se basan en el método CCD, y en el año 2005 se incorpora la segunda edición del Apéndice D al ACI 318 – 05, con su actualización en el 2008.

La diferencia entre los requerimientos del Apéndice D de ACI 318 y el método del cono de desprendimiento de 45 grados, radica en la forma de cálculo de la resistencia al desprendimiento del concreto. Este método se basa en un modelo de falla con un cono de desprendimiento de 45°, obteniéndose una ecuación en función del cuadrado de la longitud de empotramiento (h_{ef}^2) dando resultados muy conservadores para los anclajes en los cuales $h_{ef} \leq 6$ in. fig 3.4.

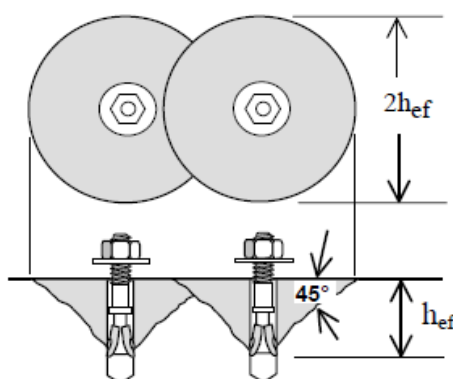


Figura 3.4 Fractura del concreto modelo cónico 45°

Los requisitos del Apéndice D de ACI 318 consideran la mecánica de la fractura, con lo cual para la resistencia al desprendimiento del concreto se obtiene una ecuación en función de la profundidad efectiva de embebimiento elevada a la potencia 1,5 ($h_{ef}^{1,5}$), determinando con mayor precisión las longitudes de empotramiento y la resistencia al desprendimiento del concreto, tanto para los anclajes individuales como para los anclajes afectados por los efectos de borde y de grupo, simplificando el cálculo de los efectos de un grupo de anclajes y de la proximidad a los bordes, ya que utilizan un área rectangular

con sus lados ubicados a una distancia de $1,5h_{ef}$ fig. 3.5 del anclaje, formado una pirámide de falla, y no las áreas circulares típicamente empleadas en el método del cono a 45° .

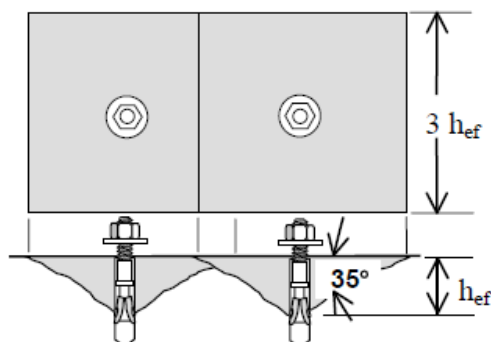


Figura 3.5 Fractura del concreto modelo de pirámide 35°

3.2.1 Análisis del Apéndice D del Código ACI 318-02 y ACI 318-08.-

El Apéndice D, Anclaje en Concreto, aparece por primera vez en el Código ACI 318-02 incluyendo los requisitos para el diseño de anclajes en concreto, tanto para anclajes hormigonados in situ como para anclajes incorporados posteriormente en un elemento de concreto endurecido.

Hasta fines de la década del 90 tanto el Código ACI 318 como las especificaciones para el diseño por factores de carga y resistencia y por tensiones admisibles del AISC (American Institute of Steel Construction) LRFD y ASD, no presentaban especificaciones con respecto al diseño de los anclajes en concreto. El Apéndice B de ACI 349-85 y el Manual de Diseño PCI constituían las principales fuentes de información para el diseño de los anclajes hormigonados in situ. Para el diseño de los anclajes postinstalados al concreto endurecido se basaba en la información proporcionada por los diferentes fabricantes de anclajes.

En estos últimos años el Comité ACI 318 desarrolló requisitos codificados para el diseño de anclajes mecánicos tanto hormigonados in situ como postinstalados al concreto endurecido. El Comité ACI 355, Anclaje en Concreto, y del Comité ACI 349, Estructuras Nucleares de Concreto colaboraron para este estudio, el Comité ACI 355 se involucró en el desarrollo de un método de ensayo para evaluar el comportamiento de los anclajes mecánicos incorporados al concreto endurecido.

Durante el ciclo de trabajo que culminó con la publicación de ACI 318-99, el Comité ACI 318 aprobó un Apéndice D que fue propuesto para tratar el diseño de los anclajes mecánicos hormigonados in situ o incorporados al concreto endurecido. La adopción final del apéndice propuesto dependía de la aprobación por parte del Comité ACI 355 de un método de ensayo que sirviera para evaluar el comportamiento de los anclajes mecánicos post instalados, esta aprobación exigía el procedimiento de consenso por el cual se rige la ACI, pero no lo pudo completar en los plazos que exigía la publicación del Código ACI318-99, entonces intentó procesar un Apéndice D de alcance reducido, limitado exclusivamente a los anclajes hormigonados in situ, pero nuevamente el tiempo disponible para presentar la norma ACI 318-99 no alcanzó a satisfacer las fechas límites establecidas por el ICC (International Code Council) para ser incluidas en el IBC 2000. En consecuencia, los requisitos para los anclajes en concreto que inicialmente iban a constituir el Apéndice D de ACI 318-99 fueron presentados y aprobados para ser incorporados en el Artículo 1913 del IBC 2000.

A finales del 2001 el ACI Comité 355 completó el ACI 355.2 – 01 “Evaluación del Funcionamiento de Anclajes Mecánicos Post instalados” habilitando así la incorporación al ACI 318-02, del Apéndice D “Anclaje en Concreto”, el cual contiene requisitos de diseño para anclajes mecánicos tanto hormigonados in situ como post instalados, por lo que la sección 1913 del IBC 2003, ya hace referencia al ACI 318 Apéndice D, se prevé que el Artículo 1913 del IBC 2006 hará referencia al Apéndice D de ACI 318-05, que oportunamente adoptará como referencia al ACI 355.2-04 “Clasificación de Anclajes Mecánicos Post Instalados en Concreto”.

La segunda edición del Apéndice D del ACI 318, se la realizó para clarificar la aplicación de las provisiones en diferentes condiciones especiales, se revisaron varios subíndices para hacer los parámetros de las ecuaciones más significativos entre los cuales tenemos:

- Para determinar la fuerza de arrancamiento del anclaje mecánico postinstalado, determina los valores de k_c y de $\Psi_{c,N}$ mismos que son diferentes en la presencia o ausencia de grietas determinado mediante ensayos del ACI 355.2.
- Determina el valor de h_{ef} a utilizar para el cálculo de la fuerza de arrancamiento del anclaje mecánico postinstalado.
- Determina adecuadamente el cálculo de la excentricidad para la tracción e'_N (Distancia entre la resultante de tracción de un grupo de anclajes y su centroide cargado a tracción) y para el cortante e'_V (Distancia entre la carga resultante de cortante en un grupo de anclajes y su centroide cargado a tracción).

- Introduce nuevos coeficientes modificadores de carga $\Psi_{cp,N}$ para las ecuaciones básicas del arrancamiento de anclajes para concreto no fisurado, usadas para anclajes postinstalados, y el borde libre cercano al anclaje, proveyendo valores por defecto conservadores para la distancia crítica al borde c_{ac} (Distancia crítica al borde), que son utilizados para determinar $\Psi_{cp,N}$ (Factor de modificación para la resistencia a tracción de anclajes postinstalados utilizados en concreto no fisurado y sin refuerzo).
- Requiere el reporte de la evaluación del ensayo realizado según el ACI 355, a la contribución considerable de la resistencia al esfuerzo del cortante por parte de la camisa del anclaje post instalado.
- Proporcionar orientación para el cálculo de la fuerza nominal para el arrancamiento de grupos de anclaje. Para anclajes, excluyendo pernos soldados, se deberá determinar las fallas al arrancamiento del concreto, para todas las potenciales superficies de falla del concreto. Para pernos soldados, debe considerarse que la superficie de falla al arrancamiento se origina en los anclajes más lejanos al borde libre.
- Clarifica el cálculo del esfuerzo cortante al arrancamiento en tres o cuatro bordes próximos a elementos delgados cercanos.
- Proporcionar una ecuación para calcular resistencia nominal al desprendimiento del concreto por cabeceo del anclaje (concrete pryout strength) de un grupo de anclajes.

Se debe tener en cuenta que el Apéndice D de ACI 318-02 no contempla los anclajes con adhesivos ni los anclajes inyectados con mortero, mismos que son estudiados en el Código ACI 318 - 08 incorporando requisitos para anclajes adhesivos e inyectados con mortero.

3.2.2 Análisis del método del Dr. Eligehausen.-

El ingeniero estructural debe realizar un diseño que le permita obtener la mejor respuesta de una edificación a las solicitaciones y la alternativa económica más conveniente, para alcanzar esto, no solo se debe considerar la dirección de la carga, sino también los modelos de falla. En 1955 el comité Euro-Internacional de Béton (CEB) publicó un nuevo método de análisis para anclajes que satisfizo estos requerimientos, y se lo conoció como CC-Method (Concrete Capacity-Method), aplicado a los anclajes preinstalados, con o sin refuerzo suplementario y con anclajes post instalados de expansión o de sobre perforación en la base.

En 1997 el CC-Method, fue adoptado por el EOTA (European Organisation for Technical Approvals) actualmente el Comité Europeo para la Estandarización se encuentra realizando las especificaciones técnicas para el diseño de los aseguramientos para el uso en el concreto.

Un anclaje seguro no solo requiere una detallada planificación y diseño, se debe considerar también el sistema de anclaje bajo las condiciones de trabajo, cuidando siempre que la instalación se la realice de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

El Dr. Eligehausen basa su método de cálculo en el Apéndice C del ETOA Acercamiento al Diseño de Anclajes Utilizando el CC-Method, basado en factores de afectación de seguridad.

El análisis se lo realiza desde tres diferentes métodos:

- a) La característica de la resistencia depende de la dirección de la carga, teniendo en cuenta todas las posibilidades de falla.
- b) Se toma una resistencia característica, que es independiente de la dirección de la carga, que influencia los espaciamientos y reduce las distancias al borde, permitidas por los factores de reducción.
- c) Se especifica una característica de resistencia, esta se aplica en todas las direcciones, y se predefine un mínimo de espacio, y distancias al borde que deben ser tomadas.

En los Eurocódigos, incluyen la seguridad con factores parciales como la mejor manera de manejar las incertidumbres asociadas a solicitaciones y resistencia. De acuerdo con este concepto, queda demostrado que el valor de diseño de las solicitaciones, no debe exceder el valor de diseño de la resistencia.

3.3 Factores para el Diseño de Sistemas de Anclaje

3.3.1 Consideraciones Generales.-

El diseño se lo realizará tanto para los sistemas preinstalados antes de la colocación del concreto, o los postinstalados, que pueden ser pernos con cabeza y tornillos con cabeza, que cumplan con los requisitos de evaluación del ACI 355.2. Pueden ser estos los que poseen una geometría con una resistencia a la extracción por deslizamiento en concreto no fisurado igual o superior a $1.4N_p$; o tornillos con gancho con una geometría y una resistencia a la extracción por deslizamiento en concreto no fisurado igual o superior a $1.4N_p$ sin considerar el beneficio de la fricción (Siendo N_p la resistencia a la extracción por deslizamiento por tracción de un solo anclaje).

3.3.1.1 Requisitos: El diseño por resistencia de los sistemas de anclajes debe basarse en cálculos que concuerden sustancialmente con los resultados de ensayos de amplio alcance. Los materiales empleados en los ensayos deben ser compatibles con los materiales usados en la estructura. La resistencia nominal debe basarse en el percentil de 5% de la resistencia básica individual del anclaje. Para resistencias nominales relacionadas con la resistencia del concreto, debiendo considerarse las modificaciones por efectos del tamaño, el número de anclajes, los efectos del espaciamiento reducido de los anclajes, proximidad a los bordes, espesor del elemento de concreto, solicitaciones excéntricas de grupos de anclajes y la presencia o ausencia de fisuración. Los límites para las distancias a los bordes y el espaciamiento entre los anclajes establecidos en los modelos de diseño deben ser congruentes con los utilizados en los ensayos que se utilizaban para verificar el modelo; o bien con

base en resultados de ensayos, utilizando un percentil del 5% de los resultados de ensayo para lo siguiente:

(a) Resistencia a tracción del acero del anclaje fig. 3.6

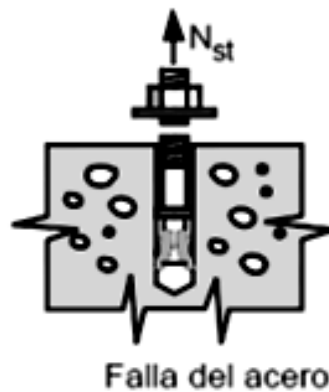


Figura 3.6 Resistencia a la tracción del acero de anclaje

(b) Resistencia al cortante del acero del anclaje fig. 3.7

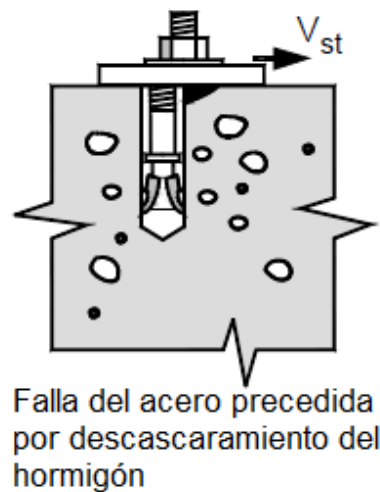


Figura 3.7 Resistencia al cortante del acero de anclaje

(c) Resistencia al arrancamiento del concreto de anclaje por tracción fig. 3.8,

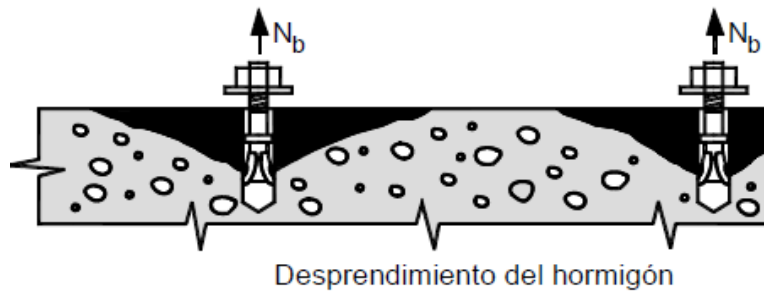


Figura 3.8 Resistencia a la tracción del concreto.

(d) Resistencia al arrancamiento del concreto de anclaje por cortante fig. 3.9

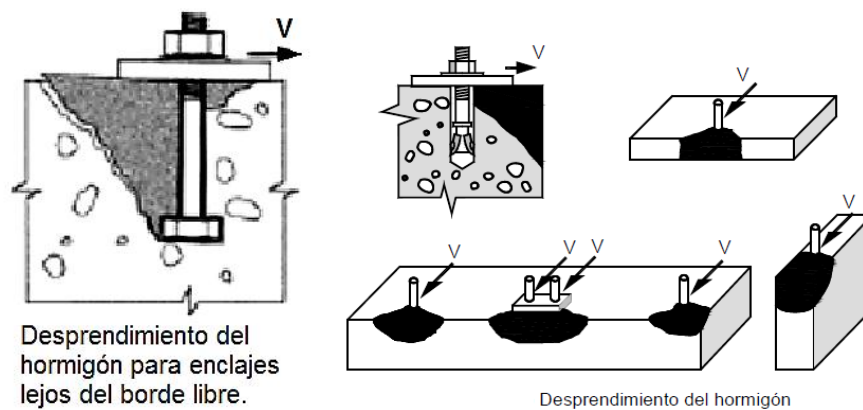


Figura 3.9 Resistencia al arrancamiento del concreto por cortante.

(e) Resistencia a la extracción por deslizamiento del anclaje por tracción fig. 3.10.

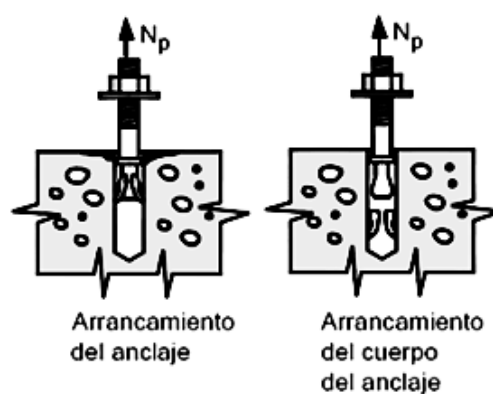


Figura 3.10 Resistencia a la extracción por deslizamiento

(f) Resistencia al desprendimiento lateral del concreto de anclaje por tracción
fig. 3.11.

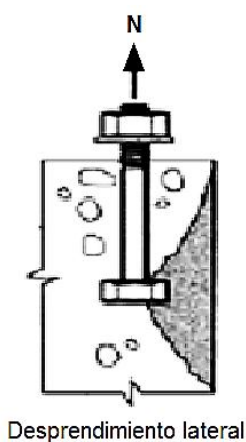


Figura 3.11 Resistencia al desprendimiento lateral por tracción.

(g) Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo del anclaje por cortante.

Además, los anclajes deben satisfacer las distancias al borde, espaciamiento y espesor para evitar las fallas por hendimiento fig. 3.12

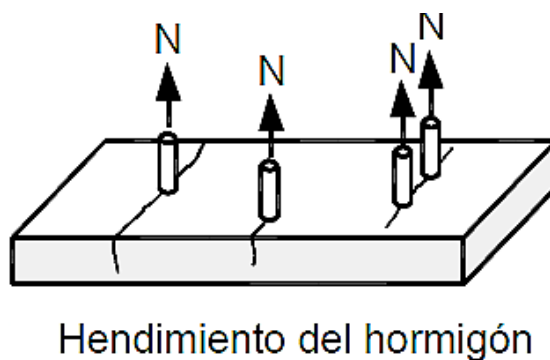


Figura 3.12 Falla por hendimiento del concreto

Para el diseño de los anclajes, salvo para cargas sísmicas se debe cumplir con el siguiente requerimiento:

$$\Phi N_n \geq N_{ua} \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$\Phi V_n \geq V_{ua} \quad \text{Ec. 3.2}$$

En las ecuaciones 3.1 y 3.2, ΦN_n (Resistencia nominal a tracción) y ΦV_n (Resistencia nominal a corte) son las resistencias de diseño más bajas determinadas para todas las modalidades pertinentes de falla. Y ΦN_n es la resistencia de diseño más baja en tracción de un anclaje o grupo de anclajes, determinada según las consideraciones de ΦN_{sa} , ΦnN_{pn} , ya sea ΦN_{sb} ó ΦN_{sbg} , y ΦN_{cb} (Resistencia nominal al arrancamiento del concreto en tracción de un solo anclaje) ó ΦN_{cbg} (Resistencia nominal al arrancamiento del concreto en tracción de un grupo de anclajes). ΦV_n es la resistencia de diseño más baja para cortante de un anclaje o un grupo de anclajes determinada de las consideraciones de ΦV_{sa} (Resistencia nominal a cortante de un solo anclaje o grupo determinada por la resistencia del acero), ya sea ΦV_{cb} (Resistencia nominal al arrancamiento del concreto por cortante de un solo anclaje) ó ΦV_{cbg} (Resistencia nominal al arrancamiento del concreto por cortante de un grupo de anclajes), y ΦV_{cp} (Resistencia nominal al desprendimiento del concreto por cabeceo de un solo anclaje) ó ΦV_{cpg} (Resistencia nominal al desprendimiento del concreto por cabeceo de un grupo de anclajes).

Cuando se encuentran presentes tanto N_{ua} (Fuerza mayorada de tracción aplicada en un anclaje o grupo de anclajes) como V_{ua} (Fuerza cortante mayorada aplicada a un anclaje o grupo de anclajes), se deben considerar los efectos de interacción, que concuerde con los resultados de ensayos, o con los siguientes valores para carga cortante o carga de tracción:

Si $V_{ua} \leq 0.2\Phi V_n$, entonces se permite usar la resistencia total en tracción:

$$\Phi N_n \geq N_{ua}.$$

Si $N_{ua} \leq 0.2\Phi N_n$, entonces se permite usar la resistencia total por cortante:

$$\Phi V_n \geq V_{ua}.$$

Si $V_{ua} > 0.2\Phi V_n$, y $N_{ua} > 0.2\Phi N_n$, entonces:

$$\frac{N_{ua}}{\Phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\Phi V_n} \leq 1.2 \quad \text{Ec. 3.3}$$

Estos cálculos basados en el método **k** consideran un ángulo del prisma de arrancamiento (cono de falla) de 35° fig. 3.13 (a) y (b).

La distancia crítica permisible al borde para pernos con cabeza, tornillos con cabeza, anclajes de expansión y anclajes con sobreperforación en su base es $1.5 h_{ef}$ ($1.5 c_{a1}$).

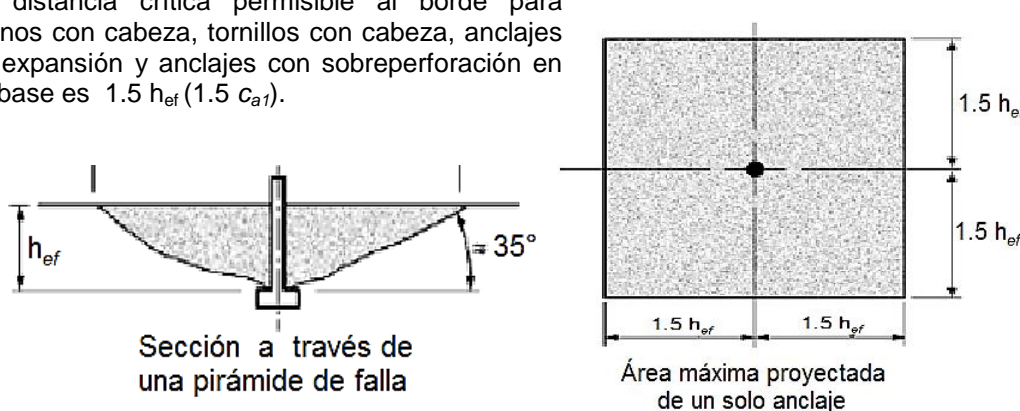


Figura 3.13 (a) Cono de arrancamiento por tracción

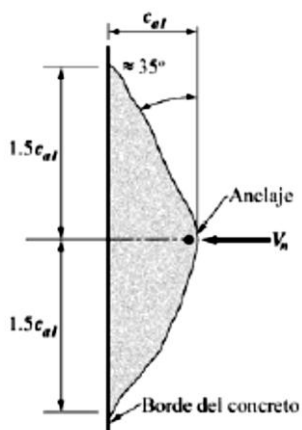


Figura 3.13 (b) Cono de arrancamiento por cortante

En los modelos de diseño se puede incluir el efecto de refuerzo del acero colocado para restringir el arrancamiento del concreto.

3.3.2 Cargas de Diseño y Combinaciones.-

Para el diseño se debe tener en cuenta cuales combinaciones de cargas utilizó para el cálculo de las sollicitaciones que debe soportar el sistema de anclaje, pues dependiendo de ellas se deben utilizar los factores de reducción de cargas, así:

Si las combinaciones de cargas coinciden con las siguientes:

$$U = 1.4 (D + F)$$

$$U = 1.2 (D+F+T) + 1.6 (L+H) + 0.5 (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

$$U = 1.2 D + 1.6 (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0L \text{ ó } 0.87W)$$

$$U = 1.2 D + 1.6 W + 1.0 L + 0.5 (L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$$

$$U = 1.2 D + 1.0 E + 1.0 L + 0.2 S$$

$$U = 0.9 D + 1.6 W + 1.6 H$$

$$U = 0.9 D + 1.0 E + 1.6 H$$

O sus variaciones, se debe utilizar los factores de reducción de capacidad ϕ dados para el capítulo 9 del reglamento ACI-318S-05.

Las combinaciones de carga para el CEC-2000 utilizan los mismos factores de reducción de capacidad ϕ que los dados para el Apéndice C.

$$U = 1.2D + 1.6L + 1 E$$

$$U = 0.8(1.4D + 1.7L + 1.8E)$$

Si las combinaciones de cargas coinciden con las siguientes:

$$U = 1.4D + 1.7L$$

$$U = 0.75(1.4D + 1.7L) + (1.6W \text{ ó } 1.0E)$$

$$U = 0.9D + (1.6W \text{ ó } 1.0E)$$

$$U = 1.4D + 1.7L + 1.7H$$

$$U = 0.75(1.4D + 1.4T + 1.7L)$$

$$U = 1.4(D + T)$$

O sus variaciones, debiéndose utilizar los factores de reducción de capacidad ϕ dados para el Apéndice C del reglamento ACI-318S-08. Para los anclajes en

concreto el valor de ϕ para casos determinados por el ACI-318S-08 toma los valores según la tabla 3.1.

Caso I Capítulo 9 del reglamento ACI-318S-08

Caso II Apéndice C del ACI 318S-08 sobre FACTORES DE CARGA Y REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA ALTERNATIVOS Y CEC-2000

La condición A se aplica donde las superficies potenciales de falla del concreto son atravesadas por refuerzo suplementario proporcionado para unir el prisma de falla potencial del concreto al elemento estructural.

La condición B se aplica donde no se ha proporcionado ese refuerzo suplementario, o donde controla la resistencia a la extracción por deslizamiento o al desprendimiento por cabeceo del anclaje.

Tabla 3.1 Valores ACI del Factor de Reducción de Carga.

	CARGA DE TRACCIÓN		FUERZA CORTANTE									
	I	II	I				II					
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA DE ACERO DÚCTIL	0.75	0.80	0.65				0.75					
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA DE UN ELEMENTO DE ACERO FRÁGIL	0.65	0.70	0.60				0.65					
RESISTENCIA AL ARRANCAMIENTO, DESPRENDIMIENTO LATERAL, EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO O DESPRENDIMIENTO POR CABECEO			Pernos con cabeza, tornillos con cabeza o con gancho preinstalados		Anclajes postinstalados de acuerdo con las categorías de ACI 355.2							
					Categoría 1 (Baja sensibilidad a la instalación y confiabilidad alta)		Categoría 2 (Sensibilidad media a la instalación y confiabilidad mediana)		Categoría 3 (Alta sensibilidad y confiabilidad baja)			
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II		

A	0.75	0.85	0.75	0.85	0.75	0.85	0.65	0.75	0.55	0.65
B	0.70	0.75	0.70	0.75	0.65	0.75	0.55	0.65	0.45	0.55

Cuando el diseño de un anclaje incluye cargas sísmicas, se deben tomar en cuenta requisitos adicionales, calculando la capacidad de resistir grandes desplazamientos durante varios ciclos.

Los cálculos presentados en este estudio no son aplicables al diseño de anclajes en las zonas de rótulas plásticas de estructuras de concreto sometidas a cargas sísmicas, por cuanto el alto nivel de fisuración y descascaramiento posible en las zonas de articulaciones plásticas se encuentra más allá de los niveles de daño para los cuales son utilizables los anclajes en el concreto.

Para el cálculo de los sistemas de anclajes postinstalados en regiones de riesgo sísmico moderado o alto, para estructuras asignadas como de comportamiento sísmico intermedio o especial, se los debe considerar con una resistencia a la extracción por deslizamiento en concreto no fisurado igual o superior a $1.4N_p$ sin considerar el beneficio de la fricción, deben pasar los Ensayos de Simulación Sísmica del ACI 355.2, y la resistencia de diseño de los anclajes debe tomarse como $0.75\Phi N_n$ y $0.75\Phi V_n$. Se deben diseñar los anclajes de manera que queden controlados por la resistencia a la tracción y al cortante de un elemento de acero dúctil, a menos que el aditamento que el anclaje conecta a la estructura sea diseñado de manera que la fijación pase a fluencia dúctil con el nivel de carga correspondiente a fuerzas de anclaje no

mayores que la resistencia de diseño de los anclajes, como alternativa se permite tomar la resistencia de diseño de los anclajes como:

$$0.40 \times (0.75\Phi N_n \text{ y } 0.75\Phi V_n).$$

Cuando el anclaje es en muros de carga de aparcamiento ligero la resistencia de diseño de los anclajes se la puede tomar como:

$$0.50 \times (0.75\Phi N_n \text{ y } 0.75\Phi V_n).$$

Todos los factores de reducción Φ para la resistencia axial en tracción y resistencia al cortante de los anclajes son válidos para concreto de peso normal. Cuando se usa concreto liviano, las disposiciones para N_n y V_n deben ser modificadas, multiplicando todos los valores de $\sqrt{f'_c}$ que afectan a N_n y V_n , por un factor de modificación λ que toma los siguientes valores:

- a) hormigones de peso liviano $\lambda = 0.75$
- b) hormigones livianos con arena de peso normal $\lambda = 0.85$.
- c) Se puede interpolar linealmente, de 0.85 a 0.75 cuando se reemplaza parte de la arena.
- d) Cuando se utiliza arena de peso normal pero el agregado grueso se combina entre de peso normal y liviano λ va de 0.85 a 1.0.
- e) Resistencia promedio a la tracción por hendimiento f'_{ct}

$$\lambda = f_{ct} / (0.56\sqrt{f'_c}) \leq 1 \quad \text{Ec. 3.4}$$

Los valores de f'_c considerados para los cálculos, no deben exceder a 700 kg/cm² (70 MPa) para los anclajes preinstalados y 550 kg/cm² (55 MPa) para

los anclajes postinstalados. Para hormigones con f'_c mayor a 550 kg/cm² se requieren ensayos para los anclajes postinstalados.

3.3.3 Resistencia del Concreto.-

La sollicitación de esfuerzo que admite el concreto en la porción empotrada del anclaje depende de la longitud de empotramiento, de la proximidad de otros anclajes, de la distancia a los bordes libres, y de las características del extremo empotrado del anclaje (anclaje con cabeza, con gancho, de expansión, rebajado, etc.).

3.3.3.1 Resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje en

tracción: La resistencia nominal de arrancamiento del concreto, N_{cb} ó N_{cbg} de un solo anclaje o grupo de anclajes en tracción no debe exceder de:

(a) para un solo anclaje:

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b \quad \text{Ec. 3.5}$$

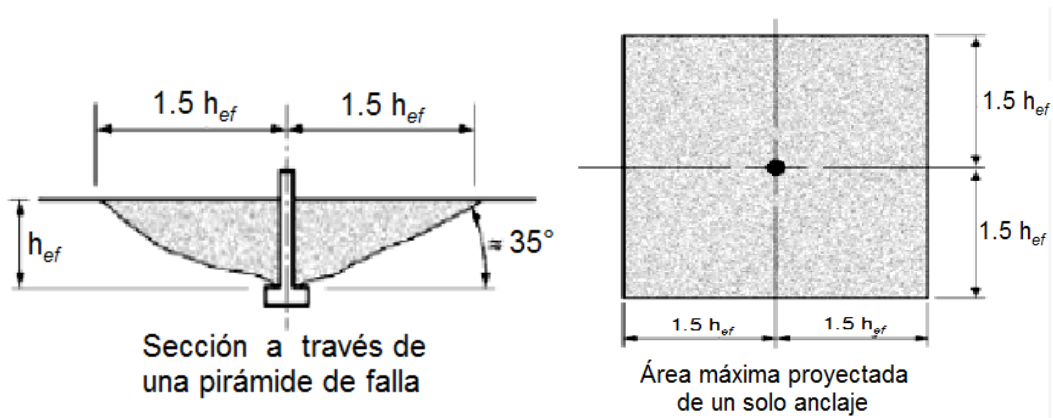
(b) para un grupo de anclajes:

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \Psi_{ec,N} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp,N} N_b \quad \text{Ec. 3.6}$$

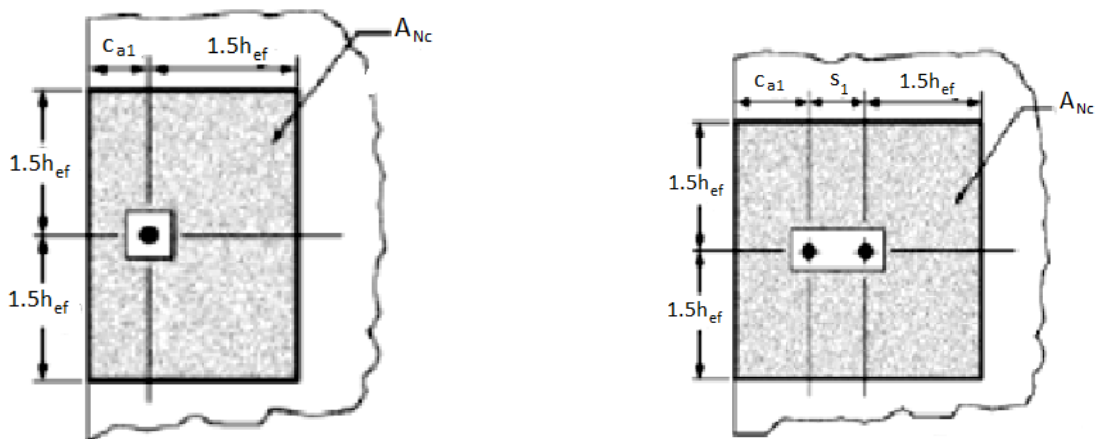
A_{Nc} es el área proyectada de la superficie de falla para un solo anclaje o grupo de anclajes, que debe ser aproximada a la base de la figura geométrica rectilínea que resulta al proyectar la superficie de falla hacia fuera en $1.5h_{ef}$ desde la línea del eje del anclaje o, en el caso de un grupo de anclajes, desde una línea a través de una fila de anclajes adyacentes. A_{Nc} no debe exceder a nA_{Nco} , donde n es el número de anclajes en tracción en el grupo. A_{Nco} es el

área proyectada de la superficie de falla de un solo anclaje con una distancia del borde igual o mayor a $1.5h_{ef}$. fig. 3.14

$$A_{Nco} = 9h_{ef}^2 \quad \text{Ec. 3.7}$$



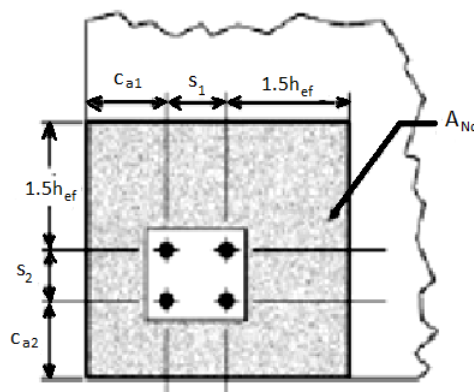
$$A_{Nco} = (2 \times 1.5h_{ef}) \times (2 \times 1.5h_{ef}) = 9h_{ef}^2$$



Si $c_{a1} < 1.5h_{ef}$

Si $c_{a1} < 1.5h_{ef}$ y si $s_1 < 3h_{ef}$

$$A_{Nc} = (c_{a1} + 1.5h_{ef})(2 \times 1.5h_{ef}) \quad A_{Nc} = (c_{a1} + s_1 + 1.5h_{ef})(2 \times 1.5h_{ef})$$



Si c_{a1} y $c_{a2} < 1.5h_{ef}$ y si s_1 y $s_2 < 3h_{ef}$

$$A_{Nc} = (c_{a1} + s_1 + 1.5h_{ef})(c_{a2} + s_2 + 1.5h_{ef})$$

**Figura 3.14 Cálculo de A_{Nco} ; y cálculos de A_{Nc}
Para sistemas de anclaje individuales y de grupo.**

La resistencia básica al arrancamiento del concreto de un solo anclaje en tracción embebido en concreto fisurado, N_b , no debe exceder de:

$$N_b = k_c \lambda \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5} \quad \text{Ec. 3.8}$$

Donde:

$k_c = 10$ para los anclajes preinstalados, y

$k_c = 7$ para los anclajes postinstalados.

Se debe permitir que el valor de k_c para anclajes postinstalados sea incrementado sobre 7 basándose en los ensayos específicos del ACI 355-2, pero en ningún caso puede exceder de 10.

De manera alternativa, para pernos con cabeza preinstalados con $280 \text{ mm} \leq h_{ef} \leq 635 \text{ mm}$, N_b no debe exceder de:

$$N_b = 3.9\lambda \sqrt{f'_c} h_{ef}^{5/3} \quad \text{Ec. 3.9}$$

Donde los anclajes se ubican a menos de $1.5h_{ef}$, de tres o más bordes, el valor de h_{ef} usado en las ecuaciones Ec. 3.5 a la Ec. 3.12 debe ser mayor entre $C_{a,máx} / 1.5$ y un tercio del espaciamiento máximo entre los anclajes dentro del grupo fig. 3.15

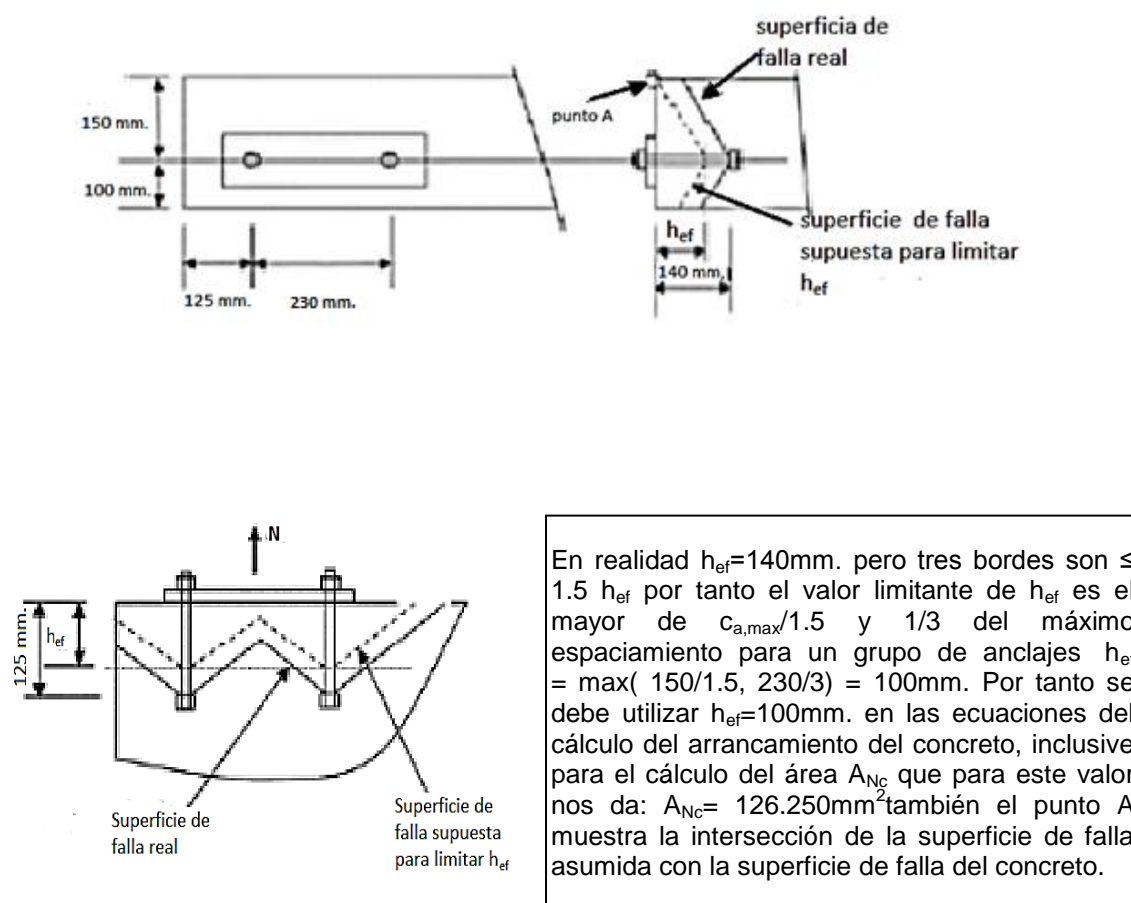


Figura 3.15 Tracción en elementos angostos

El factor de modificación para grupos de anclajes sometido a cargas excéntricas de tracción es:

$$\Psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + \frac{2e'N}{3h_{ef}}} \quad \text{Ec.3.10}$$

En donde $\Psi_{ec,N} \geq 1.0$

Si la carga sobre un grupo de anclajes es tal que sólo algunos anclajes se encuentran en tracción, únicamente esos anclajes que se encuentran en tracción deben considerarse para determinar la excentricidad e'_N en la ecuación 3.10 y para calcular N_{cbg} fig. 3.16

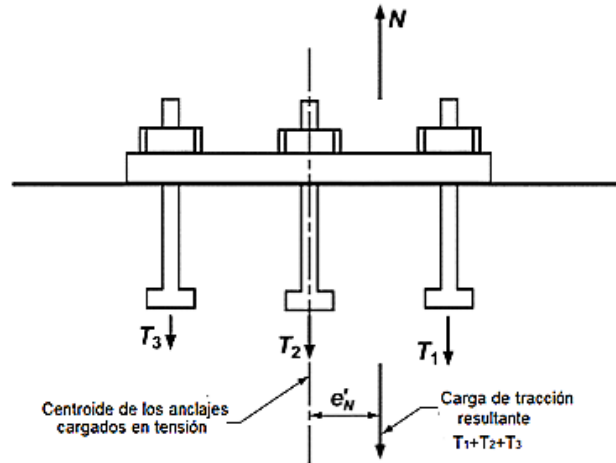


Figura 3.16 Definición de la dimensión e'_N cuando todos los anclajes de un grupo están en tracción

Cuando las cargas excéntricas existen alrededor de dos ejes, el factor de modificación $\Psi_{ec,N}$, debe calcularse para cada eje individualmente y el producto de esos factores debe usarse como $\Psi_{ec,N}$, para calcular N_{cbg} . Fig. 3.17

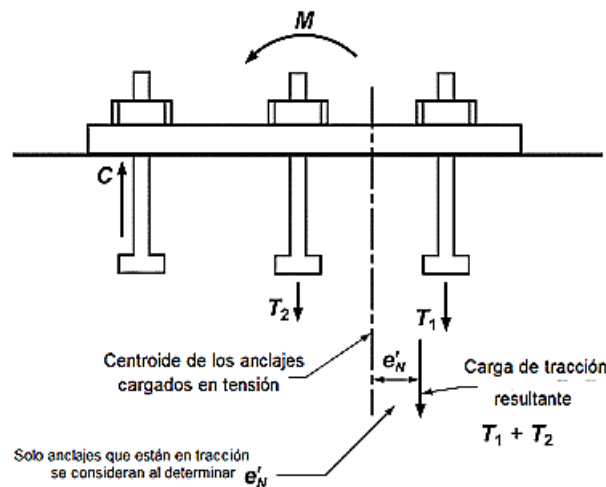


Figura 3.17 Definición de la dimensión e'_N cuando uno solo de los anclajes está en tracción

El factor de modificación para los efectos del borde para anclajes solos o grupos de anclajes en tracción es:

Si $c_{a,min} \geq 1.5h_{ef}$ entonces $\Psi_{ed,N} = 1$ **Ec. 3.11**

Si $c_{a,min} < 1.5h_{ef}$ entonces $\Psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,min}}{1.5h_{ef}}$ **Ec. 3.12**

Para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto, donde los análisis señalan que no hay fisuración para cargas de servicio, se permite el siguiente factor de modificación:

$\psi_{c,N} = 1.25$ para anclajes preinstalados

$\psi_{c,N} = 1.40$ para anclajes postinstalados,

$k_c = 7$ para el cálculo de la resistencia básica al arrancamiento N_b . (Ec. 3.8)

Se debe tomar el ACI 355.2 como referencia para determinar los valores de k_c y de $\psi_{c,N}$:

- Para anclajes postinstalados, calificados para ser utilizados en concreto fisurado y no fisurado, debiendo basarse en el informe para evaluación de productos del ACI 355.2.
- Para anclajes postinstalados, calificados para ser utilizados únicamente en concreto no fisurado, $\psi_{c,N}$ debe tomarse como 1.0.
- Cuando el análisis indica fisuración para niveles de cargas de servicio, $\psi_{c,N}$ debe tomarse igual a 1.0 para ambos anclajes, preinstalados y postinstalados.

El factor de modificación para anclajes postinstalados diseñados para concreto no fisurado sin refuerzo suplementario para controlar el hendimiento, es:

$$\text{Si } c_{a,min} \geq c_{ac} \psi_{cp,N} = 1.0 \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$\text{Si } c_{a,min} < c_{ac} \psi_{cp,N} = \frac{c_{a,min}}{c_{ac}} \geq \frac{1.5h_{ef}}{c_{ac}} \quad \text{Ec. 3.14}$$

Donde la distancia crítica c_{ac} , no debe tomarse menor que:

Anclajes con sobre perforación en su base $c_{ac} \geq 2.5h_{ef}$

Anclajes de torsión controlada $c_{ac} \geq 4h_{ef}$

Anclajes de desplazamiento controlado $c_{ac} \geq 4h_{ef}$

Para todos los demás casos, incluyendo los anclajes preinstalados, $\psi_{cp,N}$, debe tomarse como 1.0.

Cuando se agrega una platina adicional o arandela a la cabeza del anclaje, se puede calcular el área proyectada de la superficie de falla, proyectando la superficie de falla $1.5h_{ef}$ hacia afuera del perímetro efectivo de la platina o arandela, el perímetro efectivo no debe exceder el valor de una sección proyectada hacia fuera más del espesor de la arandela o platina desde el borde exterior de la cabeza del anclaje.

Si el refuerzo del anclaje se lo realiza en concordancia con las estructuras sismoresistentes a ambos lados de la superficie de arrancamiento, se permite usar la resistencia de diseño del refuerzo del anclaje para determinar ϕN_n , en lugar de la resistencia del arrancamiento del concreto. Para el diseño del refuerzo del anclaje se permite usar un factor de reducción de resistencia ϕ de 0.75 (cap. 9 ACI 318), o un ϕ de 0.85 (Apéndice C ACI 318).

El refuerzo del anclaje debe consistir en estribos, amarres u horquillas colocadas lo más cerca posible del anclaje. Se incluirán como refuerzo del anclaje únicamente los refuerzos espaciados menos de $0.5 h_{ef}$ de la línea central del anclaje Fig 3.18. En anclajes postinstalados, al momento de la instalación no se debe perforar sobre el acero de refuerzo de la estructura.

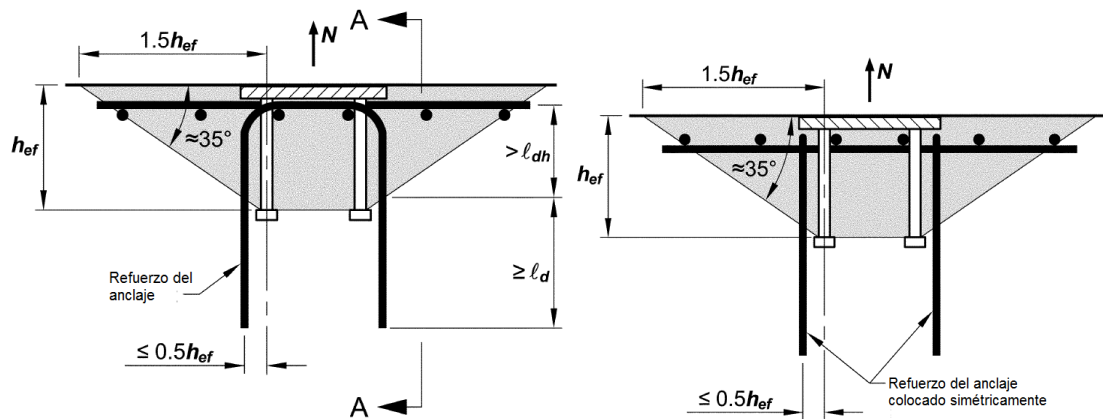


Figura 3.18 Refuerzo de anclaje para tracción.

3.3.3.2 Resistencia al desprendimiento lateral del concreto en un anclaje con cabeza en tracción: Para un anclaje con cabeza individual con un embebido profundo cercano a un borde donde $C_{a1} \leq 0.4h_{ef}$, la resistencia nominal al desprendimiento lateral, N_{sb} , no debe exceder de:

$$N_{sb} = 13 C_{a1} \sqrt{A_{brg}} \sqrt{f'_c} \quad \text{Ec. 3.15}$$

Si C_{a2} (Distancia desde el centro del perno del anclaje hasta el borde del concreto) para el perno con cabeza individual es menos que $3C_{a1}$, el valor de N_{sb} debe multiplicarse por el factor $(1 + C_{a2} / C_{a1}) / 4$ donde $1.0 \leq C_{a2} / C_{a1} \leq 3.0$.

Para un grupo de anclajes de embebido profundo con cabeza localizados cerca de un borde donde $C_{a1} < 0.4h_{ef}$ y con un espaciamiento entre los anclajes menor que $6C_{a1}$, la resistencia nominal del grupo de anclajes ante a una falla por desprendimiento lateral del concreto N_{sbg} no debe exceder:

$$N_{sbg} = \left(1 + \frac{s}{6C_{a1}}\right) N_{sb} \quad \text{Ec. 3.16}$$

Donde s es el espaciamiento de los anclajes exteriores a lo largo del borde en el grupo, y N_{sb} se obtiene de la ecuación Ec. 3.15 sin modificaciones debido a la distancia perpendicular al borde.

3.3.3.3 Resistencia al arrancamiento del concreto de un anclaje sometido a cortante: Para él cálculo de estos anclajes se deben considerar dos casos:

Caso 1: La distribución de las fuerzas indica que la mitad del cortante sería crítico frente al anclaje y su área proyectada fig. 3.19

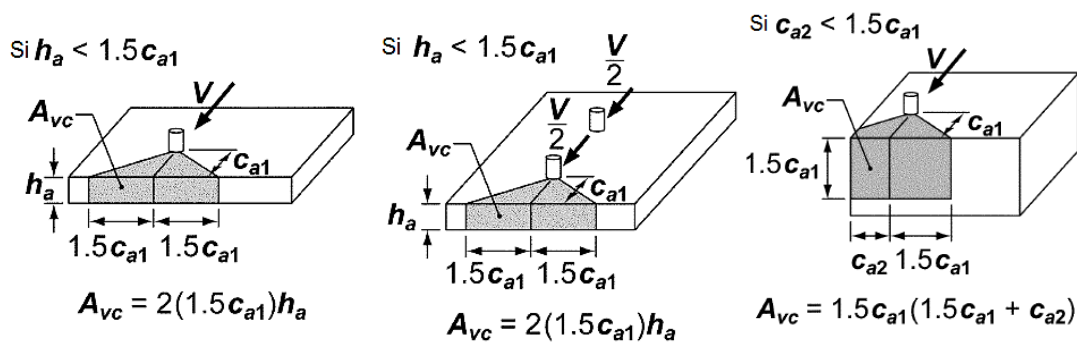


Figura 3.19 Área bruta de la sección del concreto A_{vc} para el caso 1

Caso 2: La distribución de las fuerzas indica que todo el cortante sería crítico frente al anclaje y su área proyectada siempre que se consideren los anclajes rígidamente conectados al inserto fig. 3.20

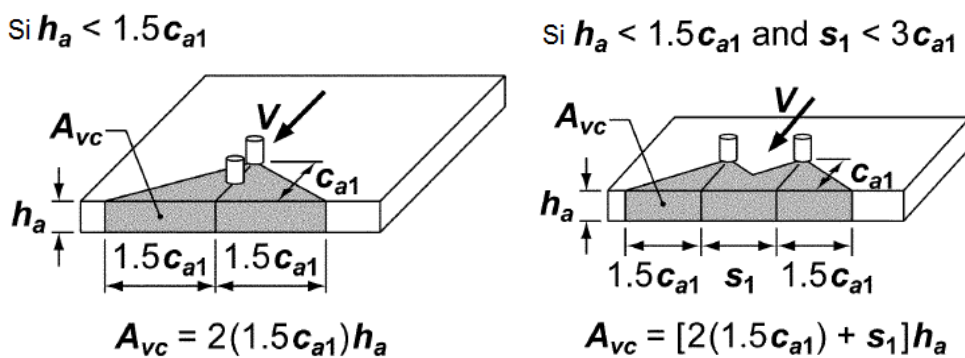


Figura 3.20 Área bruta de la sección del concreto A_{vc} para el caso 2

La resistencia nominal al arrancamiento del concreto, V_{cb} ó V_{cbg} , en cortante de un anclaje individual o de un grupo de anclajes no debe exceder de:

(a) Para una fuerza cortante perpendicular al borde sobre un anclaje individual

fig. 3.21:

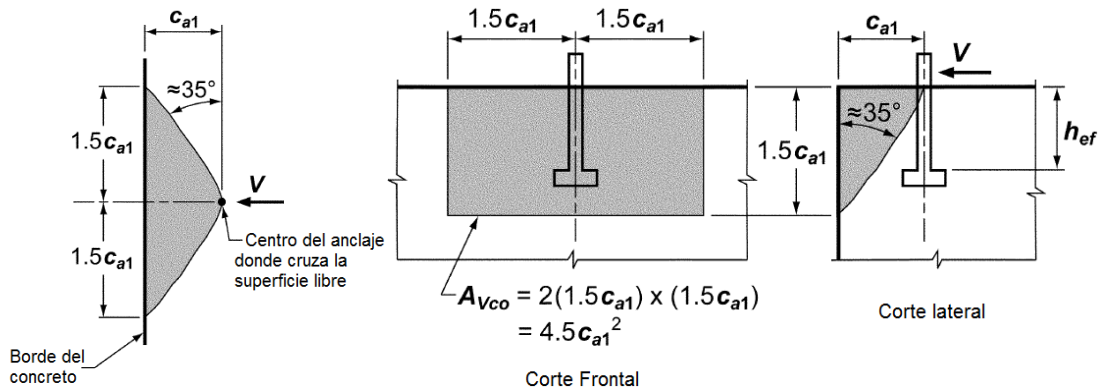


Figura 3.21 Consideración para el cálculo A_{Vco} área proyectada de falla del concreto de un anclaje solo.

$$V_{cb} = \frac{A_{vc}}{A_{Vco}} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} V_b \quad \text{Ec. 3.17}$$

(b) Para una fuerza cortante perpendicular al borde sobre un grupo de anclajes:

$$V_{cbg} = \frac{A_{vc}}{A_{Vco}} \psi_{ec,V} \psi_{ed,V} \psi_{c,V} \psi_{h,V} V_b \quad \text{Ec. 3.18}$$

(c) Para una fuerza cortante paralela a un borde, $\psi_{ed,V} = 1.0$, se permite que V_{cb} ó V_{cbg} sea el doble del valor de la fuerza cortante determinada por las ecuaciones Ec. 3.17 o Ec.3.18, respectivamente, se asume que la fuerza cortante actúa perpendicular al borde fig. 3.22

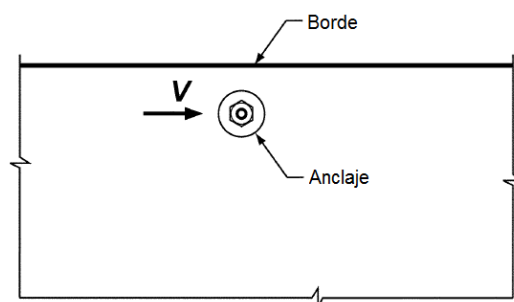


Figura 3.22 Fuerza cortante paralela a un borde

(d) para anclajes ubicados en una esquina, la resistencia nominal límite al arrancamiento del concreto debe ser determinada para cada borde, y debe usarse el valor mínimo fig. 3.23.

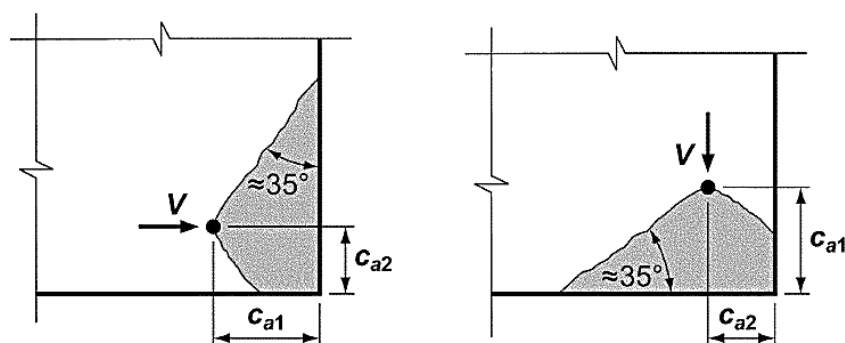


Figura 3.23 Cuando se aplica una fuerza cortante cerca de una esquina.

V_b es el valor de la resistencia básica al arrancamiento del concreto por cortante para un solo anclaje.

A_{Vc} es el área proyectada de la superficie de falla sobre un lado del elemento de concreto en su borde, para un anclaje individual o para un grupo de anclajes.

Se toma A_{Vc} como la base de media pirámide truncada proyectada sobre la cara lateral del elemento donde la parte superior de la media pirámide está definida por el eje de la fila de anclajes seleccionada como crítica.

El valor de c_{a1} debe tomarse como la distancia desde el borde hasta dicho eje.

A_{Vc} no debe exceder a nA_{Vco} , donde n es el número de anclajes del grupo.

A_{Vco} es el área proyectada para un anclaje individual en un elemento alto con una distancia al borde igual o mayor que $1.5c_{a1}$ en dirección perpendicular a la fuerza cortante. Se permite evaluar A_{Vco} como la base de una media pirámide con una longitud lateral paralela al borde de $3c_{a1}$ y una profundidad de $1.5c_{a1}$:

$$A_{Vco} = 4.5(c_{a1})^2 \quad \text{Ec. 3.19}$$

Cuando los anclajes se encuentran ubicados a distintas distancias del borde y están soldados a un aditamento de manera que distribuya la fuerza a todos los anclajes, se puede evaluar la resistencia basándose en la distancia desde el borde hasta la fila de anclajes más alejada fig. 3.24. En este caso, se puede basar el valor c_{a1} en la distancia desde el borde al eje de la fila de anclajes más alejada que fue seleccionada como crítica, y se debe suponer que toda la fuerza cortante será resistida sólo por esta fila crítica de anclajes.

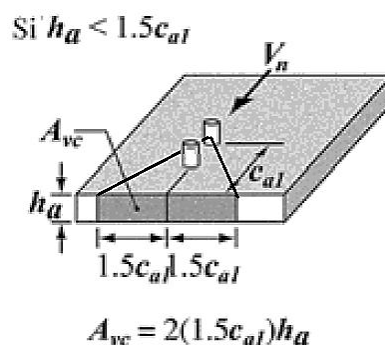


Figura 3.24 Distancia c_{a1} a la fila más alejada de anclajes de un grupo de anclajes.

La resistencia básica al arrancamiento por cortante del concreto de un anclaje individual en concreto fisurado, V_b , no debe exceder:

$$V_b = 0.6 \left(\frac{\ell_e}{d_a} \right)^{0.2} \sqrt{d_a} \lambda \sqrt{f'_c} (c_{a1})^{1.5} \quad \text{Ec. 3.20}$$

Donde ℓ_e es la longitud de apoyo de carga del anclaje en cortante:

$\ell_e = h_{ef}$ para anclajes de rigidez constante en toda la sección de longitud de embebido, tal como anclajes con cabeza o anclajes postinstalados con una camisa tubular en toda la longitud de embebido.

$\ell_e = 2d_a$ para anclajes de expansión de torque controlado con una camisa distanciadora separada de la camisa de expansión, y en ningún caso ℓ_e puede exceder $8d_a$.

Para los pernos con cabeza, tornillos con cabeza o con gancho, preinstalados, que están soldados en forma continua a aditamentos de acero, con un espesor mínimo igual al mayor entre 10 mm. y a la mitad del diámetro del anclaje, la resistencia básica al arrancamiento del concreto en cortante de un solo anclaje en concreto fisurado, V_b , no debe exceder:

$$V_b = 0.7 \left(\frac{\ell_e}{d_a} \right) \sqrt{d_a} \lambda \sqrt{f'_c} (c_{a1})^{1.5} \quad \text{Ec. 3.21}$$

Donde ℓ_e es la longitud de apoyo de carga del anclaje en cortante.

- (a) Para un grupo de anclajes, la resistencia será determinada en base a la resistencia de la fila de anclajes más alejada del borde.
- (b) El espaciamiento de los anclajes no sea menor de 65 mm.

(c) Se coloque refuerzo suplementario en las esquinas si $c_{a2} \leq 1.5h_{ef}$.

Donde los anclajes están influenciados por tres o más bordes, el valor de c_{a1} no debe exceder al mayor de $c_{a2} / 1.5$ en cualquier dirección, $h_a / 1.5$ y un tercio del espaciamiento máximo entre los anclajes dentro del grupo fig. 3.25.

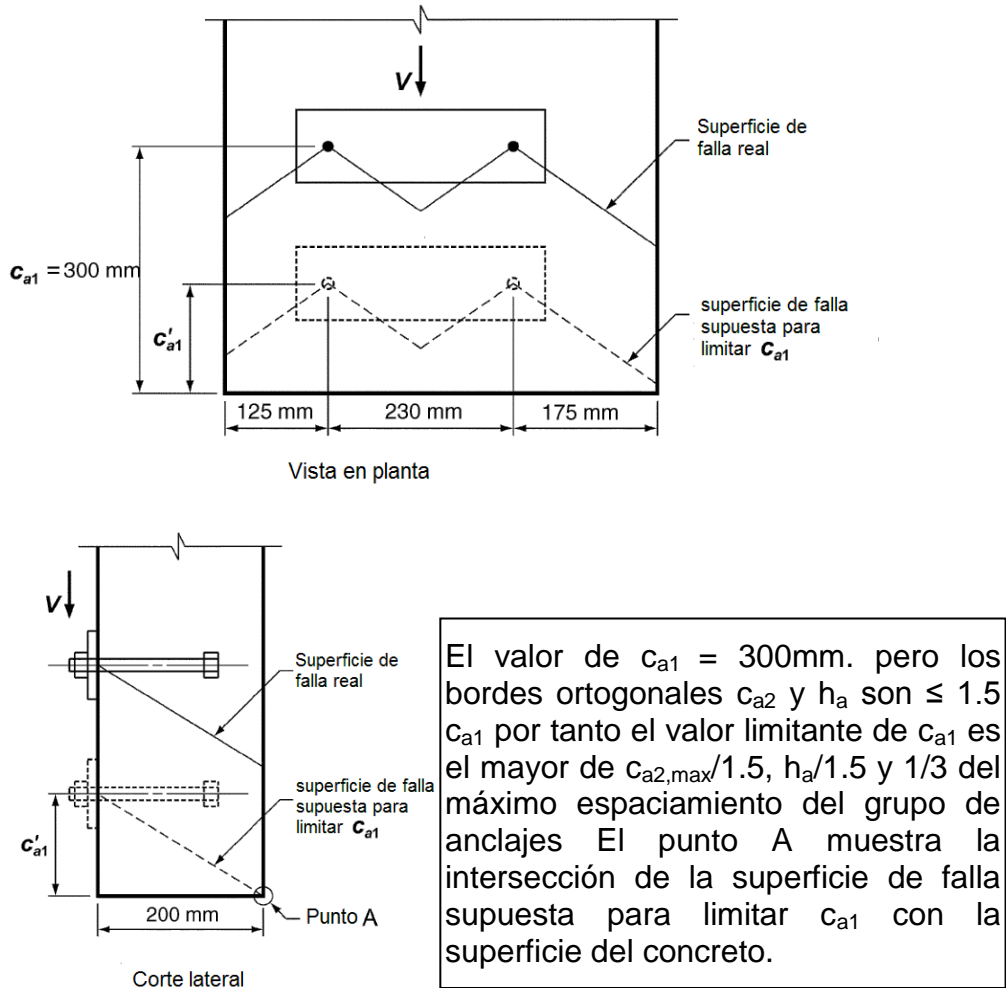


Figura 3.25 Cortante cuando los anclajes están influenciados por tres o más bordes

El factor de modificación para grupos de anclajes cargados excéntricamente es:

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + \frac{2e'_V}{3c_{a1}}} \leq 1 \quad \text{Ec. 3.22}$$

Si la carga aplicada en un grupo de anclajes de tal manera que solo algunos anclajes se encuentran cargados en corte en la misma dirección, estos pueden ser considerados al determinar la excentricidad e'_v fig. 3.26 para ser usada para calcular $\psi_{ec,v}$ y para calcular V_{cbg} en la ecuación Ec. 3.18.

El factor de modificación para el efecto del borde para anclajes sencillos o grupos de anclajes cargados en cortante es:

$$\text{Si } c_{a2} \geq 1.5c_{a1} \text{ entonces } \psi_{ed,v} = 1.0 \quad \text{Ec. 3.23}$$

$$\psi_{ed,v} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}} \text{ si } c_{a2} < 1.5c_{a1} \quad \text{Ec. 3.24}$$

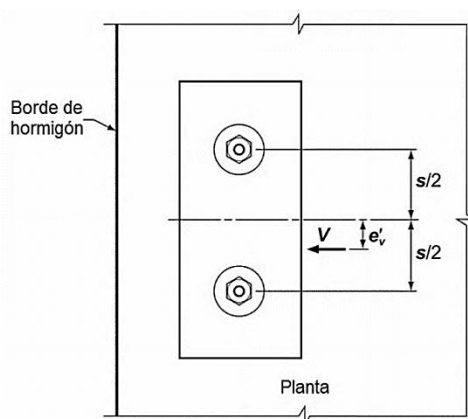


Figura 3.26 Definición de las dimensiones e'_v para un grupo de anclaje.

Para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto no fisurado debido a cargas de servicio, se permite el siguiente factor de modificación:

$$\psi_{c,v} = 1.4$$

Para anclajes ubicados en una región de un elemento de concreto fisurado debido a cargas de servicio, se permiten los siguientes factores de modificación:

$\psi_{c,v} = 1.0$ para anclajes en concreto fisurado sin refuerzo suplementario o refuerzo de borde menor que una barra de acero de diámetro No. 13 (12.7 mm.).

$\psi_{c,v} = 1.2$ para anclajes en concreto fisurado con refuerzo suplementario consistente en barras de acero de diámetro No. 13 (12.7mm.), o mayor, localizadas entre el anclaje y el borde.

$\psi_{c,v} = 1.4$ para anclajes en concreto fisurado con refuerzo suplementario consistente en una barra de acero de diámetro No. 13 (12.7mm.), o mayor, localizada entre el anclaje y el borde, y con el refuerzo suplementario confinado por estribos espaciados a no más de 100 mm.

Los anclajes de expansión, controlados por torque o controlados por desplazamiento, se permiten en concreto fisurado bajo cargas de cortante puro.

Para anclajes ubicados en un elemento de concreto en el que $h_a < 1.5 c_{a1}$, $\Psi_{h,v}$ se lo calcula así:

$$\Psi_{h,v} = \sqrt{\frac{1.5 c_{a1}}{h_a}} \quad \text{Ec. 3.25}$$

En donde $\Psi_{h,v} \geq 1$

Si el refuerzo del anclaje se lo realiza como en las estructuras sismoresistentes a ambos lados de la superficie de ruptura, o encierra al anclaje y se desarrolla más allá de esta, para determinar ψV_n , se utiliza la resistencia de diseño del refuerzo del anclaje en lugar de la resistencia al arrancamiento del concreto utilizando un factor de reducción de resistencia $\psi = 0.75$ para el diseño del refuerzo del anclaje fig. 3.27.

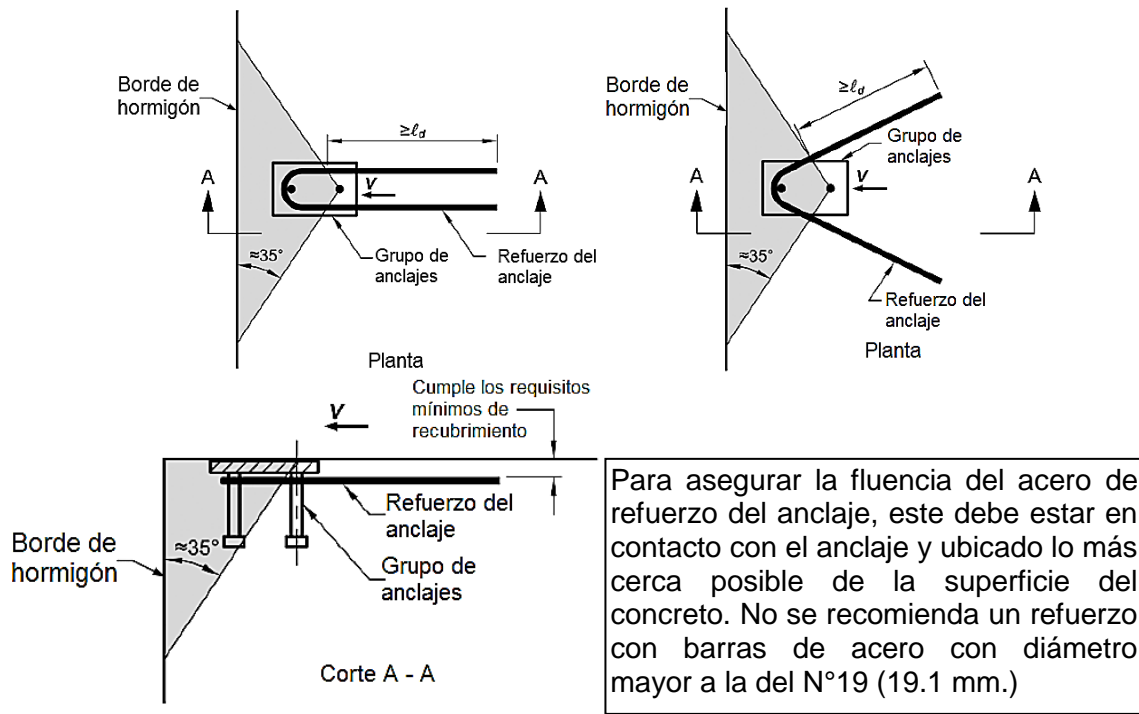


Figura 3.27(a) Refuerzo de anclaje de horquilla para cortante

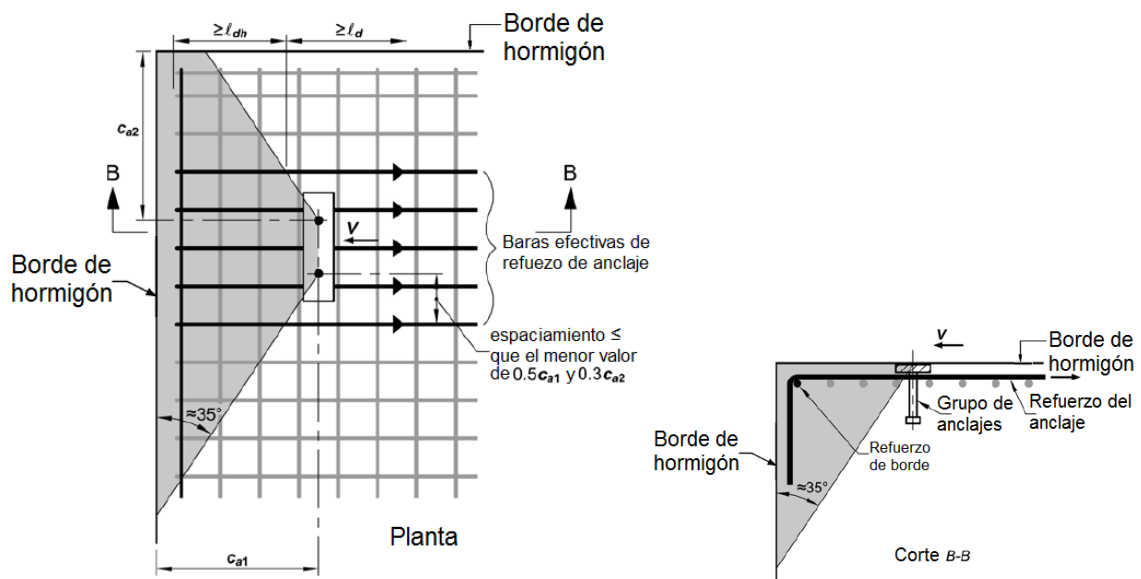


Figura 3.27 (b) Refuerzo de borde y refuerzo de anclaje para cortante

3.3.3.4 Resistencia al desprendimiento del concreto por cabeceo del

anclaje sometido a cortante: La resistencia nominal al desprendimiento por

cabeceo del anclaje causado por cortante V_{cp} ó V_{cpg} no debe exceder de:

(a) para un solo anclaje

$$V_{cp} = k_{cp} N_{cb} \quad \text{Ec. 3.26}$$

(b) para un grupo de anclajes

$$V_{cpg} = k_{cp} N_{cbg} \quad \text{Ec. 3.27}$$

Donde:

Si $h_{ef} < 65$ mm. $k_{cp} = 1.0$

Si $h_{ef} \geq 65$ mm. $k_{cp} = 2.0$

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad \text{Ec. 3.5}$$

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad \text{Ec. 3.6}$$

3.4.4 Resistencia del Acero.-

La resistencia del acero de un anclaje depende de las propiedades del acero y del tamaño del anclaje.

3.3.4.1 Resistencia del acero de un anclaje en tracción: La resistencia nominal de un anclaje sometido a tracción controlada por el acero, N_{sa} , debe ser evaluada mediante cálculos basados en las propiedades del material y en las dimensiones físicas del anclaje.

La resistencia nominal de un solo anclaje o grupo de anclajes en tracción, N_{sa} , no debe exceder:

$$N_{sa} = n A_{se,N} f_{uta} \quad \text{Ec. 3.28}$$

Donde n es el número de anclajes en el grupo, $A_{se,N}$ es el área transversal efectiva del anclaje sometido a cargas de tracción (mm^2), y f_{uta} no debe ser mayor que el menor de $1.9f_{ya}$ ó 8770 kg/cm^2 (860 MPa).

El área de sección efectiva de anclajes expansivos debe ser suministrada por el fabricante debido al mecanismo de expansión, para tornillos roscados según ANSI / ASME $A_{se,N}$ se calcula:

$$A_{se,N} = \frac{\pi}{4} \left(d_a - \frac{0.9743}{n_t} \right)^2 \quad \text{Ec. 3.29}$$

En donde n_t es el número de hilos por mm.

3.4.4.2 Resistencia del acero del anclaje sometido a cortante: La resistencia nominal de un anclaje a cortante cuando está controlada por el acero V_{sa} debe ser evaluada por cálculo con base en las propiedades del material y las dimensiones físicas del anclaje.

La resistencia nominal de un anclaje individual o de un grupo de anclajes en cortante, V_{sa} debe cumplir:

Para conectores preinstalados:

$$V_{sa} = n A_{se,V} f_{uta} \quad \text{Ec. 3.30}$$

Donde n es el número de anclajes del grupo, $A_{se,V}$, es el área transversal efectiva del anclaje en cortante (cm^2), y f_{uta} no debe ser mayor que el menor de $1.9 f_{ya}$ y 8770 kg/cm^2 (860 MPa).

Para anclajes preinstalados de tornillo con cabeza o con gancho y para anclajes postinstalados donde las camisas no se extienden a través del plano de cortante.

$$V_{sa} = n 0.6 A_{se,V} f_{uta} \quad \text{Ec. 3.31}$$

Donde n es el número de anclajes del grupo, $A_{se,V}$, es el área transversal efectiva del anclaje en cortante (cm^2), y f_{uta} no debe ser mayor que el menor de $1.9 f_{ya}$ y 8770 kg/cm^2 .

Para los anclajes postinstalados donde las camisas se extienden a través del plano cortante, se deben realizar ensayos según ACI 355.2 para determinar V_{sa} , pero alternativamente se puede utilizar la ecuación Ec. 3.31.

Para el cálculo de V_{sa} la sección transversal efectiva ($A_{se,v}$) de los anclajes de expansión con sección transversal reducida por el mecanismo de expansión debe ser suministrada por el fabricante, y para pernos con rosca según ANSI/ASME se la calcula con la siguiente expresión:

$$A_{se,v} = \frac{\pi}{4} \left(d_a - \frac{0.9743}{n_t} \right)^2 \quad \text{Ec. 3.32}$$

En donde n_t es el número de hilos por mm.

Cuando los anclajes se usan con platinas de apoyo inyectadas con mortero, las resistencias nominales del cortante V_{sa} deben multiplicarse por un factor igual a 0.80.

3.3.5 Interacción acero concreto.-

3.4.5.1 Resistencia a la extracción por deslizamiento de un anclaje en tracción: La resistencia nominal a la extracción por deslizamiento de un anclaje en tracción, N_{pn} , no debe exceder:

$$N_{pn} = \psi_{c,p} N_p \quad \text{Ec. 3.33}$$

Para determinar los valores de N_p de los anclajes de expansión postinstalados y anclajes con sobreperforación se debe realizar ensayos de acuerdo con el ACI 355.2. No se puede determinar la resistencia a la extracción por deslizamiento para esos anclajes por cálculo.

Para anclajes de pernos con cabeza y tornillos con cabeza individuales, la resistencia a la extracción N_p no debe exceder a deslizamiento:

$$N_p = 8A_{brg}f'_c \quad \text{Ec. 3.34}$$

Este valor corresponde a la carga en la cual falla por aplastamiento el concreto, y no a la fuerza para extraer totalmente el anclaje, por cuanto el aplastamiento local del concreto reduce considerablemente la rigidez de la conexión.

Para pernos individuales con extremo en forma de **L** ó **J**, la resistencia a la extracción por deslizamiento en tracción N_p no debe exceder

$$N_p = 0.9 f'_c e_h d_a \quad \text{Ec. 3.35}$$

Considere $3d_a \leq e_h \leq 4.5 d_a$.

En esta expresión la seguridad está basada en la capacidad de aplastamiento del concreto despreciando la componente de fricción debido a que el aplastamiento interno en la zona del gancho reduce significativamente la rigidez de la conexión en general.

Es una opción usar valores de N_p , como resultado del percentil 5 de los valores obtenidos en basados en los resultados de ensayos realizados con los procedimientos del ACI 355.2, pero sin el beneficio de la fricción.

Para un anclaje ubicado en una región de un elemento de concreto no fisurado para niveles de carga de servicio, se permite el siguiente factor de modificación:

$$\psi_{c,P} = 1.4$$

Cuando el análisis indica fisuración al nivel de cargas de servicio, $\psi_{c,P}$ debe ser tomado como 1.0.

3.3.5.2 Interacción de las fuerzas de tracción y cortante: Cuando las cargas de tracción y cortante actúan en forma simultánea el diseño se lo determina utilizando una expresión de interacción que resulte en una resistencia que concuerde con los resultados de ensayos, los anclajes o grupo de anclajes que se encuentran sometidos tanto a cargas axiales y de cortante, deben ser diseñados para satisfacer las siguientes consideraciones.

Si $V_{ua} \leq 0.2\Phi V_n$, entonces se permite usar la resistencia total en tracción:

$$\Phi N_n \geq N_{ua}$$

Si $N_{ua} \leq 0.2\Phi N_n$, entonces se permite usar la resistencia total por cortante:

$$\Phi V_n \geq V_{ua}$$

Si $V_{ua} > 0.2\Phi V_n$, y $N_{ua} > 0.2\Phi N_n$, entonces:

$$\frac{N_{ua}}{\Phi N_n} + \frac{V_{ua}}{\Phi V_n} \quad \text{Ec. 3.36}$$

Tradicionalmente la interacción entre las fuerzas de tracción y de cortante se expresaban como:

$$\left(\frac{N_{ua}}{N_n}\right)^\zeta + \left(\frac{V_{ua}}{\Phi V_n}\right)^\zeta \leq 1.0 \quad \text{Ec. 3.37}$$

En donde ζ varía de 1 a 2, cuando la segunda fuerza es muy pequeña, se iguala la ecuación 3.4 a 1 y se realiza la gráfica con un valor $\zeta = 5/3$.

3.3.6 Separación a Caras Libres.-

Para evitar las fallas por hendimientos, se debe tomar en cuenta las distancias mínimas requeridas del anclaje hacia el borde, el espaciamiento entre anclajes, y el espesor del concreto, mismas que pueden variar si se coloca refuerzo suplementario para el control del hendimiento, y basados en los ensayos realizados de acuerdo al ACI 355.2, el ACI 318-08 dicta las normas mínimas que se deben cumplir en los anclajes, y que deben estar de acuerdo con la protección de concreto para el refuerzo.

El espaciamiento mínimo entre centro y centro de los anclajes debe ser de **4d_a** para anclajes preinstalados que no serán sometidos a torsión, y **6d_a** para anclajes preinstalados y postinstalados que serán sometidos a torsión.

Las distancias mínimas al borde para los anclajes con cabeza preinstalados que no serán torsionados deben basarse en los requisitos mínimos de recubrimiento para la protección del acero refuerzo de concreto. Para los anclajes con cabeza preinstalados que serán sometidos a torsión, la distancia mínima al borde es de **6d_a**.

Las distancias mínimas al borde para los anclajes postinstalados deben basarse en el mayor de los requisitos mínimos de recubrimiento para la protección para acero de refuerzo del concreto, o los requisitos para la distancia mínima al borde para los productos, determinada por ensayos de acuerdo con el ACI 355.2, y no deben ser menor de 2.0 veces el tamaño máximo del agregado. Si no se tiene los resultados de los ensayos realizados según ACI 355.2, la distancia mínima al borde no debe ser menor de:

Anclajes con sobre perforación en su base	6d_a
Anclajes controlados por torque	8d_a
Anclajes controlados por desplazamiento	10d_a

Donde **d_a** es el diámetro del perno de anclaje.

Para los anclajes donde la instalación no produce una fuerza de hendimiento y que no serán sometidos a torsión, si la distancia al borde o espaciamiento es menor a la especificada en los enunciados anteriores, los cálculos deben realizarse sustituyendo **d_a** por un valor menor **d'_a** que cumpla con los requisitos anteriormente anotados. Las fuerzas calculadas aplicadas al anclaje deben limitarse a los valores que corresponden a un anclaje de diámetro **d'_a**.

El valor de **h_{ef}** para un anclaje postinstalado, de expansión o con sobreperforación en su base, no debe exceder al mayor entre 2/3 del espesor del elemento o el espesor del elemento menos 100 mm.

A menos que se determine mediante ensayos de tracción, de acuerdo con el ACI 355.2, la distancia crítica de borde, **c_{ac}**, no debe tomarse menor que:

Anclajes con sobre perforación en su base	2.5 h_{ef}
Anclajes de torsión controlada	4.0 h_{ef}
Anclajes de desplazamiento controlado	4.0 h_{ef}

La distancia mínima al borde que se supuso en el diseño debe hacerse constar en los planos y especificaciones del proyecto.

3.3.7 Grupo de Anclajes y Placas de Fijación.-

Es común en la práctica que el momento de giro, sea aplicado a la placa de fijación, fijada rígidamente a un elemento estructural, fig. 3.28, el momento genera fuerzas de tensión en los anclajes, así como la comprensible reacción en la parte inferior de la placa.

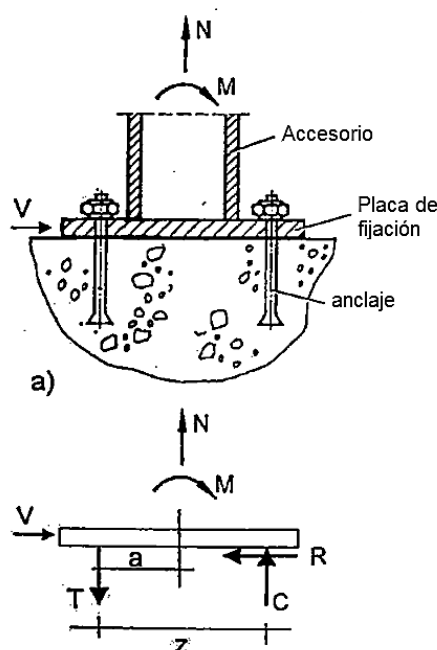


Figura 3.28 (a) Corte lateral (b) Fuerzas que actúan en la placa de fijación

La posición de la fuerza de compresión depende de la rigidez de la placa.

En las conexiones, con múltiples anclajes o grupos de anclajes, cargadas de forma concéntrica solicitadas a tracción pura, la carga de tracción aplicada se puede suponer uniformemente distribuida entre los anclajes, siempre que la placa de fijación ha sido diseñada de manera que no llegue a la fluencia.

Para los fines del diseño, la resultante de compresión del momento aplicado se puede suponer ubicada a una distancia igual al espesor de la placa de fijación

a partir del componente comprimido del elemento fijado, a menos que se coloquen rigidizadores en la placa de fijación. Cuando se colocan rigidizadores en la placa de fijación se puede asumir que la resultante de compresión está ubicada en el borde de la placa de fijación.

Cuando se utilizan placas de fijación no rígidas, la fuerza resultante de la compresión no es verdadera, pues es impuesta por el momento del elemento soldado, generalmente se aplica una fuerza cortante, con un momento de flexión suficientemente grande, de tal manera que esta sea resistida por la fuerza de fricción resultante, de tal manera que los anclajes no sean cargados a corte.

La fuerza de fricción se la calcula:

$$R = \mu C \quad \text{Ec. 3.38}$$

En donde:

C: es la fuerza resultante de compresión

$$C = \frac{M}{z} - \frac{N \times a}{z} \quad \text{Ec. 3.39}$$

M: es el momento de doblez aplicado.

Z: es el brazo de palanca entre las fuerzas internas de tensión y compresión.

a: es la distancia existente entre la fuerza normal y la resultante de la fuerza de tensión.

N: es la fuerza axial aplicada.

μ: es el coeficiente de fricción.

De acuerdo a Cook y Klingner (1989) el valor promedio del coeficiente de fricción para placas de fijación en contacto con el concreto puede tomar un valor de $\mu = 0.43$, por lo que μ no era lo suficientemente afectado por las

condiciones de la superficie del concreto, o del esfuerzo de compresión bajo la placa.

De acuerdo a Roik (1982), el coeficiente de fricción depende de la rugosidad de la superficie de la placa de fijación, más no de las propiedades de la superficie del concreto.

$\mu = 0.46$ placa de fijación pintada

$\mu = 0.77$ placa de fijación con terminado de molino.

$\mu = 0.2$ placa de fijación asentada en grout.¹⁰

Si la fuerza de cortante, es mayor que la de la fuerza de fricción R , el movimiento de la placa base puede provocar que los anclajes enganchados, resistan la fuerza cortante aplicada.

La distribución de la fuerza cortante a cada anclaje depende de las características de dureza del material de los anclajes, y la tolerancia de los agujeros de la placa de fijación.

La distribución de las fuerzas de tensión se determinan respectivamente de la magnitud de la carga cortante, de acuerdo a la teoría plástica.

Si la fuerza de fricción aplicada es superada, los anclajes que se encuentran en la zona de compresión bajo la placa de fijación, deben resistir la carga calculada mediante

$$V_{US} = \Phi A_s f_u \quad \text{Ec. 3.40}$$

$\Phi = 0.60$ para anclajes

$\Phi = 0.70$ para anclajes con pernos con cabeza soldados a una placa base.

¹⁰Valor dado en el Eurocódigo 3 en 1993 1-1(2002)

Ollard, Slutter, Fisher, propusieron la siguiente fórmula par anclajes soldados a una placa de fijación.

$$V_{u,sp} = 0.5 \times A_s \times \sqrt{E_c \times f_c} \quad \text{Ec 3.41}$$

Acción de palanca – Cuando la carga se transfiere del dispositivo de fijación al anclaje a través de una placa de fijación que está plenamente en contacto con el concreto o mortero, la rotación de la placa en el anclaje inducirá una fuerza de palanca más allá del anclaje donde la placa apoya sobre el concreto.

La fuerza de palanca aumenta la carga sobre el anclaje. La fuerza de palanca aumenta con la flexibilidad de la placa y afecta la magnitud del potencial desplazamiento descendente del borde de la placa más allá del anclaje, esta disminuye a medida que aumenta el desplazamiento del anclaje. La precarga reduce las características de desplazamiento del anclaje bajo cargas aplicadas y aumenta la contra rotación de la placa más allá del anclaje. Por este motivo la tensión en el anclaje aumentará con las cargas aplicadas, independientemente de la precarga. Sin embargo, la tasa de incremento de la tensión disminuye a medida que aumenta la precarga.

Si la placa no está en contacto con el concreto más allá del anclaje, no habrá acción de palanca hasta que el desplazamiento hacia abajo del borde de la placa cierre la luz entre la placa y el concreto. Si el anclaje no está precargado, el desplazamiento del anclaje tensionado aumentará la luz que se debe cerrar para desarrollar acción de palanca. Si el anclaje se precarga para cerrar esta luz, la fuerza de precarga se sumará a la tensión en el anclaje que resiste las cargas aplicadas.

Flexibilidad de la placa de fijación – La flexibilidad de la placa de fijación que conecta el dispositivo de fijación al acero de los anclajes es un factor fundamental para determinar la magnitud de la tracción en el sistema de anclajes y la distribución de tensiones a cada uno de los anclajes. Si la distancia entre los anclajes exteriores y el dispositivo de fijación es mayor que dos veces el espesor de la placa se puede considerar que la placa es flexible; caso contrario la placa se deberá considerar rígida. Si la placa es rígida las tensiones en los anclajes debidas al momento son proporcionales a sus distancias al eje tradicional sumatoria de fuerzas y momentos. Si la placa es flexible las tensiones en los anclajes dependen tanto de la rigidez de la placa como de la distancia de los anclajes al eje neutro. También pueden ser afectadas por el efecto de otros anclajes cargados que forman parte mismo grupo que pudieran provocar flexión en la placa y por cualquier fuerza de palanca originada por la flexión de la placa, ya que esta fuerza podría sumarse directamente a la carga en los anclajes. El grado de error de las cargas de los anclajes que se determinan mediante análisis convencionales puede ser significativo si la placa es flexible.

Corte – El corte puede ser transferido de la placa de fijación al concreto ya sea por fricción o por apoyo.

3.3.7.1 Transferencia de corte por fricción: Si se ha de transferir corte por fricción no podrá ocurrir ninguna traslación lateral de la placa base. La fuerza normal necesaria para desarrollar resistencia friccional puede ser provocada por la aplicación de carga directa, por la reacción de compresión del momento

aplicado, por la precarga residual remanente en los anclajes o por cualquier combinación de estos tres mecanismos. Si la conexión ha de transferir corte por fricción, la combinación de cargas determinante deberá ser aquella que produce la menor reacción de compresión en conjunción con el máximo corte.

Si la conexión se sujeta al concreto endurecido, el coeficiente de fricción utilizado para determinar la resistencia al corte debe ser menor o igual que 0,6.

Si la superficie de la placa de fijación está en contacto íntimo con concreto o mortero, la resistencia al corte aumentará debido a la cohesión entre ambas superficies y por este motivo, en este caso el coeficiente de fricción se puede tomar igual a 1,7.

Todas las fuerzas que contribuyen a la resistencia friccional se deben determinar conservadoramente al diseñar ya sea para resistencia al corte total o parcialmente por fricción. Observar lo siguiente:

- (a) Las cargas directas perpendiculares al plano de corte deben ser las mínimas asociadas con la condición de carga. En el caso de cargas cíclicas, esto sería la máxima carga directa incluyendo los factores de impacto asociados.
- (b) La componente de compresión de la reacción de momento depende de la ubicación del centro de gravedad de la reacción de compresión. Por lo tanto, para determinar esta ubicación se deben utilizar hipótesis conservadoras. Si el procedimiento analítico no se verifica mediante ensayos, la ubicación se supondrá a una distancia menor o igual que el espesor de la placa a partir del borde de compresión del dispositivo de fijación.

(c) La precarga residual, si la hubiera, se debe basar en hipótesis conservadoras acerca de la pérdida de pretensado. Se puede anticipar que los anclajes poco profundos que tienen la capacidad de hacer fallar el concreto por tracción experimentarán una pérdida de total de la precarga. Si el procedimiento de instalación requiere que la precarga sea determinada mediante medios positivos, la precarga residual no se debe adoptar mayor que 50 % de la precarga inicial a menos que se realicen ensayos sobre prototipos. Si la carga de instalación se determina usando una llave de torsión calibrada u otros medios menos positivos, se debe asumir que la pérdida de pretensado será mayor. La precarga perdida se puede recuperar aplicando torque nuevamente o bien ajustando nuevamente los anclajes. No parece que se obtengan mayores ventajas aplicando torque nuevamente más de dos veces. Antes de volver a aplicar torque se debería dejar transcurrir el tiempo suficiente para que ocurra la mayor parte de la pérdida, pero bajo ninguna circunstancia este período de tiempo debe ser menor que alrededor de una semana. No se deberá asumir ninguna precarga efectiva si en el procedimiento de instalación no se indican requisitos de verificación.

Para las cargas determinadas se puede determinar el espesor de la placa base

t_p :

$$t_p = (M, N) \sqrt{\frac{2V_u}{0.90f_yA_p}} \quad \text{Ec. 3.42}$$

3.3.8 Excentricidad.-

La excentricidad, se la ha estudiado en los diversos cálculos para grupos de anclajes, esta afecta a la distribución de las fuerzas sobre los anclajes, haciendo que algunos trabajen a tracción, otros a corte, y otros a compresión.

Lo más recomendable es que la placa de fijación lo suficientemente rígida asuma la excentricidad. La excentricidad se la debe tomar en consideración si $c \geq 1.5 h_{ef}$ fig. 3.29

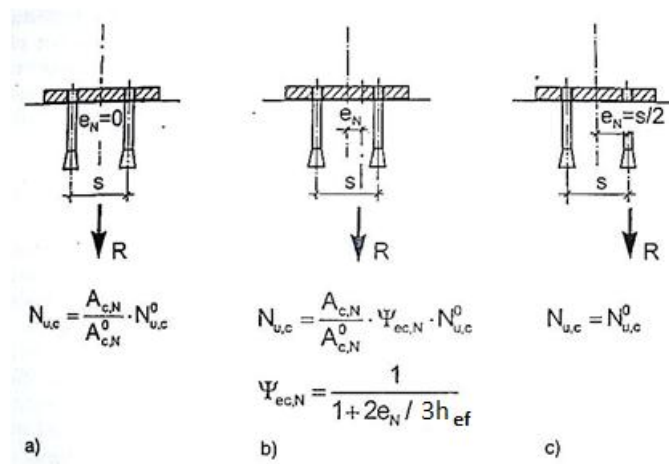


Figura 3.29 Casos de excentricidad en anclajes.

La excentricidad causa anclajes que trabajan a compresión fig. 3.30

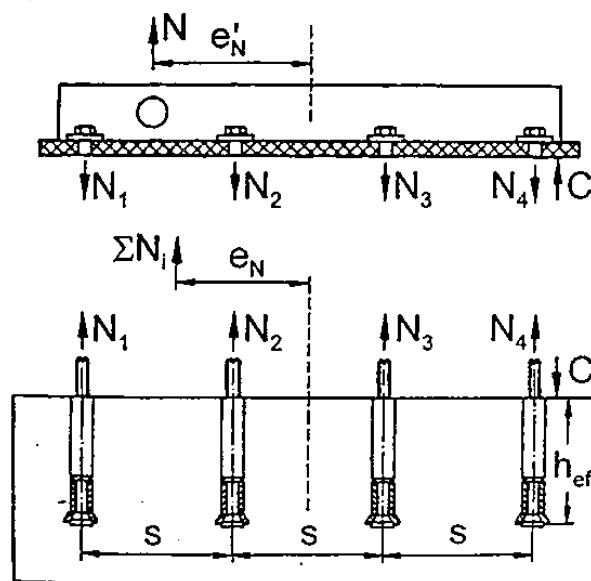


Figura 3.30 Anclaje que trabaja a tracción debido a la excentricidad

En algunos casos en los que los anclajes se encuentran ubicados en las zonas de compresión se generan momentos y cargas de tensión excéntricas fig. 3.31

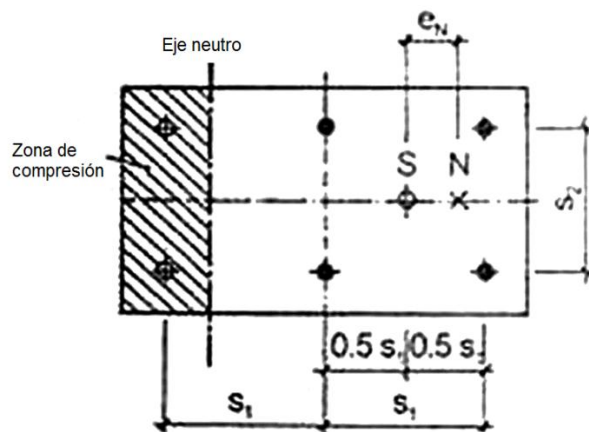


Figura 3. 3.1 Zona de compresión generada por la excentricidad y la placa de fijación.

La excentricidad a lo largo de dos ejes, genera áreas bajo compresión y tensión no uniforme, de donde solo algunos anclajes están trabajando a tracción. Fig. 3.32

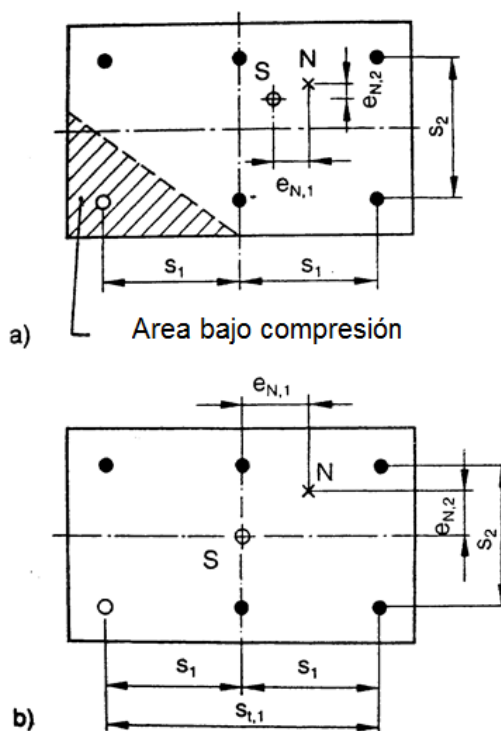


Figura 3.32 Excentricidad aplicada en los dos ejes.

La ecuación:

$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad \text{Ec. 3.43}$$

Es válida únicamente si la rigidez a lo largo de la placa de fijación mayor que a lo ancho, y provee una razonable aproximación y en algunos casos conservadora de la capacidad última del concreto, mediante la teoría de la elasticidad.

3.3.9 Factores Ambientales.-

Considerar el ambiente de servicio es fundamental para lograr una prolongada vida útil, especialmente en aquellas regiones en las cuales los anclajes pudieran estar en contacto con salpicaduras de agua marina o sales anticongelantes. El acero no protegido es particularmente vulnerable a la corrosión cuando permanece expuesto a las condiciones atmosféricas.

En el caso de los anclajes de expansión, existe vulnerabilidad a la corrosión en la región del mecanismo de expansión donde hay espacio disponible para permitir la acumulación de humedad. La corrosión reducirá la habilidad de los anclajes de funcionar satisfactoriamente, especialmente en el caso de los anclajes de expansión de torque controlado.

Cuando el acero está sometido a una elevada tensión sostenida o de larga duración existe un mayor potencial de falla por corrosión bajo tensión. Si la tensión de fluencia del acero de los anclajes es menor que 8440 kg/cm² (120 ksi) es menos probable que la corrosión bajo tensión represente un problema. Sin embargo, se debe tener precaución cuando en la zona del anclaje se

utilizan cloruros ya sea en forma externa o como parte de la mezcla de concreto.

En los ambientes corrosivos se debería considerar el uso de sistemas con recubrimientos protectores o el empleo de materiales resistentes a la corrosión. El uso de delgados revestimientos de zinc no proporcionará protección permanente contra la corrosión bajo condiciones de exposición exteriores normales. Un correcto detallado asegurará que el agua que escurre no pueda llegar a los anclajes en las áreas en las cuales hay presencia de nieve o sales anticongelantes. Se sabe que la alternancia de períodos de humedecimiento y secado ha producido corrosión incluso en ausencia de cloruros.

Con frecuencia los bulones de anclaje se colocan en camisas para permitir un pequeño ajuste del bulón para poder unirlo a la base de fundación. Si la fundación está expuesta a temperaturas de congelamiento las camisas se deberían llenar con mortero o bien se debería de agua. Si una fundación estará expuesta a un ambiente agresivo se deberían sellar las luces entre las placas base de acero y la superficie de concreto. De manera similar, los morteros de arena-cemento colocados en seco que están expuestos a condiciones de congelamiento y deshielo se deberían cubrir con un sellador para impedir la absorción de agua.

En las áreas sujetas a temperaturas elevadas o que potencialmente estarán expuestas al fuego no se deben utilizar adhesivos químicos, sellos de plomo ni otros materiales que en temperaturas elevadas tienen una alta tasa de fluencia lenta. También puede ser necesario realizar investigaciones especiales para determinar los posibles efectos de los productos químicos utilizados en los

procesos de las plantas industriales. La exposición intermitente puede ser una condición de servicio más severa que la exposición permanente. Fig. 3.29



Figura 3.29 Aseguramiento de anclaje expuesto a ambientes agresivos.

3.3.9.1 Ambientes Corrosivos: En ambientes corrosivos u otras condiciones severas de exposición, la protección de concreto debe aumentarse convenientemente para lo cual debe tenerse en cuenta su impermeabilidad; de lo contrario debe proporcionarse otro tipo de protección.

3.3.9.2 Tipos de Corrosión: La corrosión es el principal enemigo de los anclajes, a continuación se verán varios tipos:

3.3.9.2.1 Ataque Químico Directo.- La corrosión por ataque químico directo sucede cuando el material base se puede disolver en un medio corrosivo. Una solución para este tipo de corrosión es el seleccionar un anclaje o un material de fijador que no sea susceptible al ataque del químico corrosivo. Hay muchos libros que demuestran cuadros de compatibilidad los cuales proveen una guía para seleccionar el material correcto.

Se la puede evitar con acabados que son impermeables al medio corrosivo. Estos incluyen acabados metálicos tales como el zinc, el cadmio o tal vez otros acabados orgánicos tal como el epóxico o los flurocarburos.

3.3.9.2.2 Corrosión Electro–Química.- Todos los metales tienen una potencia eléctrica relativa a cada uno y han sido clasificados de acuerdo para formar una “serie galvánica” de metales.

Cuando metales de diferente potencial se contactan en la presencia de un electrolito, el metal más activo o (con más potencial negativo) se convierten en ánodo y se corroe, mientras que el otro metal se convierte en cátodo y se protege galvánicamente.

La severidad y velocidad de un ataque son influenciados por:

- a) La posición relativa de los metales en contacto en las series galvánicas
- b) El área relativa de los metales en contacto y
- c) La conductividad de los electrolitos.

3.3.9.2.3 Agrietamiento por Corrosión bajo Tensiones por Hidrógeno.- Con frecuencia e incorrectamente llamado fragilización por hidrógeno, el agrietamiento por corrosión bajo tensiones por hidrógeno (HASCC) es un mecanismo de falla provocado por el medio ambiente, a veces tardío y la mayoría de las veces ocurre sin previo aviso. HASC Cocurre cuando un fijador de acero endurecido recibe tensiones (cargas) en un ambiente que químicamente genera o produce hidrógeno (como por ejemplo cuando se combina hierro y zinc en presencia de humedad). El potencial de HASCC está

directamente relacionado con la dureza del acero. Entre más grande es la dureza del fijador, mayor es la susceptibilidad a fallas de agrietamiento por corrosión de tensión. Al eliminar o reducir alguno de estos factores (alta dureza del acero, corrosión o tensión) se reduce el potencial total de este tipo de falla del fijador. Por otra parte, la fragilización por hidrógeno se refiere al potencial efecto secundario dañino del proceso de manufactura del fijador de acero y no está relacionado con la corrosión presente en el sitio. La fragilización por hidrógeno se neutraliza mediante procesamiento correcto durante las operaciones de recubrimiento, limpieza y decapado, específicamente al "hornear" los fijadores después de la aplicación del recubrimiento galvanizado.

3.3.9.3 Protección Corrosiva: La solución mayormente empleada para evitar la corrosión de los anclajes es emplear una protección para evitar la corrosión del sistema de anclaje, entre las cuales tenemos, el recubrimiento de concreto, tratamiento químico del anclaje, aplicación de pintura.

3.3.9.3.1 Concreto Preparado en sitio (no presforzado).- Para evitar los problemas de corrosión se debe proporcionar el siguiente recubrimiento mínimo de concreto al refuerzo según la siguiente tabla:

Tabla 3.2 Recubrimientos Mínimos para Sistema de Anclajes para evitar la Corrosión.

Recubrimiento	Mínimo mm.
(a) Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él	75
(a) Concreto expuesto a suelo o a la intemperie: Barras No. 19 a No. 57	50
(a) Barras No. 16, alambre MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro) y menores	40

La tolerancia para d y para el recubrimiento mínimo de concreto en elementos sometidos a flexión, muros y elementos sometidos a compresión debe ser la siguiente:

Tabla 3.3 Tolerancias en Distancia d y Recubrimientos.

	Tolerancia en d	Tolerancia en el Recubrimiento mínimo de concreto
$d \leq 200 \text{ mm}$	$\pm 10 \text{ mm}$	-10 mm
$d > 200 \text{ mm}$	$\pm 12 \text{ mm}$	-12 mm

Excepto que la tolerancia para la distancia libre al fondo de las cimbras debe ser menos de 6 mm, y la tolerancia para el recubrimiento no debe exceder menos 1/3 del recubrimiento mínimo de concreto requerido en los planos de diseño y especificaciones.

3.3.9.3.2 Protección Corrosiva por Tratamiento Químico.- El tipo más común de protección de corrosión para fijadores de acero carbón es el zinc. Los recubrimientos de zinc pueden ser aplicados uniformemente con una variedad de métodos para alcanzar distintos grados de coberturas. Como regla, mientras más recubrimientos tengan, tendrán un nivel más elevado de protección.

Basado en estudios por ASTM y otras organizaciones, la tasa de corrosión estimada para los recubrimientos de zinc en distintas atmósferas se demuestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.4 Recubrimientos de Zinc para Sistemas de Anclaje Para evitar Corrosión.

Atmósfera	Tasa de Corrosión Fuerte
Industrial	5.6 $\mu\text{m/año}$
Urbana No Industrial o Marina	1.5 $\mu\text{m/año}$
Suburbana	1.3 $\mu\text{m/año}$
Rural	0.8 $\mu\text{m/año}$
Interior	Considerablemente Menor de 0.5 $\mu\text{m/año}$

Estos valores son para referencia solamente, debido a la gran variación en los reportes mencionados pero estos valores pueden ofrecer al especificador un mejor entendimiento de la vida útil esperada para los recubrimientos de zinc. En ambientes controlados en donde la humedad relativa es baja y no hay presencia de elementos corrosivos, la proporción de corrosión de recubrimientos de zinc es de aproximadamente 0.15 micrones por año.

Los recubrimientos de zinc son aplicados a los anclajes y los fijadores por distintos métodos. Las siguientes especificaciones ASTM siguen a continuación:

- a) **ASTM B633:** Esta especificación cubre los electro-depósitos (electro galvánico) de recubrimiento de zinc que son aplicadas al hierro o productos de acero.
- b) **ASTM B695:** Esta especificación cubre todos los depósitos de zinc mecánicamente aplicados al hierro o a los productos de acero.
- c) **ASTM A153:** Esta especificación cubre todos los recubrimientos de zinc aplicados a través del proceso de baños en caliente de los productos de hierro y acero.

- d) **Proceso de Sherardizing:** Se conoce así al recubrimiento de la superficie metálica con zinc mediante galvanizado a vapor, el cual es un proceso de difusión controlada del recubrimiento de Zinc.

CAPITULO IV

4. RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO

Entendiendo que el campo de la estadística nos permite reunir, medir, clasificar, codificar, computar, analizar y resumir información numérica adquirida sistemáticamente mediante un conjunto de procedimientos¹¹, en el presente trabajo se pretende mediante la aplicación de las normas ACI 355.2 que especifican requisitos para el ensayo y la evaluación de anclajes mecánicos instalados en concreto endurecido que se han de utilizar en concreto que satisface los requisitos de diseño de ACI 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete*, que especifica además criterios para determinar si los anclajes son aceptables para utilizar exclusivamente en concreto no fisurado o si son aceptables tanto en concreto no fisurado como en concreto fisurado; establecer criterios para determinar la categoría de comportamiento a la cual se debe asignar cada anclaje y verificar el ángulo del cono de fractura producto de la falla del concreto, si es este el caso de colapso del sistema de anclaje.

Además ACI 318 utiliza las categorías de comportamiento de los anclajes para asignar factores de reducción de la capacidad y otros parámetros de diseño y nos describe los ensayos requeridos para calificar un sistema de anclaje o sistema de grupo de anclajes instalados en concreto endurecido para su uso conforme a los requisitos de ACI 318.

¹¹Tomado del Capítulo 1 del Libro “Estadística para las Ciencias Sociales” pág. 1

Dentro de esta normativa es importante recalcar que la misma se aplica exclusivamente a los anclajes mecánicos (anclajes de expansión de torque controlado, anclajes de expansión de desplazamiento controlado y anclajes rebajados) instalados en concreto endurecido que se colocan en orificios pre perforados y se anclan en el concreto mediante medios mecánicos, por lo cual se ha tomado parámetros específicos del libro del Prof. Eligehausen como referencia para los ensayos de anclajes preinstalados en el concreto, y además que se aplica exclusivamente a los anclajes cuyo diámetro nominal es mayor o igual que 0,6 cm ($\frac{1}{4}$ de pulgada).

Por motivos de estandarización los valores expresados, ya sea en el sistema pulgada-libra o en el Sistema Internacional (SI), se deben considerar separadamente. En el presente trabajo las unidades de estos sistemas se indican entre paréntesis. Los valores de ambos sistemas no son equivalentes exactos; por lo tanto, cada sistema se debe utilizar en forma independiente. La combinación de valores de ambos sistemas podría resultar en un incumplimiento de la norma ACI 355.2 para analizar los resultados de los ensayos y obtener conclusiones alejadas de los reales datos experimentales.

4.1 Introducción

En una investigación científica, es necesario seleccionar los datos que atañen a las características de un grupo de individuos u objetos, pero es difícil observarla en su totalidad, por lo que se requiere la población del estudio, que para Balestrini (2006) “es un conjunto finito o infinito de personas, casos o

elementos que presentan características comunes”¹². En la presente fase de experimentación la población será finita, en base a la definición de Ramírez (2004) “cuando el investigador cuenta con el registro de todos los elementos que conforman la población de estudio y está conformada por menos de cien mil elementos”.

En este caso, se realizará un total de 25 ensayos de sistemas de anclajes, 5 en anclajes de $\phi 12$ mm. fundidos con el concreto en cilindros de 21x40 cm., 5 en anclajes de $\phi 9$ mm. empotrados en este después de fraguado en cilindros de 21x40 cm., 5 en anclajes de $\phi 12$ mm. empotrados en este después de fraguado en cilindros de 40x80 cm., 5 en anclajes de $\phi 9$ mm. empotrados en este después de fraguado empleando epóxicos en cilindros de 15x30 cm., y 5 en anclajes de $\phi 12$ mm. empotrados en este después de fraguado en cilindros de 15x30 cm. empleando epóxicos, siguiendo las normas establecidas por el Comité 355 del ACI para el ensayo de Pernos de Anclaje que indica que se debe realizar un mínimo de 5 ensayos por cada tipo de anclaje en estudio y según cada exigencia específica que se requiere analizar para obtener resultados de fractura del concreto y verificar el ángulo de falla o desprendimiento propuestos en los diferentes estudios. A lo anterior se aumentará los ensayos de los materiales base para los diseños iniciales de los anclajes, esto con referencia a normas ACI para el concreto, y normas ASTM para el acero.

En cuanto a la población de profesionales a ser entrevistados, se seleccionó a dos representantes de profesionales diseñadores estructurales, dos

¹²Tomado del Capítulo 2 del Libro “Cómo se Elabora el Proyecto de Investigación” de Miriam Balestrini Acuña pág. 137

profesionales docentes de la Carrera de Ingeniería Civil y dos profesionales que tengan experiencia en el empleo de pernos de anclaje en obra, los mismos que mediante sus respuestas a las 10 interrogantes previamente seleccionadas de tipo cerrado y en su mayoría dicotómico, abordaron el tema de los sistemas de anclajes en el Ecuador y su aplicación en el mercado de la construcción.

4.1.1 Normativa de Ensayos ACI 355-2.-

Conocido el campo de validez de la normativa ACI 355-2 es prudente aclarar que el tamaño de la muestra de 5 ensayos es el mínimo aceptado por esta norma, por lo que este puede ser aumentado pero no disminuido.

Según la norma, el primer paso para el ensayo es determinar las características críticas del sistema de anclaje, determinando las que afecten a su identificación y comportamiento, en nuestro caso estas son ***los materiales constitutivos y las dimensiones de las probetas.***

4.1.1.1 Materiales Constitutivos: Como materiales constitutivos tenemos al concreto y al acero, según ACI 355-2 se detalla los siguientes requisitos para cada material de las probetas de ensayo:

4.1.1.1.1 Concreto.- El concreto utilizado en los ensayos deberá satisfacer las normas ASTM C150 en cuanto a requisitos físicos y químicos, así como lo expuesto a continuación para agregados y cementos

4.1.1.1.1.1 Agregados: El ACI 355-2 especifica que se debe revisar y satisfacer las normas ASTM C33, misma que define los requisitos para granulometría y calidad de agregado fino y grueso para utilizar en concreto, siendo el tamaño máximo de los mismos entre 19 y 25 mm. ($\frac{3}{4}$ ó 1 pulgada). Y

la norma ASTM C330 para hormigones livianos. En nuestro caso la dosificación de los agregados se realizó en base a la siguiente tabla:

Tabla 4.1 Dosificación de Agregados

COMPONENTES	DOSIFICACIÓN (kg/m ³)
AGR. GRUESO (3-9 mm.)	324,8
AGR. GRUESO (6-19 mm.)	645,0
AGR. FINO (0-6 mm.)	905,0
CEMENTO	350,0
AGUA	210,0

4.1.1.1.1.2 Cemento: En el caso del cemento, se debe usar de tipo Portland, para el cual ACI 355 establece como norma a cumplirse la ASTM C150 en lo referente a requisitos físicos y químicos según el tipo de cemento, en nuestro caso trabajamos con Cemento Portland Tipo I ó Común, con una resistencia promedio a los 28 días igual o mayor a 280 kg/cm² (28 MPa). Cabe anotar que durante la fabricación del concreto no fueron agregados ningún tipo adicional de cementantes, como indica la norma mencionada.

4.1.1.2 Dimensiones de las Probetas: Para el presente ensayo se utilizó cilindros de tres tipos (fig. 4.1) que cumplen la reglamentación ASTM C39 y en base a las necesidades de área, de acuerdo al detalle siguiente:

Tabla 4.2 Dimensiones de Cilindros de Ensayo

TIPO DE PROBETA	DIMENSIONES (cm.)	CANTIDAD
CILINDRO	15X30	10
CILINDRO	20X40	10
CILINDRO	35X40	5
TOTAL DE ENSAYOS		25



Figura 4.1 Tres tipos de cilindros elaborados.

4.2 Preparación de Probetas

La preparación de las probetas se realizó en base a tres parámetros:

- Norma ACI 355-02 y ACI 318-08
- Normas ASTM para el concreto C33, C39 y C150.
- Recomendaciones del fabricante.

Elaborando un total de 25 probetas, 10 probetas para sistemas preinstalados y 15 para sistemas postinstalados (fig. 4.2).





Figura 4.2 Elaboración de Probetas.

4.2.1 Probetas de Sistemas de Anclaje Preinstalados.-

Para los sistemas preinstalados se preparó 5 probetas con cilindros de 20x40 cm. empleando un “*bulón común*” de 12 mm. (1/2 in.) de diámetro y con una profundidad efectiva promedio de 5 cm. (2 in.) fig. 4.3.



Figura 4.3 Elaboración de Probetas para Sistemas Preinstalados.

4.2.2 Probetas de Sistemas de Anclaje Postinstalados.-

Para los sistemas postinstalados se preparó 20 probetas para los tres tipos de cilindros de concreto empleando “*anclajes de cuña*” y “*pernos de acero A36*” de 12 mm. (1/2 in.) y de 9 mm. (3/8 in.) de diámetro con una profundidad efectiva promedio de 5 cm. (2 in.).

4.2.2.1 Sistema de Torque Controlado en Cuña: Para este sistema se empleó 10 probetas para sistemas postinstalados, 5 en cilindros de concreto de 20x40 cm. con anclajes de cuña de 9 mm. (3/8 in.) de diámetro (fig. 4.1) y 5 en cilindros de concreto de 40x80 cm. con anclajes de cuña de 12 mm. (1/2 in.) fig. 4.4.



Figura 4.4 Elaboración de Probetas para Sistemas de Anclaje Postinstalados de torque controlado en cuña.

4.2.2.2 Sistemas de Anclaje Cementados con Epóxicos: Para este sistema se empleó 10 probetas para sistemas postinstalados, 5 en cilindros de concreto de 15x30 cm. con anclajes de cuña de 9 mm. (3/8 in.) de diámetro y 5 en cilindros de concreto de 15x30 cm. con anclajes de cuña de 12 mm. (1/2 in.) fig. 4.5.



Figura 4.5 Elaboración de Probetas para Sistemas de Anclaje Postinstalados con Enclavamiento Químico.

4.3 Ensayos de los Materiales Base

4.3.1 Ensayos al Concreto.-

Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del

concreto es la medida más común de desempeño que se emplea como dato fundamental en el diseño de estas estructuras, por ello en el presente trabajo se la seleccionó para obtener resultados que permitan determinar el comportamiento de este material base dentro de los sistemas de anclaje de experimentación.

4.3.1.1 Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto: La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, como se muestra en la fig. 4.6. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de kg/cm^2 o en mega pascales (MPa) en unidades del SI. Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar para los sistemas de anclajes desde los $140 \text{ kg}/\text{cm}^2$ para concreto común o residencial hasta resistencias superiores a $280 \text{ kg}/\text{cm}^2$ en estructuras comerciales e industriales. En nuestro caso se diseñó un concreto que resista $350 \text{ kg}/\text{cm}^2$.



Figura 4.6 Máquina de Ensayo de Compresión

Partiendo de la resistencia teórica se realizó 6 ensayos de acuerdo a la norma ASTM C31 para Elaborar y Curar Probetas de Ensayo de Concreto (fig. 4.2) y la norma ASTM C39 para el Método Estándar de Prueba de Resistencia a la Compresión de Probetas Cilíndricas de Concreto (fig. 4.7 y 4.8).



Figura 4.7 Elaboración de Probetas de Concreto para el Ensayo de Compresión.



Figura 4.8 Ensayo de Compresión realizado a los 28 días.

4.3.2 Ensayos al Acero.-

Los diferentes aceros en que son elaborados los pernos y bulones para los sistemas de anclajes pueden ser elaborados de tal manera que tengan amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos para una estructura determinada. La resistencia a la tracción del acero es la propiedad medida más común de desempeño que se emplea como dato fundamental en el empleo de estos elementos dentro de las estructuras, por ello en el presente trabajo se la seleccionó para obtener resultados que nos permitan determinar el comportamiento de este material base dentro de los sistemas de anclaje de experimentación.

4.3.2.1 Ensayo de Tracción al Acero: El ensayo de tracción del acero consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta (fig. 4.9-4.10-4.11). Este ensayo mide la resistencia del acero a una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en una ensayo de tensión son muy pequeñas ($\epsilon=10^{-4}$ a 10^{-2} s⁻¹).



Figura 4.9 Preparación de probetas de acero.



Figura 4.10 Colocación de probetas de acero en la máquina de ensayo.

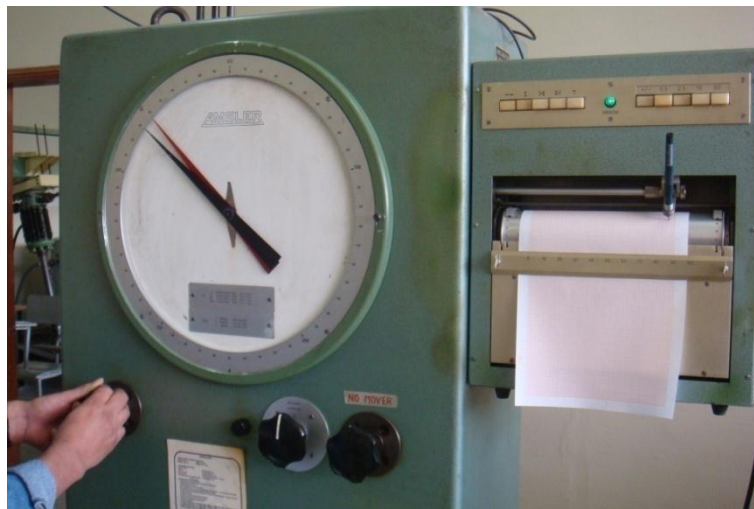


Figura 4.11 Aplicación de carga y obtención de curva.

En el ensayo de tracción realizado determinamos las siguientes características básicas del acero como material base del sistema de anclaje:

- a) **Deformaciones elásticas:** En esta zona las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta, mismas que son de pequeña magnitud y, si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial. El

coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad o de Young y es característico del material. Así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes. La tensión más elevada que se alcanza en esta región se denomina límite de fluencia y es el que marca la aparición de este fenómeno. Pueden existir dos zonas de deformación elástica, la primera recta y la segunda curva, siendo el límite de proporcionalidad el valor de la tensión que marca la transición entre ambas. Generalmente, este último valor carece de interés práctico y se define entonces un límite elástico (convencional o práctico). Se obtiene trazando una recta paralela al tramo proporcional (recto) con una deformación inicial igual a la convencional.

b) Fluencia o cedencia: Es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada. El fenómeno de fluencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación bloquean las dislocaciones de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente. Alcanzado el límite de fluencia se logra liberar las dislocaciones produciéndose la deformación bruscamente. La deformación en este caso también se distribuye uniformemente a lo largo de la probeta pero concentrándose en las zonas en las que se ha logrado liberar las dislocaciones (bandas de Luders). No todos los materiales presentan este fenómeno, en cuyo caso la transición entre la deformación elástica y plástica del material no se aprecia de forma clara.

- c) Deformaciones plásticas:** Zona en la cual al retirar la carga aplicada, la probeta recupera sólo parcialmente su forma quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica.
- d) Estricción:** Llegado un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una notoria reducción de la sección de la probeta, momento a partir del cual las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona. La estricción es la responsable del descenso de la curva tensión-deformación; realmente las tensiones no disminuyen hasta la rotura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente) entre la sección inicial y cuando se produce la estricción la sección disminuye, efecto que no se tiene en cuenta en la representación gráfica. Los sistemas de anclaje que emplean elementos elaborados con aceros frágiles no sufren estricción ni deformaciones plásticas significativas, rompiéndose de forma brusca.

Tabla 4.3 Resistencia a tracción del acero.

NÚMERO DE MUESTRA	DIAMETRO	PASO DE ROSCA	ALARGAMIENTO	ÁREA EFECTIVA	TIPO DE ACERO	PESO DEL CABEZAL	RESISTENCIA TEÓRICA A TRACCIÓN
	cm.	cm.	%	cm ²		Kg.	Kg/cm ²
1	0,84	0,125	0,93	0,40	ANCLAJE A36	135	4080-56330
2	0,84	0,125	1,13	0,40	ANCLAJE A36	135	4080-56330
3	0,84	0,125	0,92	0,40	ANCLAJE A36	135	4080-56330
4	0,84	0,125	1,17	0,40	ANCLAJE A36	135	4080-56330
5	1,23	0,175	7,28	0,87	EJE A36	135	4080-56330
6	1,23	0,175	7,47	0,87	EJE A36	135	4080-56330
7	1,21	0,195	6,49	0,81	EJE A36	135	4080-56330
8	1,21	0,195	6,21	0,81	EJE A36	135	4080-56330
9	1,21	0,195	6,33	0,81	EJE A36	135	4080-56330

4.3.2.2 Ensayo a corte del Acero: Para el estudio de sistemas de anclajes, la resistencia a solicitaciones de corte es tan importante como la de tracción, pues este tipo de esfuerzos afectan directamente al acero del conjunto del anclaje, antes que a la porción de concreto o al enclavamiento en condiciones ideales. A esto podemos agregar la comprobación de valores para trabajar el diseño del sistema.

El esfuerzo de corte no puede ser obtenido prácticamente como un esfuerzo puro o simple, pues va generalmente acompañado por otro de flexión, cuyo valor variará según el procedimiento a seguir pues es indudable que si se considera una sola cuchilla su importancia decrecerá, aunque también en este caso tendrá una pequeña influencia en el valor obtenido la dureza del filo y la penetración en cuña del mismo.

En nuestro caso se calcula el esfuerzo de corte como si se tratara de un esfuerzo simple, aplicando la fórmula de tensión ya conocida, debido a que éste predomina tomando valores de tal magnitud que permiten despreciar los efectos secundarios.



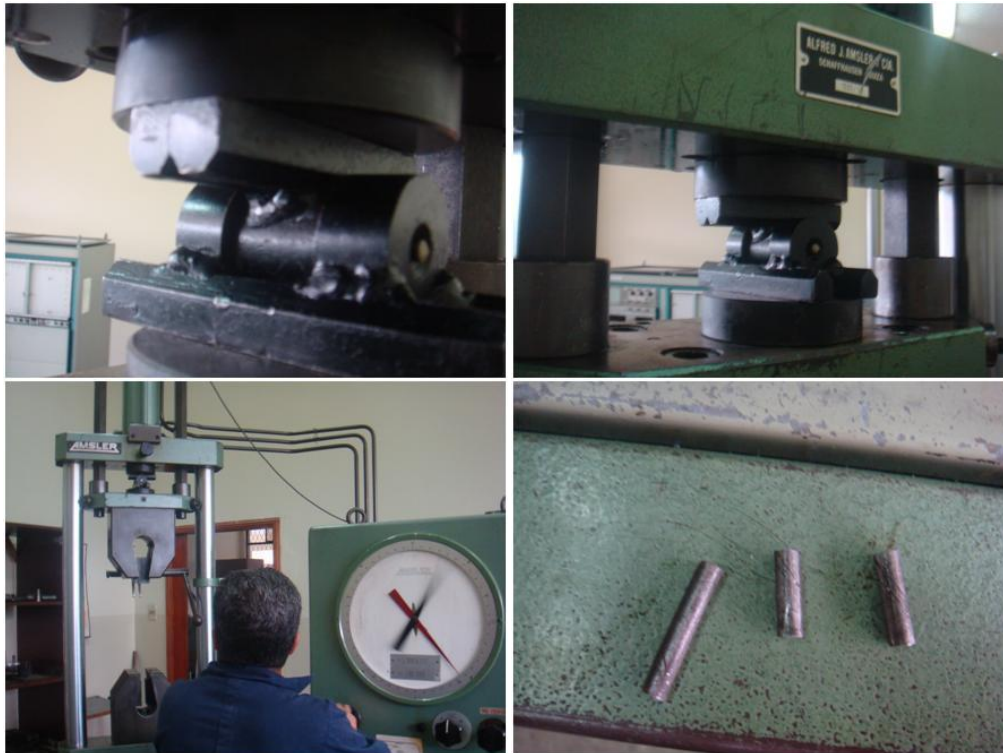


Figura 4.12 Ensayo de corte en probetas de anclajes de acero A36.

En la figura 4.12 se muestra el ensayo realizado al acero de los sistemas de anclajes utilizados en el presente trabajo empleando un mecanismo de cizalla doble con probetas de 10 cm. de largo por cada tipo de sistema de acuerdo al detalle mostrado en la siguiente tabla:

Tabla 4.4 Probetas ensayadas a corte

NÚMERO DE PROBETA	DIAMETRO	TIPO DE ACERO	PASO DE ROSCA	ÁREA EFECTIVA
ORD.	cm.		cm.	cm ²
1	0,55	EJE A 36	0,075	0,177
2	0,55	EJE A 36	0,075	0,177
3	0,84	HILTI A 36	0,125	0,402
4	0,84	HILTI A 36	0,125	0,402
5	1,23	EJE A 36	0,175	0,874
6	1,23	EJE A 36	0,175	0,874

4.4 Ensayos de los Sistemas de Anclajes

Un sistema de anclaje, al igual que sus materiales constitutivos, puede ser ensayado en las diversas propiedades mecánicas que posee como la resistencia a tracción, resistencia a corte, durabilidad y otras; las cuales de acuerdo al empleo deben ser seleccionadas por el especialista a fin de obtener el mejor desempeño al ser instalado en las estructuras para soportar las solicitaciones para las cuales haya sido diseñado.

El objetivo es determinar el ángulo que presenta el cono de concreto al fallar el sistema de anclaje al someterlo a esfuerzos de tracción (fig. 4.13), con lo cual se determina si el método de cálculo desarrollado por el American Concrete Institute a través del Comité 318 del año 2008 es válido en la práctica y poder aplicarlo de manera teórica para el diseño de estos elementos empleando los criterios expuestos en el Apéndice D publicado por este comité y reforzado por los estudios del Profesor Richard Klingner y el Profesor Rolf Eligehausen.

Para cumplir con lo expuesto se aplicó las normas para este tipo de ensayos establecidas por el instituto y normas para los materiales establecidas por organismos internacionales que son tomados como referencia para el campo de la construcción en nuestro país, mismas que fueron analizadas en capítulos anteriores.



Figura 4.13 Ensayo de sistemas de anclaje a tracción

A continuación se muestra en la tabla 4.5 el detalle de los ensayos realizados de los sistemas de anclajes a esfuerzos de tracción:

Tabla 4.5 Detalle de probetas ensayadas a tracción.

DIAMETRO DEL CILINDRO	DIAMETRO DE VARILLA	AREA DE ACERO	PROFUNDIDAD DE EMPOTRAMIENTO	SISTEMA DE ANCLAJE	METODO DE ASEGURAMIENTO	TIPO DE ANCLAJE
cm.	mm.	cm ²	cm.			
20	9	0,64	5	POSTINSTALADO	FRICCION	DE CUÑA
20	9	0,64	5	POSTINSTALADO	FRICCION	DE CUÑA
20	12	1,13	5	PREINSTALADO	MECANICO	BULON COMUN
20	12	1,13	5	PREINSTALADO	MECANICO	BULON COMUN
20	12	1,13	5	PREINSTALADO	MECANICO	BULON COMUN
20	12	1,13	5	PREINSTALADO	MECANICO	BULON COMUN
15	9	0,64	10	POSTINSTALADO	QUIMICO	CEMENTADO
15	9	0,64	10	POSTINSTALADO	QUIMICO	CEMENTADO
15	9	0,64	10	POSTINSTALADO	QUIMICO	CEMENTADO
15	12	1,13	10	POSTINSTALADO	QUIMICO	CEMENTADO
15	12	1,13	10	POSTINSTALADO	QUIMICO	CEMENTADO
15	12	1,13	10	POSTINSTALADO	QUIMICO	CEMENTADO
40	12	1,13	5	POSTINSTALADO	FRICCION	DE CUÑA

4.5 Entrevistas y Aplicación de Cuestionario

Para la aplicación de las entrevistas se seleccionó a 6 profesionales expertos en el tema y pertenecientes a los tres ámbitos relacionados con el empleo de los sistemas de anclaje que son docencia, diseño y aplicación según el siguiente detalle:

Tabla 4.6 Lista de Profesionales Entrevistados

NOMBRE DEL PROFESIONAL	ÁMBITO DE EJERCICIO
ING. PEDRO CABEZAS	JEFE DE CONSTRUCCIONES CEE
ING. MARCELO ROMO	DOCENCIA - APLICACIÓN
ING. CÉSAR MUÑOZ	DISEÑO – DPTO. TEC. CEE
ING. GONZALO RIVAS	DISEÑO – DPTO. TEC. CEE
ING. JOSÉ LOAYZA	APLICACIÓN – DPTO. CONST. CEE
ING. ENRIQUE HIDALGO	APLICACIÓN – DPTO. OBRAS CIV. CEE

Adicionalmente para aplicar el instrumento de la encuesta se tomó dos poblaciones diferentes, una el universo de profesionales con la carrera de Ingeniería Civil a nivel nacional (13088 Ingenieros registrados en el Colegio de Ingenieros de Ecuador), y otra los alumnos de esta misma carrera en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE (176 Alumnos aproximadamente). Para conseguir el tamaño de la muestra de una población finita aplicamos la siguiente ecuación con los parámetros que se muestra a continuación:

MUESTRA POBLACIÓN FINITA

n	?	TAMAÑO DE LA MUESTRA
N	13.088	TAMAÑO DE LA POBLACION
Z	1,95	# DE DESVIACIONES ESTÁNDAR
σ^2	0,25	VARIANZA MUESTRAL
E	10,0%	ERROR MUESTRAL

n = 94

$$n = \frac{\sigma^2}{\frac{E^2}{Z^2} + \frac{\sigma^2}{N}}$$

Diseñado por: Capt. Marco Alvarez
Capt. Juan Loza

MUESTRA POBLACIÓN FINITA

n	?	TAMAÑO DE LA MUESTRA
N	176	TAMAÑO DE LA POBLACION
Z	1,95	# DE DESVIACIONES ESTÁNDAR
σ^2	0,25	VARIANZA MUESTRAL
E	10,0%	ERROR MUESTRAL

n = 62

$$n = \frac{\sigma^2}{\frac{E^2}{Z^2} + \frac{\sigma^2}{N}}$$

Diseñado por: Capt. Marco Alvarez
Capt. Juan Loza

Obteniéndose una muestra total de 156, a los que se aplicó las preguntas (Anexo “C”) que fueron elaboradas para abordar y estudiar los siguientes ámbitos que refuercen los objetivos planteados:

Tabla 4.7 Ámbitos abordados

ÁMBITO	NÚMERO DE PREGUNTA
Conocimiento general sobre sistemas de anclaje.	1 – 2 – 3
Conocimiento sobre diseño y normativas.	5 – 6
Conocimiento sobre aplicación de los sistemas.	7 – 8
Necesidad de información.	4 – 9 – 10

Además de los ámbitos anotados, se receiptó comentarios adicionales que debido a la experiencia de los profesionales sirvieron para guiar los ensayos y poder analizar los distintos resultados obtenidos con una óptica más amplia.

4.6 Procesamiento

4.6.1 Resultados del Ensayo de Resistencia a la Compresión del Concreto.- Los ensayos realizados a los cilindros nos permitió establecer la resistencia con la cual realizar los cálculos teóricos de diseño de los sistemas de anclaje elaborados para el presente trabajo. El detalle de los ensayos realizados en cilindros de 15x30 (6x12 in.) se los presenta en la tabla 4.6 a continuación:

Tabla 4.8 Resistencia a la Compresión del Concreto de Ensayo

EDAD DEL CONCRETO	RESISTENCIA PROBETA 1 (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROBETA 2 (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)
3	239	252	245,5
14	317	320	318,5
28	364	358	361

Producto de lo cual podemos establecer que la resistencia promedio es de 361 kg/cm², utilizando por seguridad para el cálculo un $f'c$ de 350 kg/cm².

4.6.2 Resultados del Ensayo de Resistencia a la Tracción del Acero.- De manera similar, en los ensayos de tracción realizados al acero se verificó los datos de diseño proporcionados por los fabricantes de los diferentes anclajes.

Tabla 4.9 Resistencia a la Tracción del Acero

NUMERO DE MUESTRA	DIAMETRO	ALARGAMIENTO	ÁREA EFECTIVA	TIPO DE ACERO	RESISTENCIA A TRACCION	PESO DEL CABEZAL	RESISTENCIA PURA A TRACCION	RESISTENCIA UNITARIA ÚLTIMA EXPERIMENTAL	RESISTENCIA UNITARIA ÚLTIMA TEÓRICA ASTM F 1554
	cm.	%	cm ²		kg	kg	kg	kg/cm ²	Kg/cm ²
1	0,84	0,93	0,40	ANCLAJE A36	4380	135	4245	10572,45	4080-56330
2	0,84	1,13	0,40	ANCLAJE A36	4460	135	4325	10771,70	4080-56330
3	0,84	0,92	0,40	ANCLAJE A36	4330	135	4195	10447,92	4080-56330
4	0,84	1,17	0,40	ANCLAJE A36	4360	135	4225	10522,64	4080-56330
5	1,23	7,28	0,87	EJE A36	5800	135	5665	6480,45	4080-56330
6	1,23	7,47	0,87	EJE A36	5750	135	5615	6423,25	4080-56330
7	1,21	6,49	0,81	EJE A36	5450	135	5315	6568,73	4080-56330
8	1,21	6,21	0,81	EJE A36	5660	135	5525	6828,26	4080-56330
9	1,21	6,33	0,81	EJE A36	5670	135	5535	6840,62	4080-56330

De los ensayos se determinó que para diseño podemos emplear con seguridad el valor de 4080 kg/cm² como valor mínimo de tracción para el acero, mismo que se establece en el código ACI y es sugerido por los fabricantes.

4.6.3 Resultados del Ensayo de Resistencia al Corte del Acero.- Para este ensayo se prepararon 6 probetas para verificar el comportamiento del acero de anclaje al corte.

Tabla 4.10 Probetas ensayadas a corte.

NÚMERO DE PROBETA	DIAMETRO	TIPO DE ACERO	ÁREA EFECTIVA	CARGA A CORTE TOTAL	CARGA A CORTE DEL PERNO	ESFUERZO PRÁCTICO A CORTE
ORD.	cm		cm ²	kg	kg	kg/cm ²
1	0,55	EJE A36	0,177	1945	972,50	5487,98
2	0,55	EJE A36	0,177	1950	975,00	5502,09
3	0,84	HILTI A36	0,402	5475	2737,50	6817,92
4	0,84	HILTI A36	0,402	5483	2741,50	6827,89
5	1,23	EJE A36	0,874	9285	4642,50	5310,77
6	1,23	EJE A36	0,874	9370	4685,00	5359,38

Por los resultados de los ensayos de igual forma que en el ensayo a tracción se determina que para el diseño podemos emplear con seguridad el valor de 4080 kg/cm² como valor mínimo de esfuerzo cortante para el acero, mismo que es sugerido por el código ACI y es utilizado por los fabricantes.

4.6.4 Resultado de los ensayos a tracción de los sistemas de Anclajes.- A

continuación se presenta los resultados obtenidos de los ensayos en el laboratorio (experimentales), para diferentes sistemas de anclajes con una profundidad efectiva de empotramiento de 5 cm. Según el detalle de la tabla 4.11.

Tabla 4.11 Resistencia a la tracción de los sistemas de anclaje en estudio

DIAMETRO DEL CILINDRO	DIAMETRO DE PERNO	ANGULO DE FALLA	PROFUNDIDAD EFECTIVA hef	kc TABLA 3.1	MÉTODO DE 45º	MÉTODO CCD	PACAL_1	RESISTENCIA PRÁCTICA A TRACCION
cm.	mm.	º	cm.		kg	kg	kg	kg
20	9	36	5	7	3273,95	1464,16	1052,00	3770
20	9	37	5	7	3273,95	1464,16	1052,00	3780
20	12	35	5	10	4677,07	2091,65	1486,00	3030
20	12	34	5	10	4677,07	2091,65	1486,00	2940
20	12	35	5	10	4677,07	2091,65	1486,00	2750
20	12	33	5	10	4677,07	2091,65	1486,00	2360
15	9	35	5	7	3273,95	1464,16	1439,00	3320
15	9	34	5	7	3273,95	1464,16	1439,00	3320
15	9	34	5	7	3273,95	1464,16	1439,00	3430
15	12	35	5	7	3273,95	1464,16	1052,00	3490
15	12	34	5	7	3273,95	1464,16	1052,00	3550
15	12	36	5	7	3273,95	1464,16	1052,00	3490
40	12	33	5	7	3273,95	1464,16	1052,00	3690

En los datos presentados observamos cuatro aspectos evidentes:

- El método CCD es conservador según los datos obtenidos por el cálculo debido a la incorporación de nuevos factores de seguridad.

- b) El método de 45° se acerca y en ocasiones sobrepasa el valor de resistencia última obtenido experimentalmente del sistema de anclaje, revelando el peligro de trabajar con estos valores para el diseño.
- c) Los valores de resistencia obtenidos mediante el Programa Pacal_01, son los más conservadores debido a la aplicación de todos los factores de seguridad contenidos en el reglamento ACI 318-08S.
- d) Los valores obtenidos de los ensayos aplicados a las probetas son en su mayoría superiores a los obtenidos en los diferentes métodos de diseño analizados debido a que son producto del esfuerzo último de los materiales que no contempla ningún factor de seguridad.

4.7 Resultado de las Entrevistas y Encuestas.

4.7.1 Entrevistas a Ingenieros Civiles.-

Las entrevistas aplicadas a profesionales que se desenvuelven en los ámbitos de la docencia diseño y aplicación práctica de la ingeniería civil arrojaron las siguientes conclusiones generales en base a los cuatro tópicos abordados.

4.7.1.1 Conocimiento general sobre sistemas de anclaje: todos los profesionales concluyeron que los conocimientos sobre este tema son demasiado superficiales, debido a su omisión en la planificación de estudios desde las carreras de pregrado en los centros universitarios.

4.7.1.2 Conocimiento sobre diseño y normativas: debido a la falta de preocupación sobre el tema por parte de los organismos normativos pertinentes los profesionales coincidieron en que al no existir exigencia por normativas nacionales se deja mucho a la libertad de criterio para la aplicación de una reglamentación extranjera, la cual no ha sido debidamente verificada y

legalizada para su aplicación y exigencia en el medio de la construcción nacional.

4.7.1.3 Conocimiento sobre aplicación de los sistemas:

Sobre este tema especialmente los profesionales dedicados a práctica constructivas, manifestaron que la globalización de los mercados, muchas veces impone el empleo de tecnologías constructivas, que a pesar de no estar normadas y aceptadas en el Ecuador son empleadas para optimizar los trabajos realizados dentro de la construcción, considerando factores como rendimientos, costos, mano de obra, disponibilidad de materiales, tecnología, etc. entre otros.

4.7.1.4 Necesidad de información: Al topar este tópico hubo división de criterios acerca de la etapa de formación adecuada para difundir y discutir los conocimientos acerca de los sistemas de anclajes al concreto, pues los profesionales docentes manifestaron que es un tema pertinente a estudios de especialización de post grado, mientras que los profesionales dedicados al diseño y a la aplicación mencionaron que si son conocimientos necesarios en el área de pregrado. Sin embargo todos coincidieron en el vacío existente de información en la parte técnica misma que ha sido suplida por la oferta comercial que proveen los fabricantes

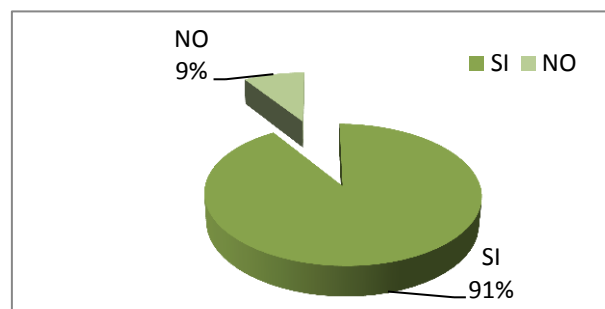
4.7.2 Encuestas Aplicadas.-

A continuación presentamos los resultados obtenidos de las encuestas aplicadas a los profesionales ingenieros civiles miembros del Cuerpo de Ingenieros Civiles del Ejército y a los alumnos de la carrera de Ingeniería Civil pertenecientes a la Universidad de Fuerzas Armadas durante el mes de mayo del 2010.

PREGUNTA Nº 1

¿Cree usted que los sistemas de anclaje son una alternativa estructuralmente eficiente y económicamente rentable de utilizar?

POBLACIÓN	MUESTRA	SI	NO	TOTAL
PROFESIONALES	94	92	2	94
ESTUDIANTES	62	50	12	62
TOTAL		142	14	156



91% CONTESTARON SI
9% CONTESTARON NO

FUENTE: Encuesta CEE y ESPE 2010.

REALIZADO POR: Equipo de Investigadores

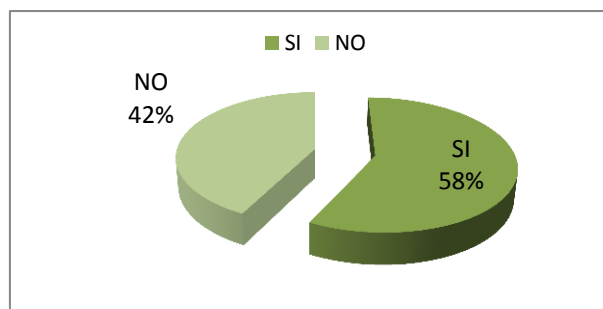
ANALISIS:

El 91%, de personal encuestado indica que los sistemas de anclaje son una alternativa estructuralmente eficiente y económicamente rentable de utilizar, mientras que en un 9% considera lo contrario, por lo que estudiar esta alternativa constructiva si refleja un alto interés entre los profesionales de la ingeniería civil.

PREGUNTA Nº 2

¿Los sistemas de anclajes, en base a su experiencia, son muy utilizados en el país?

POBLACIÓN	MUESTRA	SI	NO	TOTAL
PROFESIONALES	94	60	34	94
ESTUDIANTES	62	30	32	62
TOTAL		90	66	156



58% CONTESTARON SI
42% CONTESTARON NO

FUENTE: Encuesta CEE y ESPE 2010.

REALIZADO POR: Equipo de Investigadores

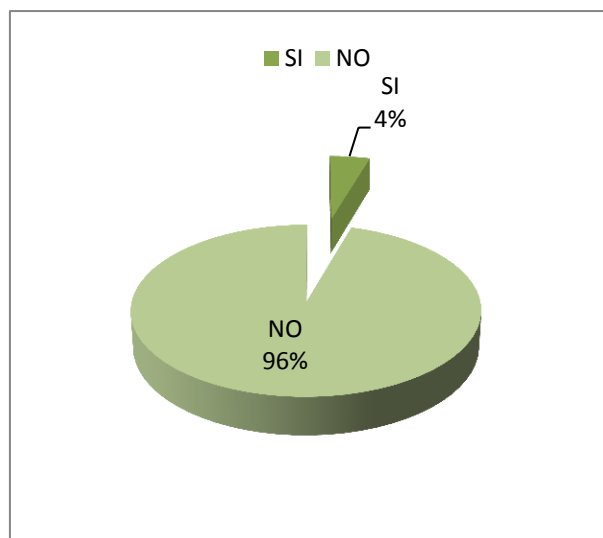
ANALISIS:

Del total de personas encuestado el 58% considera que los anclajes de acero al concreto son muy utilizados en el país, y un 42% que no, esto nos muestra que su utilización se encuentra en crecimiento en el campo de la construcción.

PREGUNTA Nº 3

¿Cree usted que esta tecnología constructiva ha sido lo bastante difundida en el mercado de la construcción del Ecuador?

POBLACIÓN	MUESTRA	SI	NO	TOTAL
PROFESIONALES	94	5	89	94
ESTUDIANTES	62	2	60	62
TOTAL		7	149	156



4% CONTESTARON SI
96% CONTESTARON NO

FUENTE: Encuesta CEE y ESPE 2010.

REALIZADO POR: Equipo de Investigadores

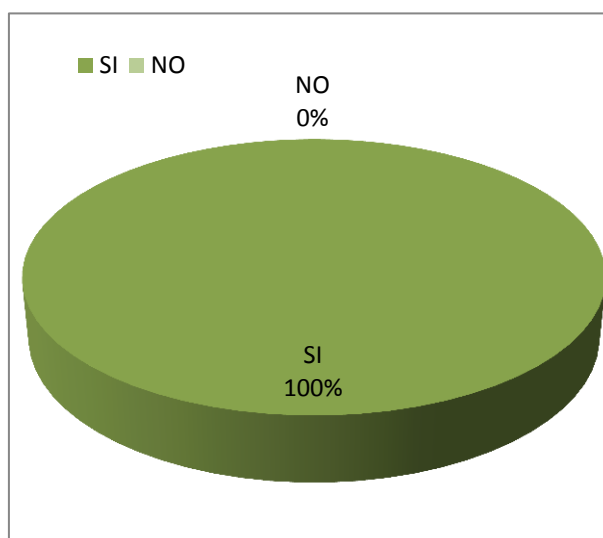
ANÁLISIS:

Del personal encuestado el 96% opinó que el conocimiento de esta tecnología no ha sido lo bastante difundida en el mercado de la construcción del Ecuador, lo que demuestra la falta de conocimiento sobre el tema.

PREGUNTA Nº 4

¿Cree usted que el Código Ecuatoriano de la Construcción debería abordar este tema, como lo han hecho ya otros códigos internacionales?

POBLACIÓN	MUESTRA	SI	NO	TOTAL
PROFESIONALES	94	94	0	94
ESTUDIANTES	62	62	0	62
TOTAL		156	0	156



100% CONTESTARON SI
0% CONTESTARON NO

FUENTE: Encuesta CEE y ESPE 2010.
REALIZADO POR: Equipo de Investigadores

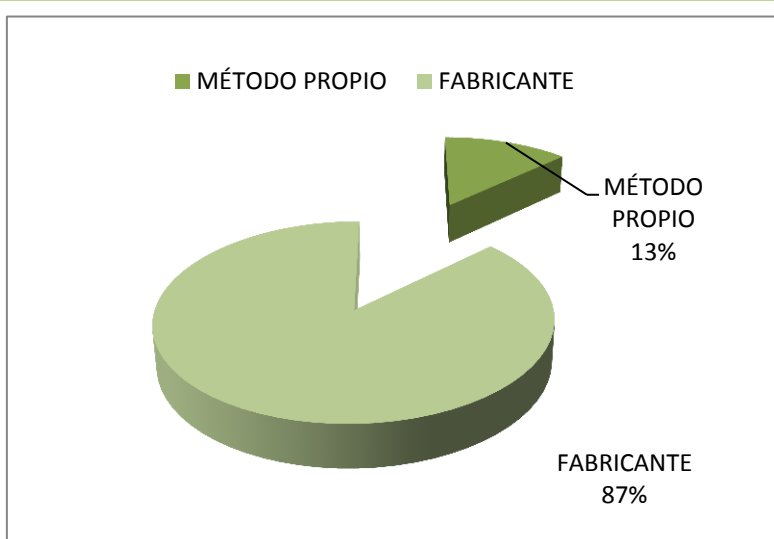
ANALISIS:

Del personal de encuestados el 100% considera que el Código Ecuatoriano de la Construcción debería abordar este tema, lo que demuestra que los profesionales tienen interés en la reglamentación de esta técnica.

PREGUNTA Nº 5

¿Para la utilización de los sistemas de anclajes usted utiliza métodos propios de diseño o emplea datos de fabricantes especializados en la materia?

POBLACIÓN	MUESTRA	MÉTODO PROPIO	FABRICANTE	TOTAL
PROFESIONALES	94	20	74	94
ESTUDIANTES	62	0	62	62
TOTAL		20	136	156



87% CONTESTARON MÉTODO DEL FABRICANTE
13% CONTESTARON MÉTODO PROPIO

FUENTE: Encuesta CEE y ESPE 2010.

REALIZADO POR: Equipo de Investigadores

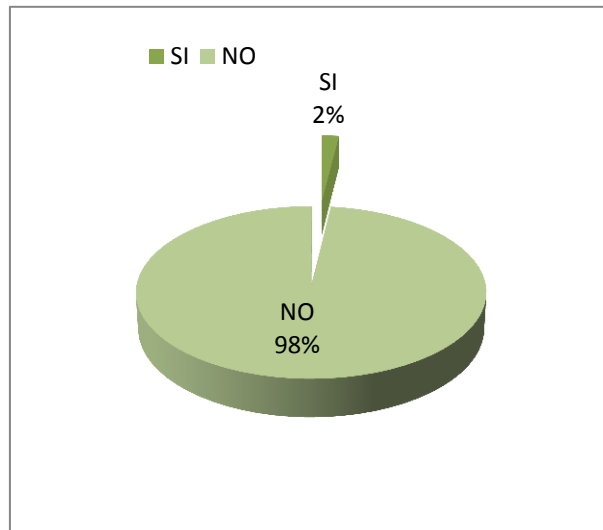
ANÁLISIS:

El 87% de los encuestados revela confiar en los métodos sugeridos por los fabricantes, y el 13% afirman aplicar un método propio, lo cual revela la falta de difusión de los estudios existentes para la utilización de los diferentes sistemas existentes.

PREGUNTA N° 6

¿Conoce usted el método de diseño CCD para sistemas de anclaje?

POBLACIÓN	MUESTRA	SI	NO	TOTAL
PROFESIONALES	94	3	91	94
ESTUDIANTES	62	0	62	62
TOTAL		3	153	156



2% CONTESTARON SI
98% CONTESTARON NO

FUENTE: Encuesta CEE y ESPE 2010.

REALIZADO POR: Equipo de Investigadores

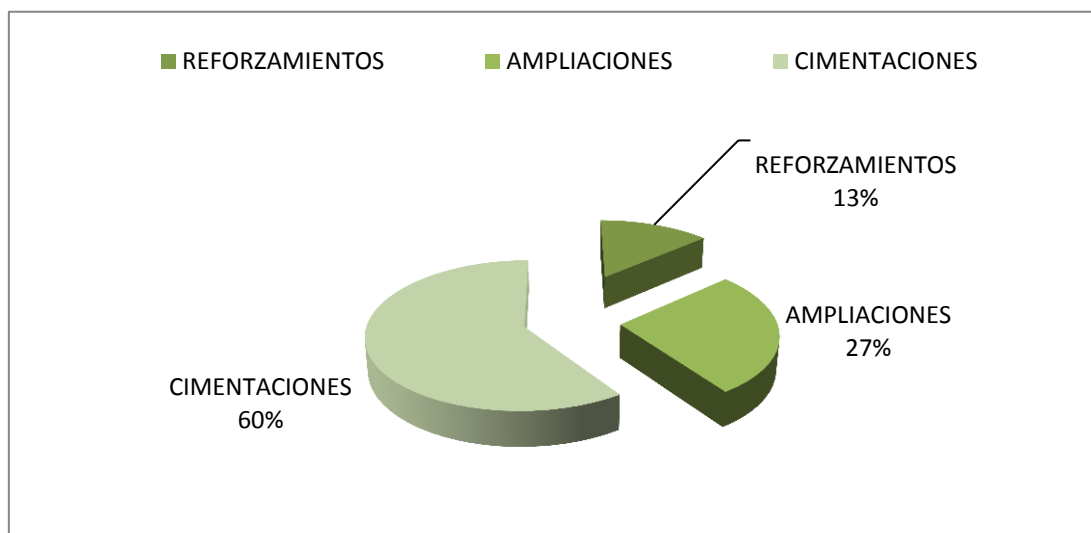
ANALISIS:

Del total de encuestados solo un porcentaje del 2% tiene conocimiento del método CCD, y un 98% no, lo que reafirma la falta de difusión de avances científicos en este tema.

PREGUNTA Nº 7

¿En base a su experiencia, cual es la utilización más frecuente de los sistemas de anclajes?

POBLACIÓN	MUESTRA	REFORZAMIENTOS	AMPLIACIONES	CIMENTACIONES	TOTAL
PROFESIONALES	94	16	28	50	94
ESTUDIANTES	62	5	14	43	62
TOTAL		21	42	93	156



13% CONTESTARON REFORZAMIENTOS
 27% CONTESTARON AMPLIACIONES
 60% CONTESTARON CIMENTACIONES

FUENTE: Encuesta CEE y ESPE 2010.
REALIZADO POR: Equipo de Investigadores

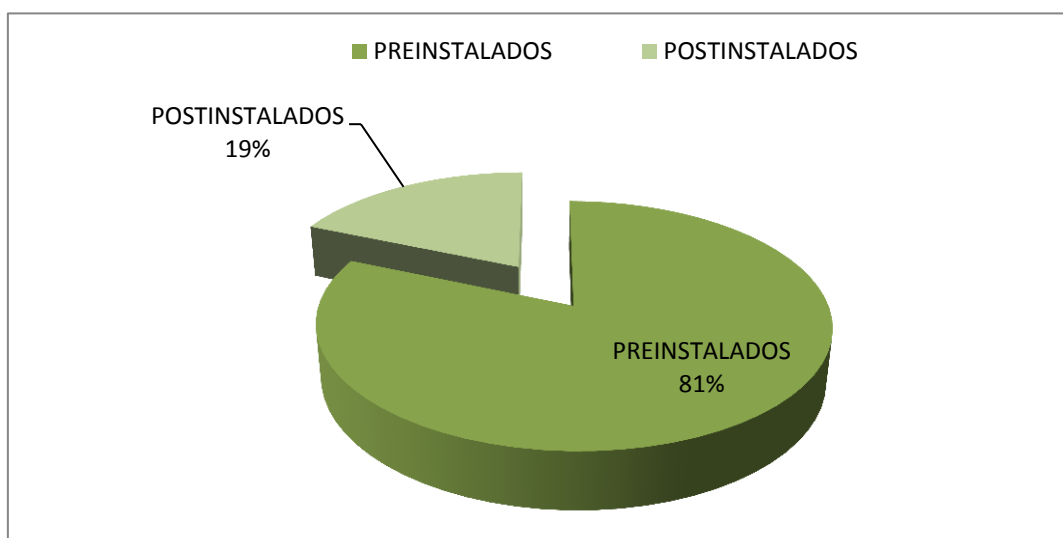
ANALISIS:

Con el 60% los encuestados consideran la utilidad más común de los sistemas de anclaje en cimentaciones, el 27% en ampliaciones a una estructura ya terminada, y un 13% los ve más útiles en reforzamientos de edificaciones.

PREGUNTA Nº 8

¿Dentro de la utilización de los anclajes, cuál diría usted que es el sistema más utilizado (Tipo)?

POBLACIÓN	MUESTRA	PREINSTALADOS	POSTINSTALADOS	TOTAL
PROFESIONALES	94	69	25	94
ESTUDIANTES	62	58	4	62
TOTAL		127	29	156



19% CONTESTARON POSTINSTALADOS
81% CONTESTARON PREINSTALADOS

*FUENTE: Encuesta CEE y ESPE 2010.
REALIZADO POR: Equipo de Investigadores*

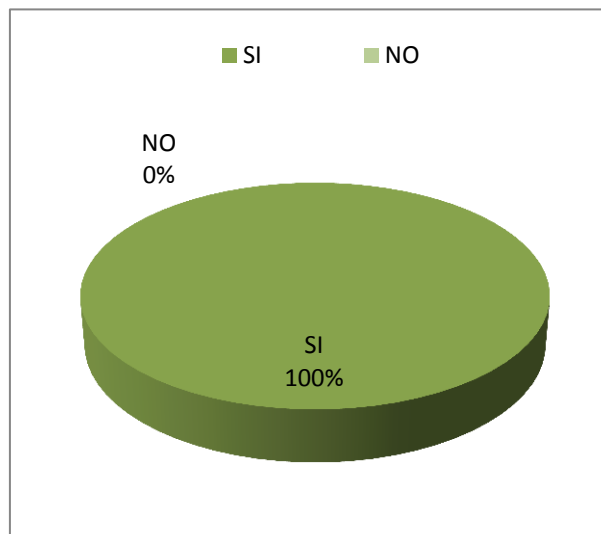
ANALISIS:

Del total de encuestados un 19% considera más frecuente la utilización de los sistemas postinstalados, y un 81% cree que los preinstalados son más comunes, lo que indica que la mayoría confía o tiene más conocimiento de los sistemas preinstalados, que como sabemos son los tradicionales que se utilizan.

PREGUNTA Nº 9

¿Desearía usted que alguien le proporcione más información acerca de esta tecnología para ampliar el espectro de utilización?

POBLACIÓN	MUESTRA	SI	NO	TOTAL
PROFESIONALES	94	94	0	94
ESTUDIANTES	62	62	0	62
TOTAL		156	0	156



100% CONTESTARON SI

0% CONTESTARON NO

FUENTE: Encuesta CEE y ESPE 2010.

REALIZADO POR: Equipo de Investigadores

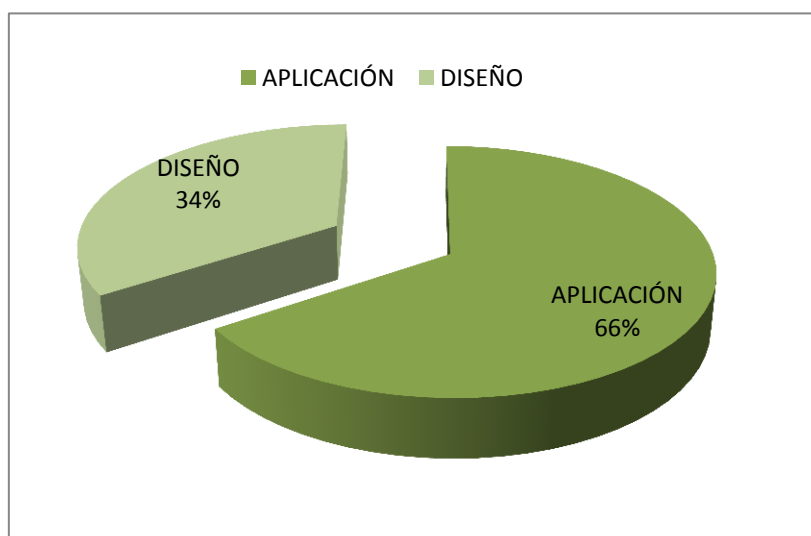
ANALISIS:

Del total de encuestados el 100%, consideran que se necesita más información acerca de los sistemas de anclaje.

PREGUNTA Nº 10

Si respondió afirmativamente a la pregunta 9, que tipo de información le interesaría más:

POBLACIÓN	MUESTRA	APLICACIÓN	DISEÑO	TOTAL
PROFESIONALES	94	78	14	92
ESTUDIANTES	62	23	39	62
TOTAL		101	53	154



66% CONTESTARON APLICACIÓN
34% CONTESTARON DISEÑO

FUENTE: Encuesta CEE y ESPE 2010.
REALIZADO POR: Equipo de Investigadores

ANALISIS:

El 66% de los encuestados considera más valiosa la información sobre la aplicación de los sistemas, y un 34% revela su preferencia por los conocimientos de diseño, de lo que se observa un interés mayoritario por la parte práctica, destacando que analizando segmentadamente los alumnos revelan una preferencia por la parte de cálculo.

CAPÍTULO V

5. PROGRAMA DE APLICACIÓN

5.1 Introducción

La búsqueda de la solución automatizada, eficaz y eficiente, que le permita al diseñador, encontrar respuesta a sus requerimientos de cálculo y diseño no enmarcado a una sola marca de anclajes, sino en las propiedades de los materiales, motivó la creación de este Software.

Este programa se elaboró bajo la plataforma del programa de Microsoft Excel, en donde se utilizaron las fórmulas, opciones y funciones que brinda esta hoja electrónica.

El cálculo se lo realiza con las ecuaciones y factores de corrección de carga del ACI 318-08, por resistencia de los materiales a las diferentes solicitaciones de carga, forma del concreto disponible en el sector del anclaje, y tipo de anclaje.

5.2 Características del Programa de Aplicación

El programa, muestra un menú de inicio (fig. 5.1) en donde el usuario debe escoger, entre ir a un pre dimensionamiento (fig. 5.2), o continuar con el cálculo.

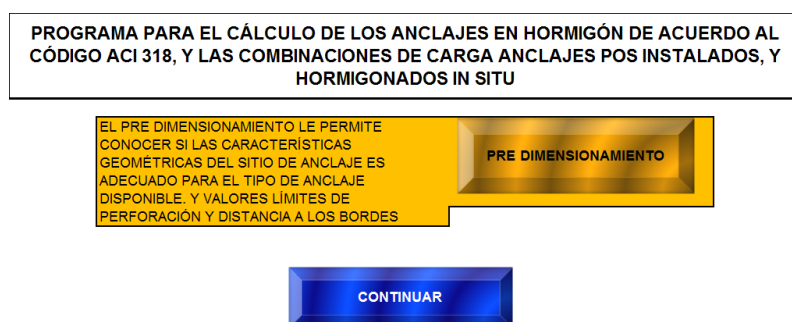


Figura 5.1 Menú inicial de presentación del programa

EMBEBIMIENTO MÁXIMO PERMITIDO
 INDIQUE LOS VALORES DEL ÁREA DE CONCRETO EN LA QUE NECESITA REALIZAR EL ANCLAJE

INGRESE LOS DATOS QUE SE PIDE A CONTINUACIÓN

L1 distancia al borde desde el anclaje

L2 distancia al borde desde el anclaje

H altura del hormigón

h_{ef} 23 analizada para sollicitación a tensión

PROFUNDIDAD MÁXIMA DE PERFORACIÓN DEL ANCLAJE CON RESPECTO AL C_{20}	PROFUNDIDAD DE ANCLAJE mm.
Anclaje con sobre perforación en la base	16
Anclaje de torsión controlada	10
Anclaje de desplazamiento controlado	10

DISTANCIA MÍNIMA REQUERIDA AL BORDE C_{20} DE ACUERDO AL h_{ef}	mm.
Anclaje con sobreperforación en la base	40
Anclaje de torsión controlada	64
Anclaje de desplazamiento controlado	64

PLANTA

VISTA LATERAL

REGRESAR AL INICIO

Figura 5.2 Pre dimensionamiento

Luego escogerá el tipo de anclaje que desea utilizar, y con esto se determina el coeficiente de reducción de resistencia Φ según sea el caso fig.5.3 a), fig.5.3 b)

FATOR Φ PARA REDUCCIÓN DE RESISTENCIAS SUGÚN COMBINACIONES DE CARGA DE ACI 318 CAPITULO 9

La condición A se aplica donde las superficies potenciales de falla del hormigón son atravesadas por refuerzo suplementario proporcionado para unir el prisma de falla potencial del hormigón al elemento estructural.

La condición B se aplica donde no se ha proporcionado ese refuerzo suplementario, o donde controla la resistencia a la extracción por deslizamiento o al desprendimiento por cabeceo del anclaje.

	CARGA DE TRACCIÓN	FUERZA CORTANTE			
		Anclajes postinstalados de acuerdo con las categorías de ACI 355.2			
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA DE ACERO DÚCTIL	0.75	0.65			
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA DE UN ELEMENTO DE ACERO FRÁGIL	0.65	0.60			
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA AL ARRANCAMIENTO, DESPRENDIMIENTO LATERAL, EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO O DESPRENDIMIENTO POR CABECEO DEL ANCLAJE	Pernos con cabeza, tornillos con cabeza o con gancho preinstalados	Categoría 1 (Baja sensibilidad a la instalación y confiabilidad alta)			
		Categoría 2 (Sensibilidad media a la instalación y confiabilidad mediana)			
		Categoría 3 (Alta sensibilidad y confiabilidad baja)			
A	0.75	0.75	0.75	0.65	0.55
B	0.70	0.70	0.65	0.55	0.45

Figura 5.3 a) Factor Φ para ACI 318 Cap. 9

FATOR Φ PARA REDUCCIÓN DE RESISTENCIAS SUGÚN COMBINACIONES DE CARGA DE ACI 318 CAPITULO 9

La condición A se aplica donde las superficies potenciales de falla del hormigón son atravesadas por refuerzo suplementario proporcionado para unir el prisma de falla potencial del hormigón al elemento estructural.

La condición B se aplica donde no se ha proporcionado ese refuerzo suplementario, o donde controla la resistencia a la extracción por deslizamiento o al desprendimiento por cabeceo del anclaje.

	CARGA DE TRACCIÓN	FUERZA CORTANTE			
		Anclajes postinstalados de acuerdo con las categorías de ACI 355.2			
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA DE ACERO DÚCTIL	0.80	0.75			
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA DE UN ELEMENTO DE ACERO FRÁGIL	0.70	0.65			
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA AL ARRANCAMIENTO, DESPRENDIMIENTO LATERAL, EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO O DESPRENDIMIENTO POR CABECEO DEL ANCLAJE	Pernos con cabeza, tornillos con cabeza o con gancho preinstalados	Categoría 1 (Baja sensibilidad a la instalación y confiabilidad alta)			
		Categoría 2 (Sensibilidad media a la instalación y confiabilidad mediana)			
		Categoría 3 (Alta sensibilidad y confiabilidad baja)			
A	0.85	0.85	0.85	0.75	0.65
B	0.75	0.75	0.75	0.65	0.55

Figura 5.3 b) Factor Φ para ACI 318 Apén. C

Se dispone de tres tipos de acciones de cálculo, dependiendo de las solicitaciones o los elementos con que se cuenta.



Se calcula el tipo de perno, que se requiere para una solicitación a tracción.



Con un perno seleccionado, y con una solicitación a tracción, se determina el valor límite del anclaje.



Con un perno seleccionado, con una solicitación a tracción y otra a cortante, se determina el valor límite del anclaje.

Cada hoja permite su impresión, en la que se observa una memoria de cálculo detallada que indica cómo se obtuvieron los valores de coeficientes, factores de reducción de capacidad de carga, y resultados de diseño.

5.3 Guía del Programa y Flujo grama

Para ejecutar el programa, se debe tener instalado necesariamente el programa de Microsoft Excel 2007 o superior.

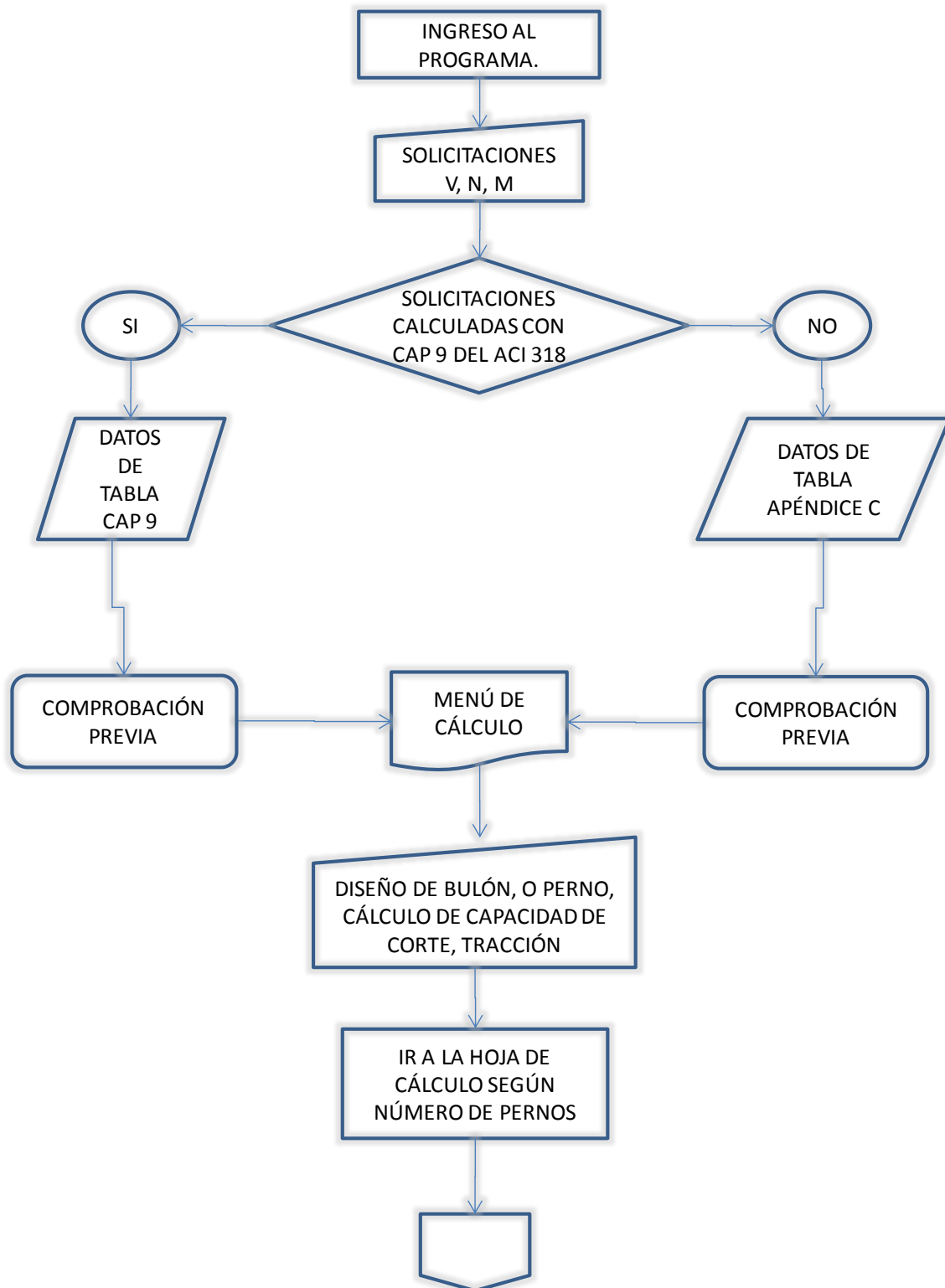
Pasos previos, copiar la carpeta "anclajes1.0" al escritorio de la computadora.

Abrir la carpeta y ejecutar el archivo PACAL_01.xlsx

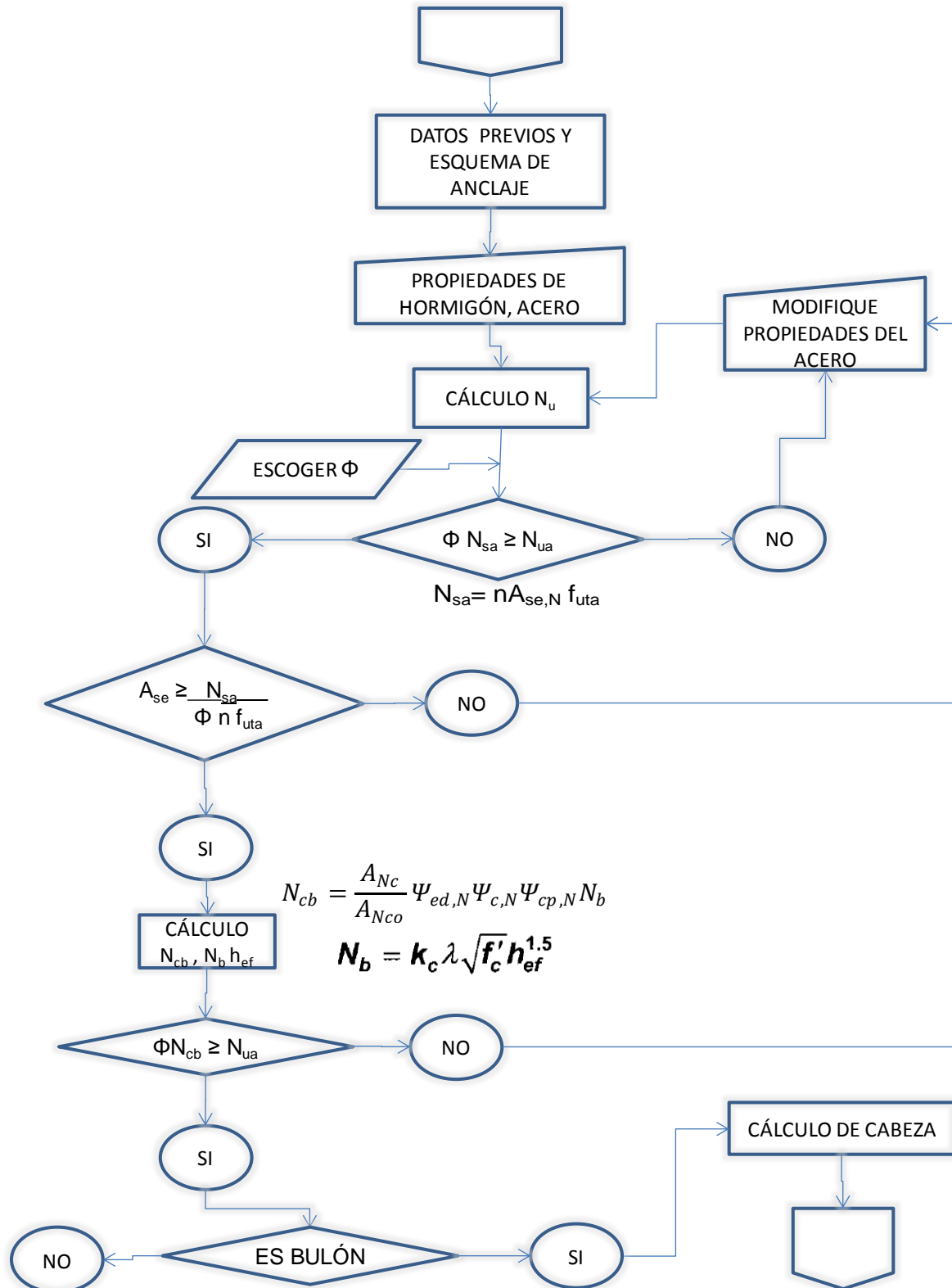
Y está listo para iniciar el cálculo

Se sigue el siguiente orden lógico para los diferentes cálculos

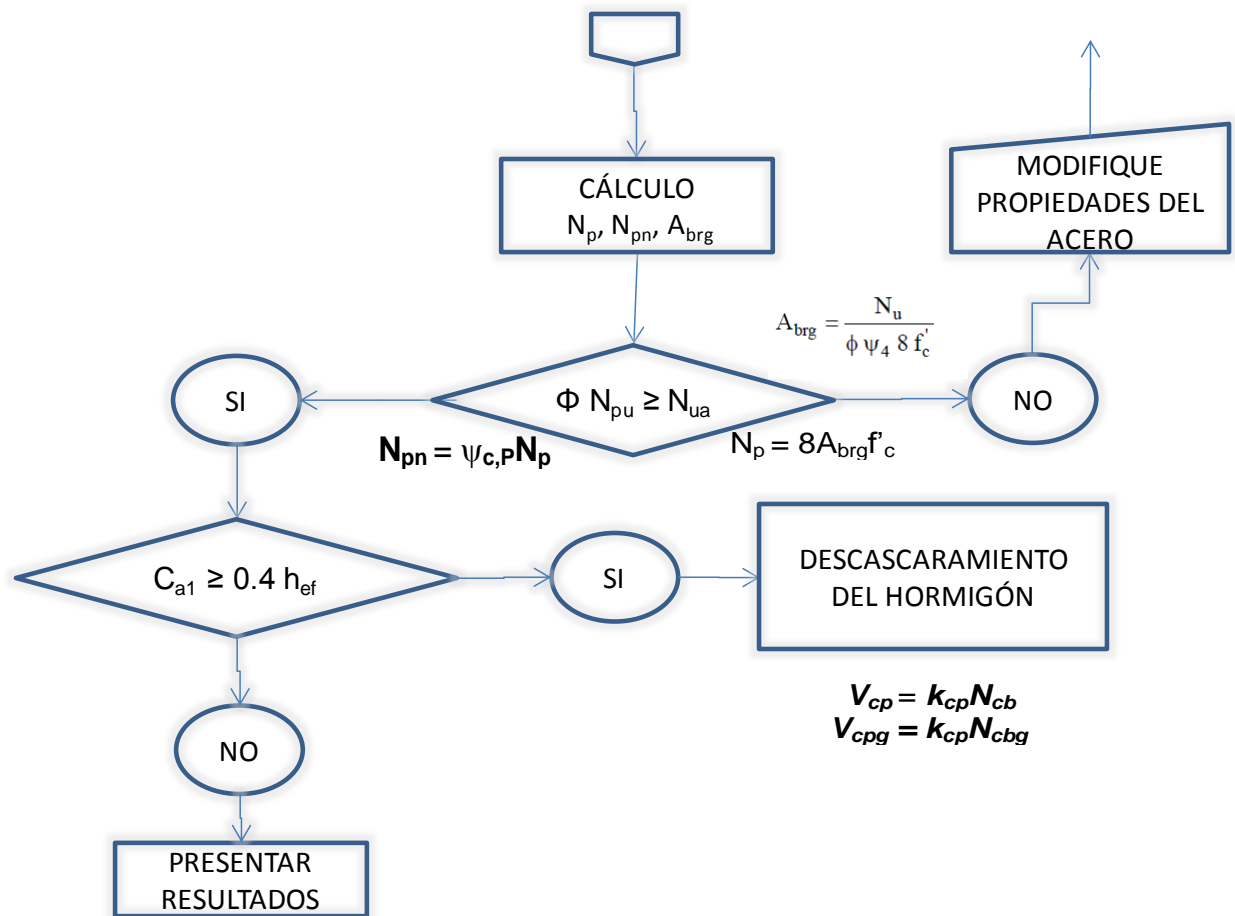
DIAGRAMA DE FLUJO



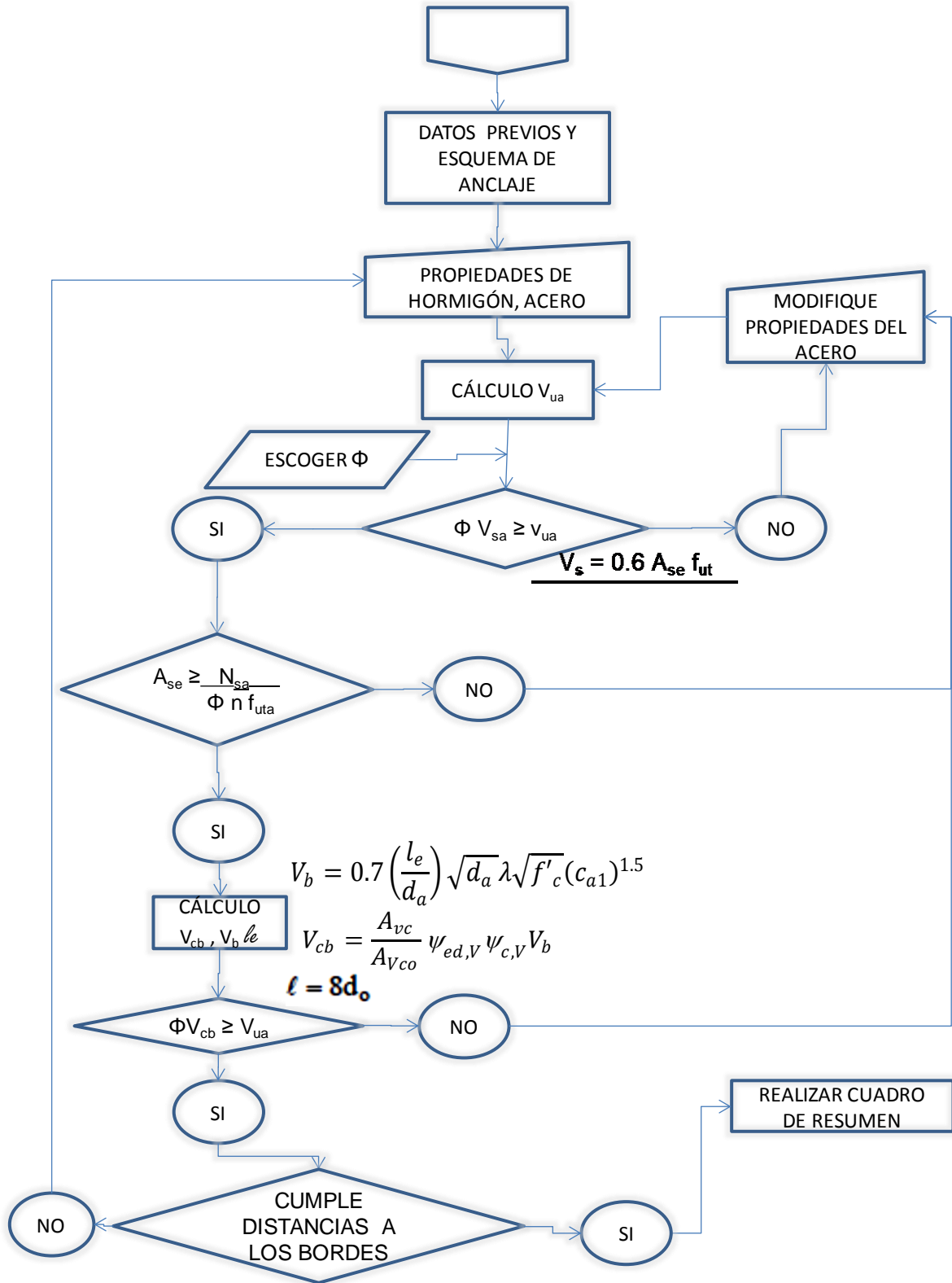
PARA UN PERNO



PARA UN BULÓN DE CABEZA



PARA UN PERNO PROXIMO A UN BORDE.



5.3.1 Datos de Ingreso

Se ingresará los datos en los cuadros de fondo amarillo, dependiendo de la opción seleccionada.

Combinaciones de carga utilizadas para el cálculo de carga última según ACI 318-08.

Tipo de anclaje a realizar.

Tipo de concreto (resistencia en kg/cm^2).

Tipo de acero (resistencia en kg/cm^2).

Dimensiones del área de anclaje en cm.

Separación a los bordes en cm.

Solicitud de carga a cortante (valor mayorado) (kg)

Solicitud de carga a tracción (valor mayorado) (kg)

Datos de los anclajes en pulgadas (in)

5.3.2 Criterios de Diseño

Se diseña en base a resultado más crítico obtenido del cálculo de la resistencia última de los materiales, para la solicitud de carga realizada.

5.3.3 Combinaciones de Carga y Factores de Reducción

Las combinaciones de carga, son determinadas previamente por el calculista, y las recomendadas por el ACI, se encuentran en el Capítulo 3 del presente trabajo.

Los factores de reducción Φ , son de la resistencia última de los materiales debido al tipo de anclaje.

Factor de reducción λ de acuerdo al tipo de concreto.

Factor de reducción Ψ de acuerdo al tipo de fuerza y ubicación de su aplicación en el sistema de anclaje.

5.3.4 Características de los Materiales

Se debe ingresar para el concreto:

Tipo de concreto, el mismo que puede ser fisurado o no fisurado. De lo cual varía el factor $\psi_{c,N}$.

Se ingresa si el concreto liviano o tiene agregados livianos

Normal $\lambda = 1$

Concreto liviano con arena normal $\lambda = 0.85$

Concreto liviano con arena normal $\lambda = 0.75$

Concreto con agregado liviano $\lambda = 0.85$

Si tiene acero de refuerzo o no, para realizar los cálculos se los ejecuta según la resistencia del acero de refuerzo.

Resistencia del concreto desde $f'_c = 180 \text{ kg/cm}^2$ hasta $f'_c 450 \text{ kg/cm}^2$

Dimensiones del bloque de concreto, no puede ser infinito se lo debe fijar.

Se debe ingresar para el acero:

Tipo de acero más común f_y acero dúctil 4080 kg/cm^2 .

Tipo del anclaje, para determinar el factor Φ para reducción de resistencias según combinaciones de carga del ACI 318

Dimensiones del acero del anclaje desde un Φ de 4 mm hasta un Φ de 60 mm.

Dimensiones del acero de refuerzo.

Ubicación del punto de aplicación del anclaje, en relación a los bordes del concreto, teniendo en cuenta las distancias mínimas del ACI 318

RECUBRIMIENTO		
CONCRETO NO PRESFORZADO ELABORADO INSITU		
ORD	TIPO DE CONCRETO	DISTANCIA mm.
1	CONCRETO COLOCADO CONTRA EL SUELO	75
2	CONCRETO EXPUESTO A LA INTEMPERIE PERNOS DEL 19mm A 57mm	50
3	CONCRETO EXPUESTO A LA INTEMPERIE PERNOS DEL 16mm O MENORES	40
4	CONCRETO LOSAS MUROS VIGUETAS NO EXPUESTO INTEMPERIE NI SUELO PERNOS 43mm. Y 57mm.	40
5	CONCRETO LOSAS MUROS VIGUETAS NO EXPUESTO INTEMPERIE NI SUELO PERNOS 36mm. Y MENORES	20
6	CONCRETO VIGAS COLUMNAS ARMADURA PRINCIPAL ESTRIBOS ESPIRALES	40
7	CONCRETO CÁSCARAS Y PLACAS PLEGADAS NO EXPUESTO INTEMPERIE NI SUELO PERNOS 19mm Y MAYORES	20
8	CONCRETO CÁSCARAS Y PLACAS PLEGADAS NO EXPUESTO INTEMPERIE NI SUELO PERNOS 16mm Y MENORES	13
CONCRETO NO PRESFORZADO ELABORADO INSITU		
9	CONCRETO COLOCADO CONTRA EL SUELO	75
10	CONCRETO EXPUESTO A LA INTEMPERIE PANELES DE MUROS, LOSAS, VIGUETAS	25
11	CONCRETO EXPUESTO A LA INTEMPERIE PERNOS OTROS ELEMENTOS	40
12	CONCRETO LOSAS MUROS VIGUETAS NO EXPUESTO INTEMPERIE NI SUELO	20
13	CONCRETO VIGAS COLUMNAS REFUERZO PRINCIPAL ESTRIBOS ESPIRALES	40
14	CONCRETO VIGAS COLUMNAS ESTRIBOS ESPIRALES	25
15	CONCRETO CÁSCARAS Y PLACAS PLEGADAS NO EXPUESTO INTEMPERIE NI SUELO PERNOS 16mm Y MENORES	10
16	CONCRETO CÁSCARAS Y PLACAS PLEGADAS NO EXPUESTO INTEMPERIE NI SUELO OTROS PERNOS	20
CONCRETO PREFABRICADO		
17	CONCRETO EXPUESTO AL SUELO O LA INTEMPERIE PANELES DE MUROS PERNOS 43mm Y 57mm	40
18	CONCRETO EXPUESTO AL SUELO O LA INTEMPERIE PANELES DE MUROS PERNOS 36mm Y MENORES	20
19	CONCRETO EXPUESTO AL SUELO O LA INTEMPERIE OTROS ELEMENTOS PERNOS 43mm Y 57mm	50
20	CONCRETO EXPUESTO AL SUELO O LA INTEMPERIE OTROS ELEMENTOS PERNOS 19mm AL 36mm	40
21	CONCRETO EXPUESTO AL SUELO O LA INTEMPERIE PANELES DE MUROS PERNOS 16mm Y MENORES	30

22	CONCRETO NO EXPUESTO AL SUELO O LA INTEMPERIE LOSAS MUROS VIGUETAS PERNOS 43mm Y 57mm	30
23	CONCRETO NO EXPUESTO AL SUELO O LA INTEMPERIE LOSAS, MUROS, VIGUETAS PERNOS 36mm Y MENORES	16
24	CONCRETO NO EXPUESTO AL SUELO VIGUAS Y COLUMNAS PERNOS DE 16mm A 40 mm	10
25	CONCRETO NO EXPUESTO AL SUELO CÁSCARAS Y LOSAS PLEGADAS PERNOS DE 19mm Y MAYORES	16
26	CONCRETO NO EXPUESTO AL SUELO CÁSCARAS Y LOSAS PLEGADAS PERNOS DE 16mm Y MENORES	10

5.3.5 Datos de Salida (Resultados)

Resistencias últimas del concreto. kg/cm^2

Carga máxima que resiste el cono de ruptura del concreto. kg

Resistencia última del acero, kg/cm^2

Carga máxima que resiste el sistema de anclaje. kg

5.4 Interpretación de Datos y Aplicación

El pre dimensionamiento nos da una noción de las posibilidades de anclaje de la pieza de concreto.

Los datos obtenidos nos dan las dimensiones del diámetro menor del acero, y de la resistencia última del concreto,

Permiten tener una idea clara de que áreas van a trabajar ante las solicitaciones de carga.

Permiten encontrar el equilibrio entre dimensión y costo, evitando un sobredimensionamiento innecesario ante la solicitud de carga para un anclaje.

CAPÍTULO 6

5. CONCLUSIONES:

6.1. MÉTODOS DE CÁLCULO:

El método de cálculo CCD que consta en el reglamento ACI 318S-08 con aplicación de un ángulo de falla de 35° permite obtener valores más seguros para ser aplicados dentro de una estructura, que a pesar de ser conservadores, consideran las diferentes variables constructivas que pueden afectar a los sistemas de anclajes instalados.

El cálculo de los sistemas de anclajes de acero al concreto por el método de 45° arroja valores demasiado cercanos al valor de resistencia última en los sistemas de anclajes postinstalados y superiores en el caso de los preinstalados ensayados en el presente trabajo, consideración por la que no se recomienda su utilización para el diseño.

La aplicación del método automatizado mediante el programa sugerido en el presente trabajo, aplica todos los coeficientes considerados en el ACI 318-08 evitando que se deje de lado algunos factores de reducción carga que podrían incurrir en una sobre estimación de capacidad del sistema de anclaje lo que afectaría a su seguridad.

6.2. CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS.

Los ensayos realizados tanto a materiales como a sistemas de anclajes se los realizó de acuerdo a la normativa vigente, los ensayos de las probetas según la normativa INEN 0109 para la tracción del acero, INEN 1573:2010 para la

resistencia a la compresión del hormigón y ACI 355-2 para las probetas de los anclajes mecánicos,, por lo que son una fuente confiable como datos de experimentación, obteniendo los siguientes resultados:

- a) Resistencia promedio a la compresión del hormigón f'_c de 361 Kg/cm².
- b) Resistencia a la tracción última del acero A36, superior a los 4080 Kg/cm² pero se utilizará el valor más bajo que acepta la NORMA ASTM F 1554.

Para la instalación de los anclajes en las probetas se empleó personal calificado de QUIFATEX, con la finalidad de obtener una baja sensibilidad en la instalación y alta confiabilidad durante los ensayos de resistencia a solicitaciones de tracción de los sistemas de anclaje efectuados en el presente trabajo.

6.3. ENCUESTAS Y ENTREVISTAS.

Los resultados obtenidos por las encuestas y entrevistas que abordaron las cuatro temáticas generales, corroboraron la problemática planteada inicialmente sobre la falta de conocimientos técnicos generales sobre sistemas de anclajes por parte de Ingenieros Civiles y estudiantes de esta carrera.

Por ser el Cuerpo de Ingenieros y la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE instituciones con un área de influencia nacional se pudo obtener datos de profesionales y alumnos provenientes de todas las regiones del país, asegurando la universalidad de la muestra, lo que aumenta el porcentaje de veracidad de los resultados obtenidos en las entrevistas y encuestas.

6.4. SOFTWARE

El empleo de un software que nos permite automatizar los procesos de diseño como el desarrollado, denominado PACAL_01, asegura la aplicación de toda la normativa analizada, ampliando el factor de seguridad entre el valor de resistencia de diseño y resistencia última del sistema de anclaje, justificado por el comportamiento heterogéneo de las diferentes variables en la construcción e instalación.

La presentación en pantalla del software permite el ingreso de datos para el cálculo de manera sencilla y práctica, logrando que el programa sea amigable y de fácil utilización por el usuario.

En la pantalla se presenta la memoria del proceso y sus respectivos resultados, permitiendo que el usuario, no solo maneje los valores finales, sino que observe el proceso y la manera de determinar los coeficientes que provee el ACI 318-08 para las diferentes capacidades de los anclajes y materiales.

6.5. GENERALES

El presente trabajo analizó y corroboró los nuevos estudios realizados para el cálculo, diseño y empleo óptimo de los sistemas de anclaje al concreto presentados en el Reglamento para Concreto Estructural del American Concrete Institute ACI 318S-08, ampliados en los estudios del Prof. Richard E. Klingner y del Prof. Rolf Eligehausen, tanto en sistemas fraguados en el concreto como de los instalados luego de fraguado; y se los difundirá mediante

el programa de aplicación PACAL_1 que permite su diseño empleando los conocimientos producto de este estudio, lo cual generará la necesidad de llevarlos a la experimentación y reglamentación por los organismos reguladores del medio de la construcción en el Ecuador como son el INEN y el Código Ecuatoriano de la Construcción.

El análisis de las diferentes normativas, estudios y trabajos propuestos por organismo como el ACI y el EUROCODIGO, por profesionales expertos como son los profesores Eligehausen R., Rainer Mallée y John Silva determinó que el método CCD propuesto en este proyecto, en base a un ángulo de falla de los sistemas de anclaje de 35 grados, arroja valores más seguros que los desarrollados por estudios anteriores, logrando obtener mayor confianza en la utilización de sistemas de anclajes en estructuras de pequeña y gran envergadura.

El presente trabajo es introductorio al tema de los anclajes, por lo que los conocimientos sobre este sistema constructivo se deben profundizar en cuanto a su comportamiento estructural y en la respuesta a cargas sísmicas de estos elementos.

Finalmente, el desarrollo del presente trabajo determinó la urgencia de una renovación de la presente normativa ecuatoriana con respecto a las nuevas tecnologías constructivas, ya que la globalización del mercado obliga a los profesionales a llenar estos vacíos con información y estudios que no han sido corroborados por las instituciones encargadas y por lo tanto su veracidad está sujeta al empleo de estas ya en la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

American Concrete Institute, “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario (ACI 318S-05)” Edit. Fundación Capitulo Ecuador ACI, Quito, (2007).

American Concrete Institute, “Anclajes al Concreto (ACI 355)” Edit. Fundación Capitulo Ecuador ACI, Quito, (2004).

Eligenhausen Rolf, “Anchorage in Concrete Construction”, Edit. Ernst & Sohn, 1ra. Ed., Alemania, (2006).

Cook, R.A., “Comportamiento y Diseño de Anclajes Múltiples de Acero dúctil para Uniones al Concreto”, Universidad de Texas, Austin (1989).

Balestrini Acuña Miriam, “Como se Elabora el Proyecto de Investigación”, Edit. Consultores Asociados, 7ma. Ed. , Caracas, (2006).

Baca Urbina Gabriel, “Evaluación de Proyectos” Edit. Mc GRAW-HILL, México, (1990).

<http://www.d-nb.de/eng/index.htm>, Biblioteca Nacional Alemana.

ANEXO "A"

CLASIFICACIÓN DE MÉTODOS Y SISTEMAS DE ANCLAJE



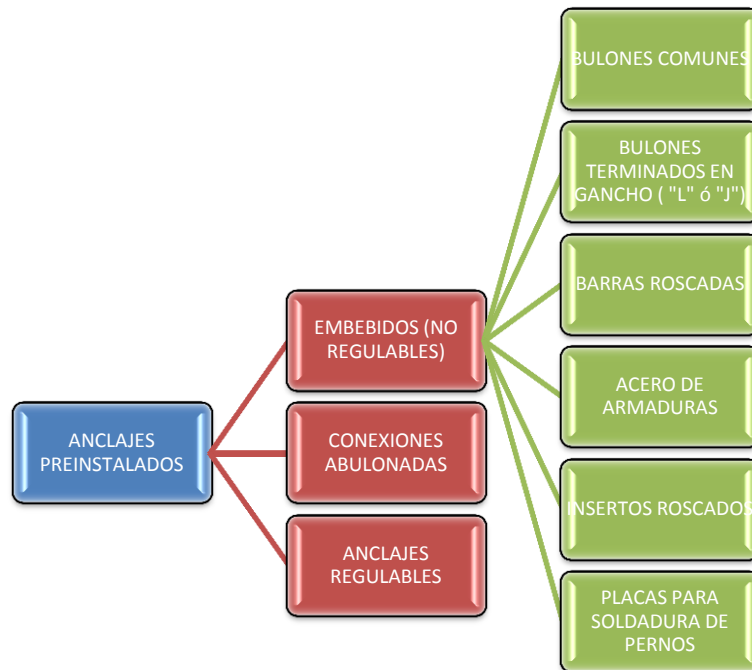
ANEXO "B"

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ANCLAJES



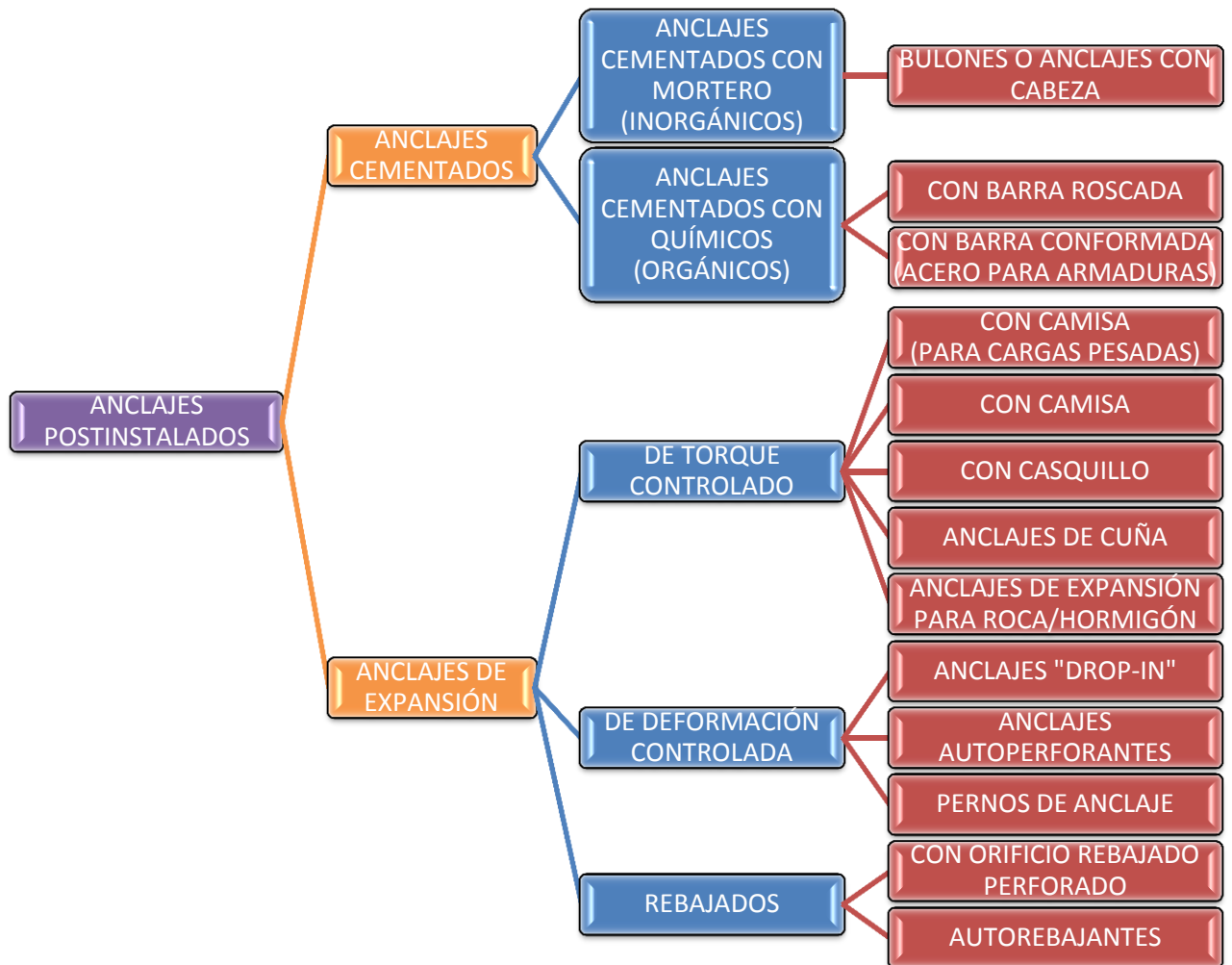
ANEXO "C"

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS PREINSTALADOS



ANEXO "D"

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS POSTINSTALADOS



ANEXO "E"**CUESTIONARIO DE ENCUESTA**
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**CUESTIONARIO**

A continuación tenemos un cuestionario que pretende, a través de preguntas de tipo cerrado y dicotómico, abordar el tema de los sistemas de anclajes en el Ecuador y su aplicación en el mercado de la construcción. Este consta de 10 preguntas encaminadas a recabar información de profesionales expertos en el diseño y utilización de anclajes como parte de una investigación de tesis sobre este tema desarrollada para la "Escuela Politécnica del Ejército".

Anticipamos nuestro agradecimiento por responder con la mayor sinceridad. De ser necesario ampliar alguna de las interrogantes, utilice las líneas adicionales colocadas después de cada una de ellas.

1. Cree usted que los sistemas de anclaje son una alternativa estructuralmente eficiente y económicamente rentable de utilizar?

SI NO

2. Los sistemas de anclajes, en base a su experiencia, son muy utilizados en el país?

SI NO

3. Cree usted que esta tecnología constructiva ha sido lo bastante difundida en el mercado de la construcción del Ecuador?

SI NO

4. Cree usted que el Código Ecuatoriano de la Construcción debería abordar este tema, como lo han hecho ya otros códigos internacionales?

SI NO

5. Para la utilización de los sistemas de anclajes usted utiliza métodos propios de diseño o emplea datos de fabricantes especializados en la materia?

METODO PROPIO

FABRICANTE

CUÁL:

6. Conoce usted el método de diseño CCD para sistemas de anclaje?

SI NO

OTRO:

7. En base a su experiencia, cual es la utilización más frecuente de los sistemas de anclajes?

REFORZAMIENTOS AMPLIACIONES CIMENTACIONES

OTROS:

8. Dentro de la utilización de los anclajes, cuál diría usted que es el sistema más utilizado (Tipo)?

PREINSTALADOS POSTINSTALADOS

9. Desearía usted que alguien le proporcione más información acerca de esta tecnología para ampliar el espectro de utilización?

SI NO

10. Si respondió afirmativamente a la pregunta 9, que tipo de información le interesaría más:

APLICACIÓN DISEÑO

¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!

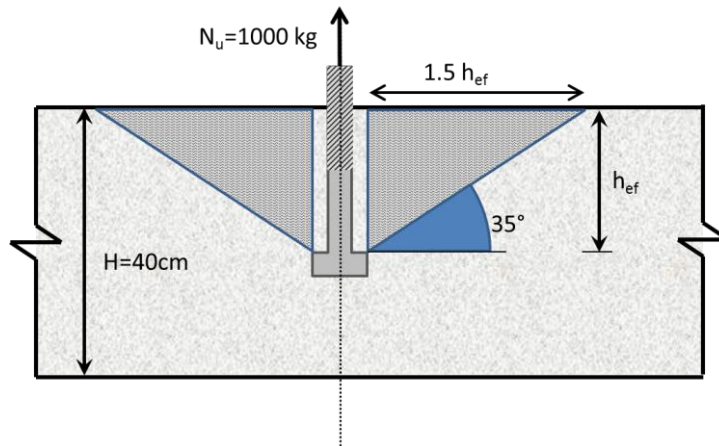
ANEXO "F"

EJERCICIOS PRÁCTICOS

CÁLCULO DE UN SISTEMA DE ANCLAJE CON UN SOLO PERNO

Diseñar un bulón de acero A36 con cabeza, preinstalado en una plataforma con una losa de concreto sin refuerzo en la sección de instalación con un $f'c$ de 350 kg/cm^2 y una altura de 40 cm. que soportará a tracción una carga última de 1000 kg. calculada según las combinaciones de carga del capítulo 9 del ACI-318.08

$N_u = 1000 \text{ kg}$.



$$\Phi N_{sa} \geq N_{ua}$$

Se usa la tabla 3.1 para determinar el valor de Φ

	CARGA DE TRACCIÓN		FUERZA CORTANTE	
	I	II	I	II
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA DE ACERO DÚCTIL	0.75	0.80	0.65	0.75

ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA AL ARRANCAMIENTO, DESPRENDIMIENTO LATERAL, EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO O DESPRENDIMIENTO POR CABECEO DEL ANCLAJE	A	0.65		0.70		0.60				0.65			
		I		II		I		II		I		II	
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA AL ARRANCAMIENTO, DESPRENDIMIENTO LATERAL, EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO O DESPRENDIMIENTO POR CABECEO DEL ANCLAJE	B	0.75		0.85		0.75		0.85		0.65		0.75	
		I		II		I		II		I		II	
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA AL ARRANCAMIENTO, DESPRENDIMIENTO LATERAL, EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO O DESPRENDIMIENTO POR CABECEO DEL ANCLAJE	A	0.75		0.85		0.75		0.85		0.65		0.75	
		I		II		I		II		I		II	
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA AL ARRANCAMIENTO, DESPRENDIMIENTO LATERAL, EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO O DESPRENDIMIENTO POR CABECEO DEL ANCLAJE	B	0.70		0.75		0.70		0.75		0.65		0.75	
		I		II		I		II		I		II	

$\Phi = 0.75$

$$N_{sa} = n A_{se} f_{uta}$$

$$n = 1$$

$$A_{se} = \frac{N_{ua}}{\Phi n f_{uta}}$$

$f_{uta} = 4080 \text{ kg/cm}^2$

$$A_{se} = \frac{1000}{0.75 * 1 * 4080}$$

$A_{se} = 0.296 \text{ cm}^2$

De la tabla de aceros, se toma el $A_{se} \geq A_{se}$ calculado

ORD	Diámetro del anclaje (do) (mm.)	Área bruta del anclaje (cm ²)	Área efectiva del anclaje (A _{se}) (cm ²)
1	6.35	0.32	0.21
2	9.53	0.71	0.50
3	12.70	1.26	0.92
4	15.88	1.98	1.46
5	19.05	2.85	2.15

6	22.23	3.88	2.98
7	25.40	5.06	3.91
8	28.58	6.41	4.92
9	31.75	7.92	6.25
10	34.93	9.58	7.48
11	38.10	11.40	9.10
12	44.45	15.52	12.26
13	50.80	20.27	16.13

De donde el A_{se} de la tabla elegido es el de 0.50cm^2 que corresponde a un perno de diámetro 9.53 mm. que es $\approx 3/8$ in.

Se determina la longitud de empotramiento (h_{ef}) requerida en base al desprendimiento del hormigón del anclaje.

$$N_{cb} = \frac{A_{nc}}{A_{nco}} \Psi_{ed,N} \Psi_{c,N} \Psi_{cp} N_b$$

$$N_b = k_c \lambda \sqrt{f'_c} h_{ef}^{1.5}$$

$$h_{ef} = \left(\frac{N_{ua}}{\Phi \Psi_{c,N} k_c \sqrt{f'_c}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$h_{ef} = \left(\frac{1000}{0.7 * 1 * 10 \sqrt{350}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$h_{ef} = 7.636^{\frac{2}{3}}$$

$$h_{ef} = 3.877 \text{ cm.}$$

A continuación se determina el tamaño de la cabeza:

$$\Phi N_{pn} \geq N_{ua}$$

En todos los casos para la tracción se utiliza

$$\Phi = 0.7$$

$$N_{pn} = \Psi_{c,P} N_p$$

$$A_{brg} = \frac{N_{ua}}{\Phi \psi_{c,p} 8 f'_c}$$

$$A_{brg} = \frac{1000}{0.7 * 1 * 8 * 350}$$

$$A_{brg} = \frac{1000}{0.7 * 1 * 8 * 350}$$

$$A_{brg} = 0.51 \text{ cm}^2$$

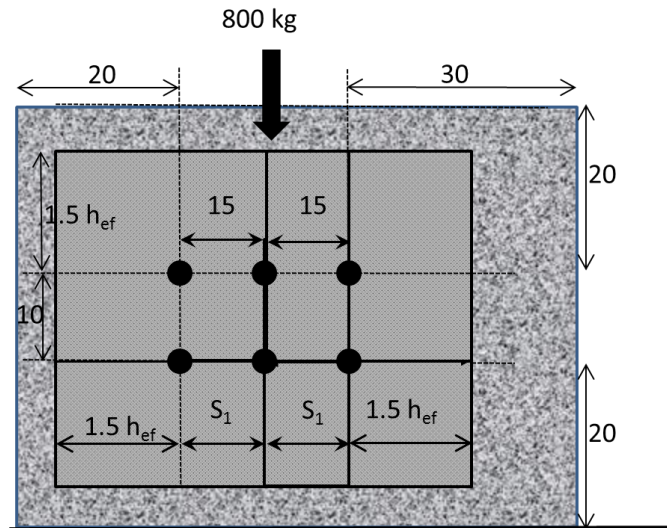
Comparamos con la tabla de pernos

	Diámetro del anclaje (do) (in.)	Diámetro del anclaje mm.	Área efectiva del anclaje (Ase) (cm ²)	Superficie de apoyo de las cabezas y tuercas (A _{brg}) (cm ²)			
				Cuadrada	Cuadrada pesada	Hexagonal	Hexagonal pesada
1	0.250	6.35	0.21	0.92	1.30	0.75	1.08
2	0.375	9.53	0.50	1.81	2.34	1.06	1.93
3	0.500	12.70	0.92	2.99	3.67	1.88	3.01
4	0.625	15.88	1.46	4.47	5.30	2.93	4.33
5	0.750	19.05	2.15	5.32	7.23	4.22	5.88
6	0.875	22.23	2.98	7.23	9.45	5.75	7.66
7	1.000	25.40	3.91	9.45	11.97	7.50	9.68
8	1.125	28.58	4.92	11.96	14.78	9.50	11.94
9	1.250	31.75	6.25	14.37	17.89	11.72	14.43
10	1.375	34.93	7.48	17.86	21.29	14.19	17.15
11	1.500	38.10	9.10	21.26	24.99	16.88	20.12
12	1.750	44.45	12.26				26.74
13	2.000	50.80	16.13				34.30

Como las áreas de la superficie de apoyo son mayores a la requerida se puede utilizar cualquier tipo de cabeza.

CÁLCULO DE UN SISTEMA DE ANCLAJE CON UN GRUPO DE PERNOS

Comprobar si un sistema de anclaje con un grupo de 6 pernos de acero A36 Φ 0.5 in y de 10 cm. de largo que se empotrarán 8 cm. y serán postinstalados por personal de mediana confiabilidad en una columna de concreto de 50 x 80 cm. con $f'c$ 350 kg/cm², en donde el refuerzo de acero es suplementario, este sistema de anclaje debe soportar una sollicitación concéntrica cortante última de 800 kg. ortogonal al eje mayor, calculada según las combinaciones de carga del CEC-2000, con la siguiente distribución:



Se determina la resistencia del sistema para la carga y verificamos el valor de Φ en la tabla 3.1:

	CARGA DE TRACCIÓN		FUERZA CORTANTE	
	I	II	I	II
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA DE ACERO DÚCTIL	0.75	0.80	0.65	0.75

ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA AL ARRANCAMIENTO, DESPRENDIMIENTO LATERAL, EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO O DESPRENDIMIENTO POR CABECEO DEL ANCLAJE	A	0.65		0.70		0.60				0.65			
		I		II		I		II		I		II	
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA AL ARRANCAMIENTO, DESPRENDIMIENTO LATERAL, EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO O DESPRENDIMIENTO POR CABECEO DEL ANCLAJE	B	0.75		0.85		0.75		0.85		0.65		0.75	
		I		II		I		II		I		II	
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA AL ARRANCAMIENTO, DESPRENDIMIENTO LATERAL, EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO O DESPRENDIMIENTO POR CABECEO DEL ANCLAJE	A	0.70		0.75		0.70		0.75		0.65		0.75	
		I		II		I		II		I		II	
ANCLAJE CONTROLADO POR LA RESISTENCIA AL ARRANCAMIENTO, DESPRENDIMIENTO LATERAL, EXTRACCIÓN POR DESLIZAMIENTO O DESPRENDIMIENTO POR CABECEO DEL ANCLAJE	B	0.75		0.85		0.75		0.85		0.65		0.75	
		I		II		I		II		I		II	

Se toma el valor de Φ que corresponde al de fuerza cortante para el acero:

$$\Phi V_{sa} = \Phi n 0.6 A_{se} f_{uta}$$

$$\Phi = 0.65$$

$$V_{ua} = 0.65 * 6 * 0.92 * 4080$$

$$V_{ua} = 13512.96 \text{ kg.}$$

Se calcula V_b :

$$V_b = 1.9 \left(\frac{l_o}{d_c} \right)^{0.2} \sqrt{d_a} \lambda \sqrt{f'c} (c_{a1})^{1.5}$$

$$V_b = 1.9 * (8 * 1.27 / 1.27)^{0.2} * \sqrt{1.27} * 1 * \sqrt{350} * 20^{1.5}$$

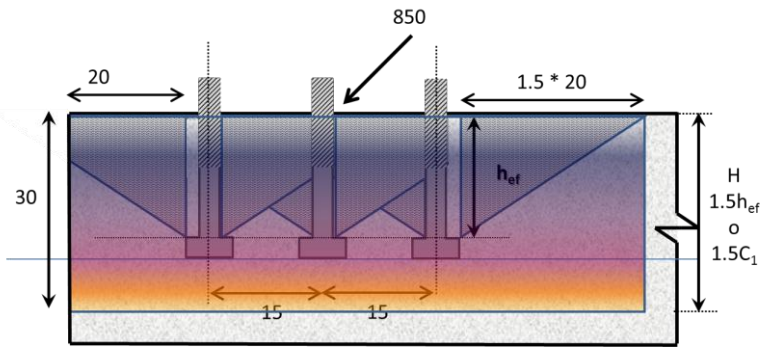
$$V_b = 5430.66 \text{ kg.}$$

$$\Psi_{ec,V} = 1$$

$$\Psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}} \text{ si } c_{a2} < 1.5c_{a1}$$

$$\Psi_{ed,V} = 0.9$$

$$\Psi_{c,V} = 1.4 \text{ para anclajes postinstalados.}$$



$$A_{Vc} = 30 \cdot (20 + 30 + 1.5 \cdot 20)$$

$$A_{Vc} = 2400 \text{ cm}^2$$

$$A_{Vco} = 4.5 \cdot 20^2$$

$$A_{Vco} = 1800 \text{ cm}^2$$

$$nA_{Vco} = 5400 \text{ (Donde } n \text{ es } 3)$$

$$A_{Vc} \leq nA_{Vco}$$

$$2400 \text{ cm}^2 \leq 5400 \text{ cm}^2$$

Si cumple la condición.

$$V_{cbg} = \frac{A_{vc}}{A_{Vco}} \Psi_{ec,V} \Psi_{ed,V} \Psi_{c,V} V_b$$

$$V_{cbg} = \frac{2400}{1800} 1 \cdot 0.9 \cdot 1.4 \cdot 5430.66$$

$$V_{cbg} = 9123.51 \text{ kg}$$

$$\phi V_{cbg} \geq V_{ua}$$

$$9123.51 \text{ kg.} \leq 13512.96 \text{ kg.}$$

Si cumple la condición, el sistema resiste la carga solicitada.

BIOGRAFÍA DE LOS AUTORES

CAPT. MARCO GEOVANNY ÁLVAREZ SILVA

Nace un 2 de Mayo de 1977 en la ciudad de Quito, hijo de la Sra. Gloria María Silva Silva y del Sr. Ing. Carlos Ángel Álvarez Montalvo. Sus estudios primarios los curso en el Colegio “Cardenal Spellman”, y los secundarios en el Colegio Militar “Eloy Alfaro” de la capital. En el año de 1995 ingresa a la Escuela Superior Militar “Eloy Alfaro” donde luego de cuatro años de formación se gradúa de Subteniente del Ejército Ecuatoriano, institución en la cual actualmente ostenta el grado de Capitán del Arma de Ingeniería.

CAPT. LOZA ANDRADE JUAN CARLOS

Nace un 16 de Diciembre de 1978 en la ciudad de Quito, hijo de la Sra. Enma Albina Andrade Albuja y del Sr. José Germán Loza Ortega. Sus estudios primarios los curso en la Unidad Educativa “Borja 3”, y los secundarios en el Colegio Municipal Experimental “Sebastián de Benalcázar”. En el año de 1996 ingresa a la Escuela Superior Militar “Eloy Alfaro” donde luego de cuatro años de formación se gradúa de Subteniente del Ejército Ecuatoriano, institución en la cual actualmente ostenta el grado de Capitán del Arma de Ingeniería.

DECLARACIÓN

Nosotros: **CAPT. MARCO GEOVANNY ÁLVAREZ SILVA** y **CAPT. JUAN CARLOS LOZA ANDRADE**, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que este no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional; y, que se han consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica del Ejército, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

**MARCO G. ALVAREZ S.
CAPT. DE E.**

**LOZA A. JUAN CARLOS.
CAPT. DE E.**