

4. CONSTRUCCION

4.1. DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE MATERIAL

Con base en las seis armaduras de estudio tipo Warren Invertido y sus correspondientes refuerzos, se determinaron las cantidades de obra requeridas en cada una de las estructuras elaboradas, teniendo en cuenta:

- ❖ La cantidad de Guadua que se utilizó tanto en el cordón superior como en el inferior para todos los modelos, corresponden a la sumatoria de las luces de cada elemento correspondiente a cada cordón mas una sección de apoyo (0.30 m) en cada extremo del cordón superior, y en el cordón inferior una sección de agarre (0.15 m) en los nudos 5 y 7 según se muestra en la Figura N° 49. Así, los cordones tanto superior como inferior, fueron construidos de manera continua y con un solo tallo cada uno, siendo los límites de cada elemento proporcionados por los pasadores y sus refuerzos según sea el caso.
- ❖ Como se determina en el Figura N° 49, en los modelos 1, 2 y 3, los elementos diagonales deben tener una sección adicional (0.15 m) de agarre en cada uno de sus nudos.
- ❖ Los elementos diagonales de los modelos 4, 5 y 6 no deben tener sección de agarre en los nudos y sus luces se determinan según el Figura N° 50.
- ❖ Por la dificultad de establecer un volumen total de los cañutos a rellenar con mortero en cada uno de los modelos, se estimó un consumo de cemento total de 100 kg, con una relación en peso cemento-agregado fino 1:3 y una relación en peso agua-cemento 0.45:1.

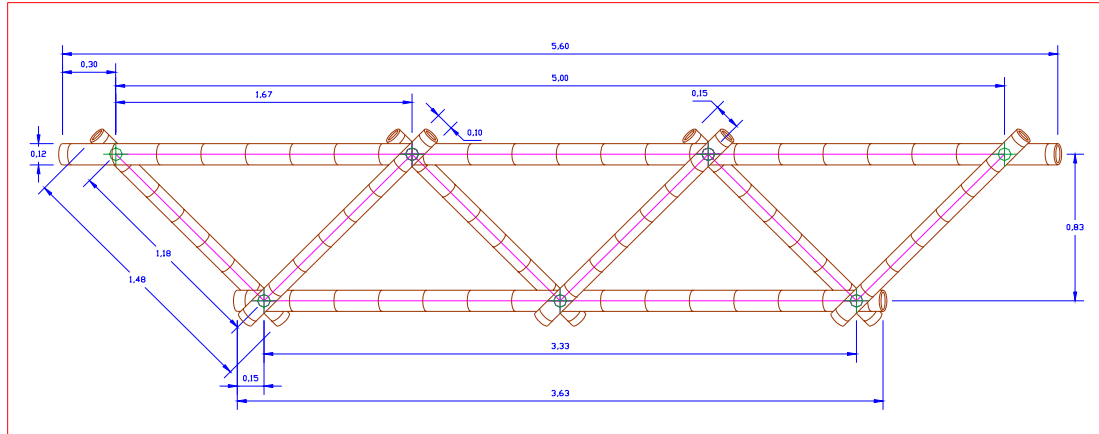


FIGURA Nº 49. Armaduras modelo 1, 2 y 3.

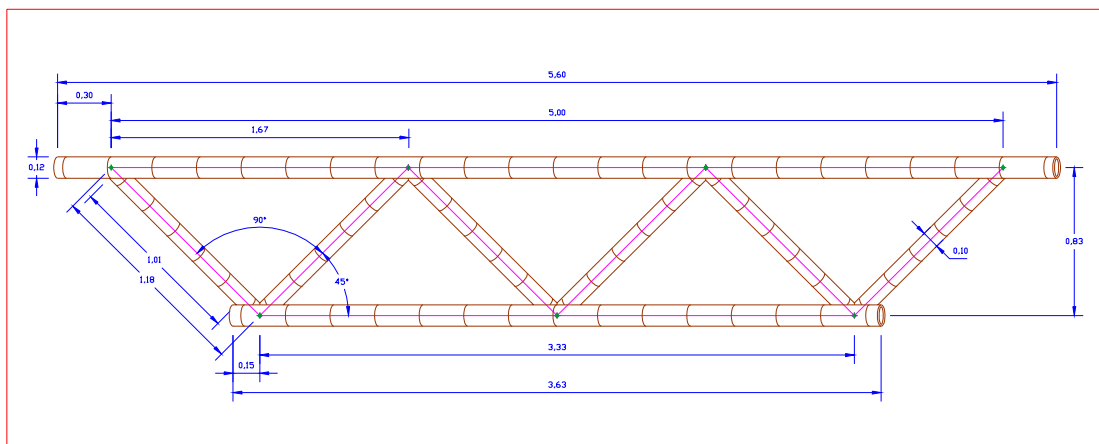


FIGURA Nº 50. Armaduras modelo 4, 5 y 6.

De esta manera, el análisis de cantidades de obra requerido para cada modelo, es:

MODELO 1. ARMADURA TIPO WARREN INVERTIDO CON UNION TIPO SIMON VELEZ

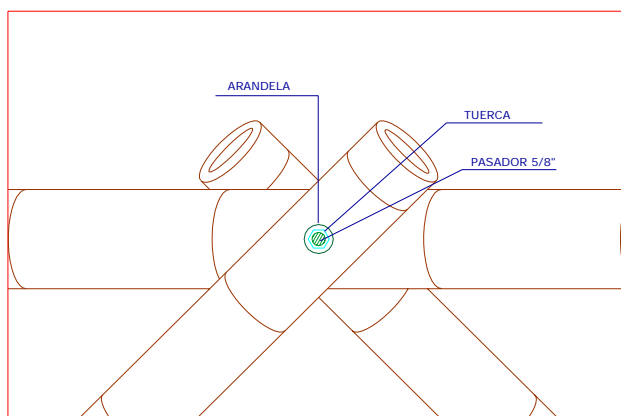


FIGURA N° 51. Detalle unión tipo Simón Vélez.

GUADUA			
Sección	Cantidad	Longitud (m)	
Cordón Superior	1	5.60	
Cordón Inferior	1	3.65	
Elementos Diagonales	6	1.50	
TOTAL LONGITUD GUADUA (Cordones)		9.25	
TOTAL LONGITUD GUADUA (Diagonales)		9.00	
UNIONES			
Nudo	Nº Pasadores	Nº Tuercas	Nº Arandelas
1	1	2	2
2	1	2	2
3	1	2	2
4	1	2	2
5	1	2	2
6	1	2	2
7	1	2	2
TOTAL	7	14	14

TOTAL CANTIDADES DE OBRA		
Material	Unidad	Cantidad
Guadua con diámetros entre 0.10 y 0.12 m.	m	9.25
Guadua con diámetros entre 0.08 y 0.10 m.	m	9.00
Pasadores roscados 5/8", L = 0.40 m.	Un	7
Tuercas para pasador 5/8".	Un	14
Arandelas para pasador 5/8".	Un	14

TABLA N° 33. Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo Simón Vélez.

MODELO 2. ARMADURA TIPO WARREN INVERTIDO CON UNION TIPO MECANICA MODIFICADA

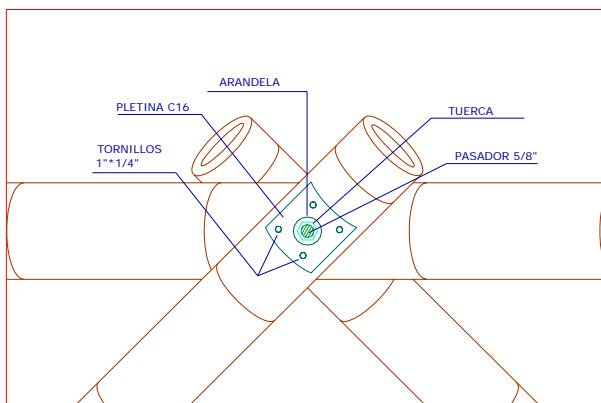


FIGURA N° 52. Detalle unión tipo mecánica modificada.

GUADUA					
Sección	Cantidad			Longitud (m)	
Cordón Superior	1			5.60	
Cordón Inferior	1			3.65	
Elementos Diagonales	6			1.50	
TOTAL LONGITUD GUADUA (Cordones)				9.25	
TOTAL LONGITUD GUADUA (Diagonales)				9.00	
UNIONES					
Nudo	N° Pletinas	N° Tornillos	N° Pasadores	N° Tuercas	N° Arandelas
1	4	16	1	2	2
2	6	24	1	2	2
3	6	24	1	2	2
4	4	16	1	2	2
5	6	24	1	2	2
6	6	24	1	2	2
7	6	24	1	2	2
TOTAL	38	152	7	14	14

TOTAL CANTIDADES DE OBRA		
Material	Unidad	Cantidad
Guadua con diámetros entre 0.10 y 0.12 m.	m	9.25
Guadua con diámetros entre 0.08 y 0.10 m.	m	9.00
Pletinas calibre 16, (0.08 * 0.08) m.	Un	38
Tornillos 1" * ¼", G3, cabeza hexagonal.	Un	152
Pasadores roscados 5/8", L = 0.40 m.	Un	7
Tuercas para pasador 5/8".	Un	14
Arandelas para pasador 5/8".	Un	14

TABLA N° 34. Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo mecánica modificada.

MODELO 3. ARMADURA TIPO WARREN INVERTIDO CON UNION TIPO ABRAZADERA

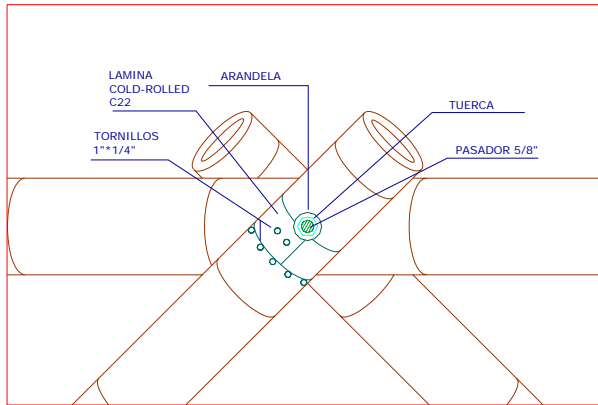


FIGURA N° 53. Detalle unión tipo abrazadera.

GUADUA						
Sección		Cantidad			Longitud (m)	
Cordón Superior		1			5.60	
Cordón Inferior		1			3.65	
Elementos Diagonales		6			1.50	
TOTAL LONGITUD GUADUA (Cordones)					9.25	
TOTAL LONGITUD GUADUA (Diagonales)					9.00	
UNIONES						
Nudo	N° Lámina	N° Tornillos	N° T. G.	N° Pasadores	N° Tuercas	N° Arandelas
1	3	42	6	1	2	2
2	4	56	8	1	2	2
3	4	56	8	1	2	2
4	3	42	6	1	2	2
5	4	56	8	1	2	2
6	4	56	8	1	2	2
7	4	56	8	1	2	2
TOTAL	26	364	52	7	14	14

TOTAL CANTIDADES DE OBRA		
Material	Unidad	Cantidad
Guadua con diámetros entre 0.10 y 0.12 m.	m	9.25
Guadua con diámetros entre 0.08 y 0.10 m.	m	9.00
Lámina cold-rolled calibre 22	Un	26
Tornillos 1" * ¼", G3, cabeza hexagonal.	Un	364
T. G. = Tornillos Golosos	Un	52
Pasadores roscados 5/8", L = 0.40 m.	Un	7
Tuercas para pasador 5/8".	Un	14
Arandelas para pasador 5/8".	Un	14

TABLA N° 35. Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo abrazadera.

MODELO 4. ARMADURA TIPO WARREN INVERTIDO CON UNION TIPO PLETINAS

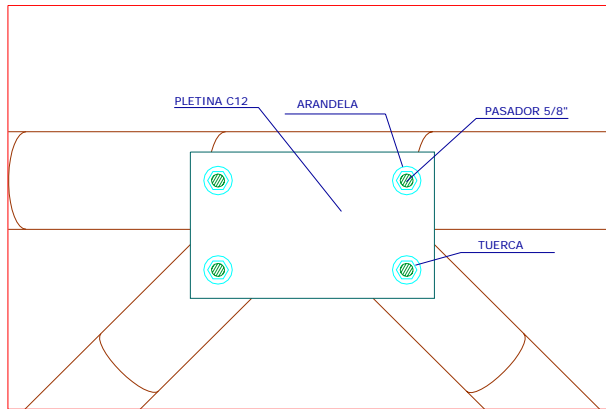


FIGURA N° 54. Detalle unión tipo pletinas.

GUADUA				
Sección	Cantidad	Longitud (m)		
Cordón Superior	1	5.60		
Cordón Inferior	1	3.65		
Elementos Diagonales	6	1.13		
TOTAL LONGITUD GUADUA (Cordones)		9.25		
TOTAL LONGITUD GUADUA (Diagonales)		6.78		
UNIONES				
Nudo	N° Pletinas	N° Pasadores	N° Tuercas	N° Arandelas
1	2*	3	6	6
2	2	4	8	8
3	2	4	8	8
4	2*	3	6	6
5	2	4	8	8
6	2	4	8	8
7	2	4	8	8
TOTAL	14	26	52	52

TOTAL CANTIDADES DE OBRA		
Material	Unidad	Cantidad
Guadua con diámetros entre 0.10 y 0.12 m.	m	9.25
Guadua con diámetros entre 0.08 y 0.10 m.	m	6.78
Pletinas calibre 12, (0.18 * 0.30) m.	Un	10
*Pletinas triangulares calibre 12, b = 0.21 m y h = 0.21 m.	Un	4
Pasadores roscados 5/8", L = 0.20 m.	Un	26
Tuercas para pasador 5/8".	Un	52
Arandelas para pasador 5/8".	Un	52

TABLA N° 36. Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo pletinas.

MODELO 5. ARMADURA TIPO WARREN INVERTIDO CON UNION TIPO ANCLAJE

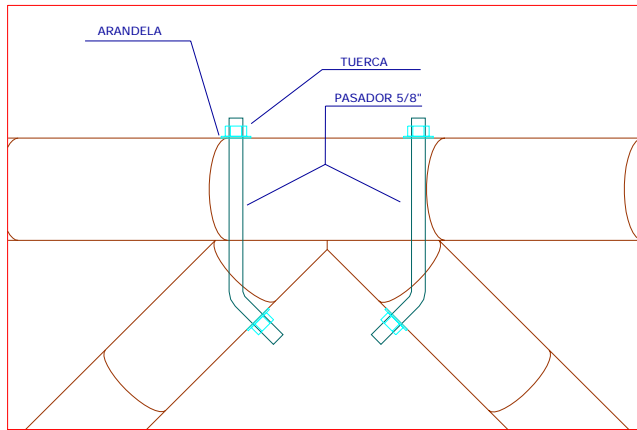


FIGURA N° 55. Detalle unión tipo anclaje.

GUADUA			
Sección	Cantidad	Longitud (m)	
Cordón Superior	1	5.60	
Cordón Inferior	1	3.65	
Elementos Diagonales	6	1.13	
TOTAL LONGITUD GUADUA (Cordones)		9.25	
TOTAL LONGITUD GUADUA (Diagonales)		6.78	
UNIONES			
Nudo	N° Pasadores	N° Tuercas	N° Arandelas
1	1	2	2
2	2	4	4
3	2	4	4
4	1	2	2
5	2	4	4
6	2	4	4
7	2	4	4
TOTAL	12	24	24

TOTAL CANTIDADES DE OBRA		
Material	Unidad	Cantidad
Guadua con diámetros entre 0.10 y 0.12 m.	m	9.25
Guadua con diámetros entre 0.08 y 0.10 m.	m	6.78
Pasadores roscados 5/8", L = 0.27 m.	Un	12
Tuercas para pasador 5/8".	Un	24
Arandelas para pasador 5/8".	Un	24

TABLA N° 37. Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo anclaje.

MODELO 6. ARMADURA TIPO WARREN INVERTIDO CON UNION TIPO ANCLAJE AXIAL

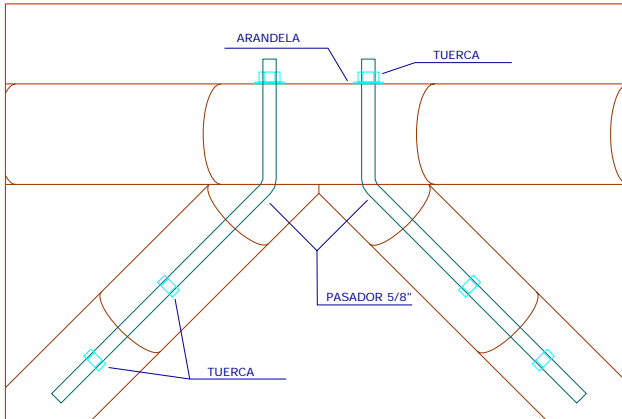


FIGURA N° 56. Detalle unión tipo anclaje axial.

GUADUA			
Sección	Cantidad	Longitud (m)	
Cordón Superior	1	5.60	
Cordón Inferior	1	3.65	
Elementos Diagonales	6	1.13	
TOTAL LONGITUD GUADUA (Cordones)		9.25	
TOTAL LONGITUD GUADUA (Diagonales)		6.78	
UNIONES			
Nudo	N° Pasadores	N° Tuercas	N° Arandelas
1	1	1	1
2	2	2	2
3	2	2	2
4	1	1	1
5	2	2	2
6	2	2	2
7	2	2	2
TOTAL	12	12	12

TOTAL CANTIDADES DE OBRA		
Material	Unidad	Cantidad
Guadua con diámetros entre 0.10 y 0.12 m.	m	9.25
Guadua con diámetros entre 0.08 y 0.10 m.	m	6.78
Pasadores roscados 5/8", L = 0.50 m.	Un	12
Tuercas para pasador 5/8".	Un	12
Arandelas para pasador 5/8".	Un	12

TABLA N° 38. Cantidades de obra para armadura tipo Warren Invertido con unión tipo anclaje axial.

Con base en las anteriores estimaciones de material, las cantidades de obra totales para el desarrollo del proyecto se observan en la Tabla N° 39:

TOTAL CANTIDADES DE OBRA		
Material	Unidad	Cantidad
Guadua con diámetros entre 0.10 y 0.12 m.	M	55.50
Guadua con diámetros entre 0.08 y 0.10 m.	M	47.34
Pasadores roscados 5/8", L = 0.50 m.	Un	12
Pasadores roscados 5/8", L = 0.40 m.	Un	21
Pasadores roscados 5/8", L = 0.27 m.	Un	12
Pasadores roscados 5/8", L = 0.20 m.	Un	26
Lámina cold-rolled calibre 22	Un	26
Pletinas calibre 16, (0.08 * 0.08) m.	Un	38
Pletinas calibre 12, (0.18 * 0.30) m.	Un	10
Pletinas triangulares calibre 12, b = 0.21 m y h = 0.21 m.	Un	4
Tornillos 1" * 1/4", G3, cabeza hexagonal.	Un	516
T. G. = Tornillos Golosos	Un	52
Tuercas para pasador 5/8".	Un	130
Arandelas para pasador 5/8".	Un	130
Cemento	Kg	100
Agregado Fino	Kg	300
Agua	Lt	45

TABLA N° 39. Cantidades de obra totales.

Además, se debe tener en cuenta los equipos y herramientas necesarios para la consecución eficaz de las armaduras. En la Tabla N° 40, se describen los elementos necesarios para este fin:

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		
Material	Unidad	Cantidad
Acolilladora Protech	Un	1
Taladro industrial Bosch	Un	1
Broca para madera 5/8"	Un	1
Broca espada para madera 3/4"	Un	1
Broca espada para madera 1 1/8"	Un	1
Broca para madera 1/8"	Un	2
Broca para metal 5/8"	Un	1
Broca para metal 1/4"	Un	1
Disco abrasivo 8"	Un	2
Juego de llaves de copa Stanley	Un	1
Juego de pala, balde y palustre	Un	2
Flexometro	Un	1
Alicate	Un	1
Equipo de limpieza (grata y estopa)	Un	3
Lija de lona	Un	2
Equipo de seguridad (overol, guantes y Gafas protectoras)	Un	2
ACPM	Gl	1

TABLA N° 40. Equipos y herramientas.

4.2. COMPRA DE MATERIAL

Con base en el cuadro de cantidades de obra, se estimó la cantidad de material necesario teniendo en cuenta un porcentaje de desperdicio para cada ítem, según sea el caso. De esta forma, se determinaron las cantidades necesarias para la ejecución del proyecto, las cuales se encuentran estipuladas en la Tabla N° 41.

CANTIDADES DE OBRA NECESARIAS				
Material	Unidad	Cantidad	Factor Desperd.	Cantidad Total
Guadua con diámetros entre 0.10 y 0.12 m.	m	56	2.00	112
Guadua con diámetros entre 0.08 y 0.10 m.	m	48	2.00	96
Pasadores roscados 5/8", L = 0.50 m.	Un	12	1.00	12
Pasadores roscados 5/8", L = 0.40 m.	Un	21	1.00	21
Pasadores roscados 5/8", L = 0.27 m.	Un	12	1.00	12
Pasadores roscados 5/8", L = 0.20 m.	Un	26	1.00	26
Lámina cold-rolled calibre 22	Un	26	1.10	29
Pletinas calibre 16, (0.08 * 0.08) m.	Un	38	1.00	38
Pletinas calibre 12, (0.18 * 0.30) m.	Un	10	1.00	10
Pletinas triangulares calibre 12, b = 0.21 m y h = 0.21 m.	Un	4	1.00	4
Tornillos 1" * ¼", G3, cabeza hexagonal.	Un	516	1.05	540
T. G. = Tornillos Golosos	Un	52	1.05	55
Tuercas para pasador 5/8".	Un	130	1.05	137
Arandelas para pasador 5/8".	Un	130	1.05	137
Cemento	Kg	100	1.00	100
Agregado Fino	Kg	300	1.00	300
Agua	Lt	45	1.00	45

TABLA N° 41. Cantidades de obra necesarias.

Los precios de los materiales y de los equipos se muestran en la Tabla N° 42.

COSTOS DE MATERIAL Y EQUIPOS DE OBRA				
Material	Unidad	Cantidad	Vr Unid. (\$)	Valor Total
Guadua (0.10 - 0.12) m.	m	112	750	84000
Guadua (0.08 - 0.10) m.	m	96	750	72000
Pasador 5/8", L = 0.50 m.	Un	12	2700	32400
Pasador 5/8", L = 0.40 m.	Un	21	2200	46200
Pasador 5/8", L = 0.27 m.	Un	12	1500	18000
Pasador 5/8", L = 0.20 m.	Un	26	1100	28600
Lámina cold-rolled C.22	Un	29		
Pletinas C.16, (0.08 * 0.08) m.	Un	38	350	13300
Pletinas C.12, (0.18 * 0.30) m.	Un	10	3600	36000
Pletinas triangulares C.12, b = 0.21 m y h = 0.21 m.	Un	4	3500	14000
Tornillos 1" * 1/4", G3.	Un	540	80	43200
T. G. = Tornillos Golosos	Un	55	22	1210
Tuercas.	Un	137	60	8220
Arandelas.	Un	137	30	4100
Cemento	Kg	100	360	36000
Agregado Fino	Kg	300	130	39000
Agua	Lt	45	2	90
Flexometro Red Line	Un	1	12500	12500
Alicate Red Line	Un	1	18000	18000
Juego de Copas Stanley	Un	1	70000	70000
Disco Abrasivo 8"	Un	2	5900	11800
Equipo de Limpieza	Un	3	4000	12000
Equipo de Seguridad	Un	2	35000	70000

TABLA N° 42. Costos de material y equipos de obra.

4.3. SELECCIÓN DE LA GUADUA

En la selección de la Guadua se presentaron dos tiempos de clasificación, el primero en campo, bodega o lugar de compra y el segundo en obra o lugar de construcción, debido a la diferencia de criterios de selección en cada uno de los momentos; en otras palabras, en el lugar de compra se clasificó la Guadua visualmente y en el lugar de obra se seleccionó la Guadua estructuralmente.

4.3.1. Clasificación Visual Por Defectos¹

Se considera como un defecto cualquier irregularidad o imperfección que afecte las propiedades físicas y mecánicas del material.

El objetivo de esta clasificación es limitar la presencia de defectos para obtener un material de características garantizadas.

- ❖ Defectos relativos a la constitución anatómica:
 - ✓ Se considera como defecto cuando la guadua ha sido atacada y presenta pudrición; la parte siguiente a la corteza, denominada albura, es susceptible a estos ataques.
 - ✓ La desviación angular que puedan presentar los elementos constitutivos de la guadua, con respecto al eje longitudinal de la vara.
- ❖ Defectos relativos al ataque de agentes biológicos:
 - ✓ Mancha: Cambio de color de la guadua producido por hongos que descomponen la estructura leñosa.
 - ✓ Perforaciones grandes: Son agujeros mayores a 0.003 metros producidos por insectos o larvas perforadoras.
 - ✓ Perforaciones pequeñas: Son agujeros menores o iguales a 0.003 metros producidos por insectos o larvas perforadoras.
 - ✓ Pudrición: Descomposición en la cual la guadua pierde parte de sus propiedades mecánicas y sufre cambios de color debido al ataque de los hongos.
- ❖ Defectos originados en el transporte y almacenamiento de la guadua:
 - ✓ Rajadura: Separación de los elementos constitutivos de la guadua que se extienden en dirección del eje longitudinal de la vara afectando totalmente el espesor de la misma
- ❖ Defectos originados durante el secado:
 - ✓ Alabeo: Deformación que puede sufrir una vara de guadua por la curvatura de su eje longitudinal.
 - ✓ Colapso: Reducción de las dimensiones de la guadua que ocurre durante el proceso de secado por encima del punto de saturación de la fibra y que se debe a un aplastamiento de sus cavidades celulares. Frecuentemente se observa un corrugado en la superficie de la corteza.
 - ✓ Grieta: Separación de los elementos constitutivos de la guadua cuyo desarrollo no alcanza a afectar todo el espesor de la pieza de guadua.
 - ✓ Rajadura: Separación de los elementos constitutivos de la guadua que se extienden en dirección del eje longitudinal de la vara afectando totalmente el espesor de la misma
 - ✓ Torcedura: Alabeo simultaneo en las direcciones longitudinal y transversal.
- ❖ Control de defectos:
 - ✓ Constitución anatómica
 - Los defectos relativos a la constitución anatómica de una vara de guadua no son controlables debido a que son características propias

¹ AIS ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SÍSMICA. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Título G. Bogota D.C.

de la especie. Son características de crecimiento que al habilitar las piezas de guadua alteran su comportamiento estructural.

- ✓ Ataques biológicos
 - Los defectos relativos al ataque de los agentes biológicos son controlables a su debido tiempo como cualquier infección. Se cuenta con la ayuda de preservantes hidrosolubles y oleosolubles en el mercado.
- ✓ Transporte y almacenamiento de la guadua
 - Estos defectos son ocasionados por lo general por deficiencias manuales o mecánicas durante dichas operaciones. Se controlan fácilmente teniendo en cuenta la mano de obra calificada y el buen mantenimiento de la maquinaria.
- ✓ Secado
 - Generalmente los defectos originados en secado son ocasionados por deficiencias en el sistema de apilado y almacenamiento de las piezas al secarse o por un mal programa de secado al horno. Se controlan teniendo en cuenta que en el apilado se presente una buena ventilación.

4.3.2. Clasificación Visual Estructural

Debido a que la Guadua es diferente en su conformación física a lo largo del tallo, es importante clasificar la Guadua inicialmente en grupos de acuerdo con sus diámetros, tamaños y funciones (elementos superiores, inferiores o diagonales).

Estructuralmente se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- ❖ Separar las Guaduas cilíndricas más derechas y gruesas para la conformación de los cordones superiores e inferiores.
- ❖ Seleccionar las Guaduas delgadas para las diagonales.
- ❖ Eliminar las Guaduas que tengan curvaturas y las Guaduas con secciones cónicas para ser utilizadas en los cordones.
- ❖ Clasificar las Guaduas con paredes más gruesas para ser asignadas a los elementos con esfuerzos mayores diseño.

4.4. PROCESO CONSTRUCTIVO

4.4.1. Selección De La Guadua

Los 206 metros de Guadua fueron distribuidos de la siguiente manera:

- ❖ 12 varas de 6 metros con diámetros exteriores entre 0.10 y 0.12 metros.

- ❖ 8 varas de 6 metros con diámetros exteriores entre 0.08 y 0.10 metros.
- ❖ 12 varas de 4 metros con diámetros exteriores entre 0.10 y 0.12 metros.
- ❖ 10 varas de 4 metros con diámetros exteriores entre 0.08 y 0.10 metros.

Se escogieron 6 tallos de 6 metros con diámetros exteriores entre los 0.10 y 0.12 metros, para conformar los cordones superiores de las 6 armaduras; 6 varas de 4 metros con diámetros exteriores entre los 0.10 y 0.12 metros que se adaptaron a los cordones inferiores de las armaduras.

Estas Guaduas debían ser rectas, sin curvaturas y con sección homogénea a lo largo del tallo. Estructuralmente debían tener paredes gruesas para resistir adecuadamente las solicitaciones de carga.

Posteriormente se buscaron Guaduas con diámetros exteriores entre los 0.08 y 0.10 metros, que conformaron los elementos diagonales.

A la Guadua utilizada, se le efectuó una clasificación visual por defectos y una clasificación visual estructural, conforme se mencionó en el capítulo 4.3.

4.4.2. Tratamiento

La guadua seleccionada fue sometida a una preservación, que depende del uso al cual esta destinada y de su exposición tanto a agentes físicos como biológicos.

La Guadua destinada para la ejecución de este proyecto estuvo protegida a corto plazo, tanto del agua como de insectos y plagas en su lugar de almacenaje², sin embargo, la Guadua seleccionada para la construcción de las armaduras tuvo una corta vida útil (entre 3 y 4 meses), por lo cual se le aplicó un tratamiento superficial con aceite, específicamente con ACPM.

Para llevar a cabo este proceso, en primer lugar se limpió la totalidad de los tallos de: tierra, polvo, y fibras naturales y/o vegetales que no conforman la estructura de la Guadua, bien sea de la cepa, la basa o la sobrebasa, con la ayuda de gratas. El operario debe protegerse con guantes y debe efectuar la limpieza con movimientos perpendiculares en los nudos y movimientos transversales en los cañutos o entrenudos. Por último se limpió la Guadua superficialmente con lonas o telas gruesas.

Posteriormente, por medio de una estopa empapada en ACPM, se impregnó esta sustancia a toda la superficie de la Guadua.

Con este método se protegió la Guadua de ataques de insectos y abrasiones por agentes físicos.

² Laboratorios del Instituto de Extensión e Investigaciones. Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá D.C.

4.4.3. Corte

Cuando el proceso de tratamiento y preservación ha finalizado, es aconsejable reposar las Guaduas verticalmente durante 2 o 3 días con el fin de no manipular las varas mientras que el ACPM penetra en las fibras de la Guadua.

El corte de las secciones de Guadua es idéntico en las 6 armaduras con respecto a los cordones superiores e inferiores.

En primer lugar se marcaron los límites de corte, con respecto a las cotas que estipulan los planos. En los cordones superiores se buscó que los tabiques de los dos extremos queden lo suficientemente distanciados de cada extremo del cordón, para poder rellenar estos cañutos con mortero axialmente, sin afectar las paredes de la Guadua, con el fin de evitar el aplastamiento en los apoyos en el momento de efectuar la prueba de carga; y lo suficientemente cerca de las paredes para que el primer tabique ubicado de las paredes hacia la parte central de el cordón, no afecte la posición del (los) pasador(es) en el nudo y su correspondiente estructura de refuerzo.

Este mismo criterio se tuvo en cuenta para los nudos interiores del cordón superior, nudo N° 2 y nudo N° 3.

Similarmente se ejecutó la misma operación para determinar los límites de corte en el cordón inferior.

Los elementos diagonales son diferentes en los modelos 1, 2 y 3 con respecto a los modelos 4, 5 y 6.

En los elementos diagonales correspondientes a los modelos 1, 2 y 3 se indicó la línea de corte, a una longitud total de 1.48 metros por elemento, teniendo en cuenta que los ejes de los nudos en estos elementos se encuentran a 0.15 metros de los extremos, así, se escogieron secciones en las cuales coincidían tabiques externos (primer tabique a cada lado del elemento), adecuadamente posicionados lejos de la sección de refuerzo y lejos también del extremo de la pieza, para reducir la cantidad de mortero confinado si el modelo lo requiere, en otras palabras, se marcaron secciones de Guadua con diámetros externos entre los 0.08 y 0.10 metros, generando una luz de 1.48 metros, en la cual se encuentren tabiques externos a una distancia de 0.08 a 0.12 metros de los bordes. (Figura N° 57).

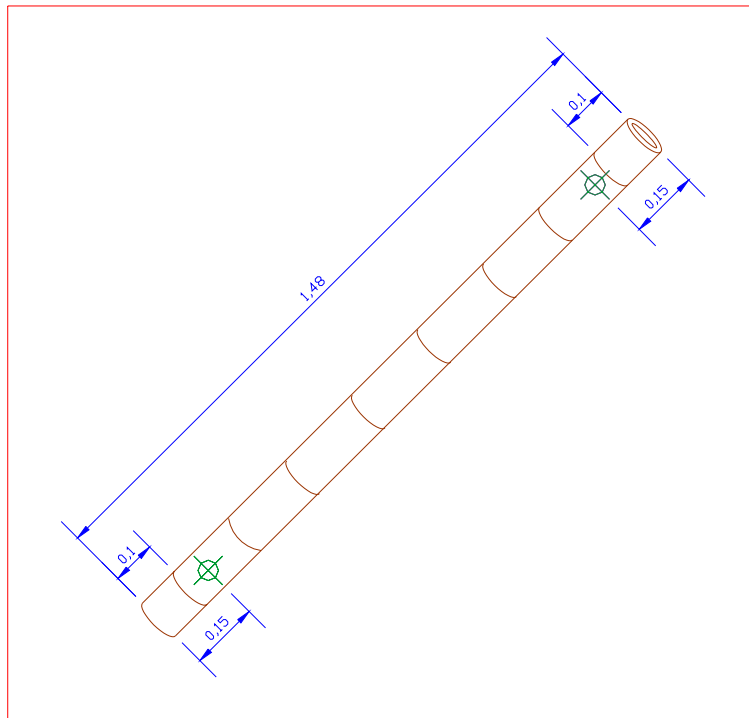


FIGURA N° 57. Detalle elemento diagonal correspondiente a los modelos 1, 2 y 3.

Las marcas o líneas guías de corte de los elementos diagonales respectivas a los modelos 4, 5 y 6, se indicaron a una longitud de 1.13 metros para hacerse un corte perpendicular al eje longitudinal de la vara; posteriormente se efectuaron cortes a 45 grados en los extremos, siendo estos paralelos; dichos cortes se hicieron a partir del borde generando longitudes iguales a 1.03 metros entre los cortes inclinados con el fin de pulir los extremos de las secciones para generar una "boca de pescado" adecuada. Este último requerimiento se llevó a cabo en un torno, y se utilizaron aproximadamente 0.02 metros de Guadua.

También se buscaron elementos en los cuales los tabiques externos quedaran lo más cerca posible al borde interno de cada extremo, tal como se indica en la Figura N° 58.

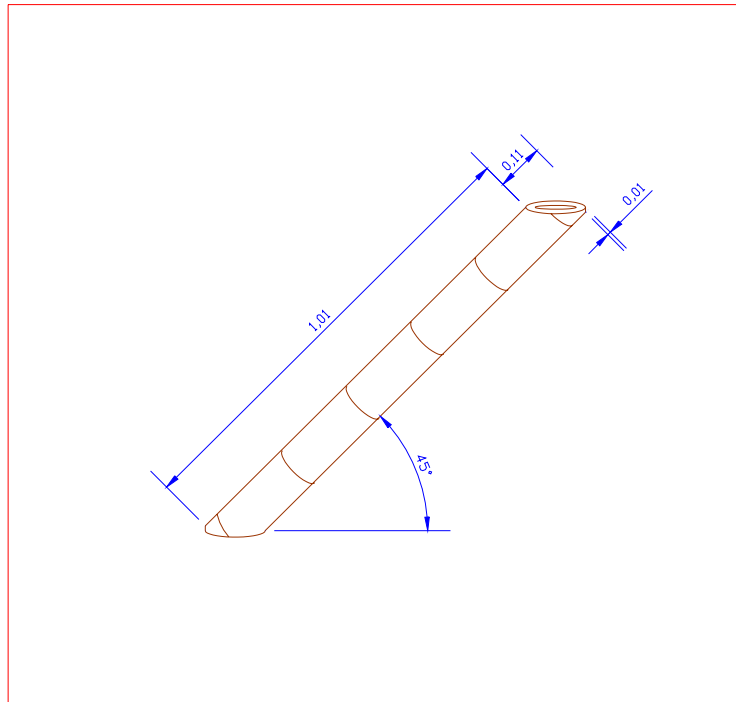


FIGURA N° 58. Detalle elemento diagonal correspondiente a los modelos 1, 2 y 3.

Finalizado el proceso de designación de las cotas respectivas en las secciones de Guadua según indican los planos, se procedió a efectuar los cortes por medio de la acolilladora, para lo cual se requirieron dos operarios; el primero determinó el momento y el lugar exacto de corte, teniendo en cuenta las guías previamente marcadas sobre la Guadua y el segundo sujetó la Guadua desde el otro extremo para facilitar el giro si la sección lo requiere (secciones con diámetros externos mayores a 0.10 metros). En la acolilladora se determinó el ángulo de corte, en este caso fue de 0 grados para los cordones superiores e inferiores y los elementos diagonales correspondientes a los modelos 1, 2 y 3; y de 45 grados para los elementos diagonales asignados a los modelos 4, 5 y 6, con respecto al eje de la acolilladora el cual debe ser de 0 grados con respecto a la vertical.

Al terminar el proceso de corte, los elementos diagonales correspondientes a las armaduras 4, 5 y 6 se tornearon para generar en sus extremos bocas de pescado que facilitan y optimizan la unión con los respectivos cordones. Los elementos de Guadua se ubicaron sobre el torno con una inclinación de 45 grados, es decir, colocando las paralelas menores horizontalmente sobre el torno, el cual posee un cilindro con 3 secciones, cada una de ellas con 0.08, 0.10 y 0.12 metros de diámetro respectivamente, con lija de lona #36 adherida a cada una de las 3 superficies.

4.4.4. Metodología

4.4.4.1. Modelo 1: *Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Simón Vélez*

Inicialmente se tomaron los cordones superior e inferior para señalar los ejes de cada nudo, en este caso, de el lugar donde se ubicó el pasador, los cuales estaban separados en 1.67 metros en los cordones. Con estas señales se determinaron los puntos por donde se taladró la Guadua con una broca para madera o una broca espada de 5/8", teniendo especial cuidado en mantener la verticalidad al perforar sus puntos opuestos.

Una vez los cordones superior e inferior fueron perforados por la broca, se escogieron los elementos diagonales de 1.48 metros y diámetros entre los 0.08 y 0.10 metros, se compararon los espesores de las paredes de la Guadua y se asignaron por pares de espesores similares así:

- ❖ Par N° 1, paredes gruesas, fueron asignados a los elementos 6 y 11.
- ❖ Par N° 2, paredes intermedias, fueron asignados a los elementos 7 y 10.
- ❖ Par N° 3, paredes delgadas, fueron asignados a los elementos 8 y 9.

Teniendo determinada la sección de la Guadua correspondiente a cada elemento, se taladraron las diagonales con una broca para madera de 5/8" a 0.15 metros del extremo de la vara, conservando siempre la verticalidad de las perforaciones opuestas.

Para elaborar los orificios del otro extremo de los elementos ubicados sobre planos a 1.18 metros del eje del nudo taladrado, se confirmó en primer lugar la validez de esta longitud entre ejes (1.18 metros), debido a que aunque la Guadua con la que se conformaron los cordones superior e inferior fue previamente clasificada, podía tener pequeñas curvaturas que afectaban esta medida.

Para solucionar esta dificultad, se ubicaron sobre un plano horizontal los cordones superior e inferior paralelamente distanciados 0.83 metros entre ejes, con el cordón inferior equidistante a los extremos del cordón superior y donde cada uno de los cuales debía generar un eje vertical entre dos orificios opuestos.

Luego, sobre el eje imaginario que conforman los orificios de dos nudos de un mismo elemento diagonal, se tomó la medida entre la tangente de la primera perforación correspondiente al eje y las dos tangentes sobre el eje correspondientes a la segunda perforación. Con las medidas tomadas se repitió este procedimiento sobre los elementos diagonales correspondientes, y de esta manera se confirmó o se corrigió, según necesidad, el eje del segundo orificio. Seguido a esto se taladró la Guadua por el eje del segundo orificio, perforando también la pared opuesta a la Guadua sobre este eje.

Teniendo todas las perforaciones necesarias, las cuales previamente fueron confirmadas para que no coincidieran con los tabiques, se introdujeron los pasadores de 5/8" de diámetro y 0.40 metros de longitud a través de los cordones.

Luego se hizo pasar las secciones de Guadua asignada previamente a los elementos diagonales a través de los pasadores.

Por ultimo se le colocaron las arandelas y tuercas respectivamente a cada extremo del pasador.

4.4.4.2. Modelo 2: Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Mecánica Modificada

La metodología que se empleó para señalar los ejes y perforar los orificios donde irán los pasadores es igual a la aplicada en la armadura correspondiente al capítulo 4.4.4.1.

Antes de ensamblar la armadura se requirió fabricar y montar el refuerzo.

Para ejecutar este proceso, inicialmente se cortó la pletina calibre 16 en cuadrados de 0.08 metros de lado, luego se indicaron los ejes de los orificios donde se ubicarían los tornillos (1" * ¼", G3, cabeza hexagonal) y se perforó por estas guías con una broca para metal de ¼". También se marcó el centro de la pletina y se perforó por este lugar con una broca para metal de 5/8".

Una vez elaboradas las perforaciones se arqueó la pletina hasta hacerla coincidir con la circunferencia que tiene la Guadua en el lugar de los orificios.

Posteriormente se alineó el orificio de cada pletina con un orificio de la Guadua y se tomó en cuenta que la localización de las perforaciones para los tornillos en las pletinas no debían producir líneas de falla, es decir, no debían coincidir dos tornillos en una línea paralela al eje de la vara de Guadua.

Seguidamente se perforó la Guadua con una broca para madera de 1/8" por dentro de los orificios de la pletina, así, al introducir los tornillos quedaban confinados y no producirían agrietamiento.

Una vez terminado el proceso de refuerzo en cada uno de los orificios, se procedió a ensamblar los elementos, igualmente que en la armadura del modelo N° 1.

4.4.4.3. Modelo 3: Armadura Tipo Warren Invertido Con Union Tipo Abrazadera

Las perforaciones de los orificios por donde se introdujeron los pasadores tienen un proceso constructivo igual al de las armaduras anteriores, correspondientes a los capítulos 4.4.4.1. y 4.4.4.2.

Previamente a ser ensamblada fue necesario construir el refuerzo respectivo, el cual fue ubicado sobre el mismo sector en el que se puede inducir la falla en cada nudo sobre cada elemento, bien sea por compresión o por tracción.

Para construir este refuerzo se cortó la lámina cold-rolled en láminas de 0.05 metros de ancho, luego se hizo una perforación sobre el eje longitudinal de la lámina a 0.01 metros de un extremo de ésta, con una broca para metal de 1/8", y otra perforación sobre el mismo eje en el otro extremo de la lámina, a una distancia de éste de 1.5 veces el diámetro del orificio, es decir, el punto de perforación se encuentra a 0.0127 metros del extremo sobre el eje longitudinal de la lámina, y se taladró con una broca para metal de 1/4" en donde se ubicó un tornillo de 1" * 1/4", grado 3, con cabeza hexagonal. Estas perforaciones facilitó posteriormente el ensamble de la lámina.

Sobre la Guadua, la lámina debe estar completamente enrollada limitando con el borde del orificio como se indica en la Figura N° 53. Para lograr esto, inicialmente se sobrepuso el extremo de la lámina correspondiente al orificio de 1/8" y con una broca para madera del mismo diámetro se perforó por dentro del orificio de la lámina un agujero, por el cual se introdujo un tornillo goloso para sujetar la lámina inicialmente.

Teniendo sujeta la lámina se procedió a enrollarla sobre la Guadua lo mas tensionada posible, un operario con la ayuda de unas pinzas (alicates) mantuvo sujeta la lámina, a la vez que un segundo operario taladró la lámina por dentro del orificio guía de 1/4" con una broca para metal del mismo diámetro. Inmediatamente después este mismo operario colocó un primer tornillo de 1" * 1/4" por esta perforación para fijar la lámina a la Guadua.

Para reforzar la atadura de la lámina con la Guadua, se perforó otro orificio de 1/4" a una distancia mínima de 0.0127 metros desde el primer tornillo de 1/4" hacia la parte interna de la lámina, y se colocó un segundo tornillo similar al anterior.

Posteriormente se perforaron 12 orificios alrededor de la Guadua, limitando completamente con el extremo lateral de la lámina, opuesto al orificio designado al pasador, con una broca de 1/8" para madera, para proseguir a instalar tornillos de 1" * 1/4" en cada una de las perforaciones.

Una vez ensamblado el refuerzo se procedió a armar adecuadamente cada uno de los elementos conforme se indica en el capítulo 4.4.4.1.

4.4.4.4. Modelo 4: Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Pletina

Como en las armaduras correspondientes a los capítulos 4.4.4.1, 4.4.4.2 y 4.4.4.3, las diagonales se asignaron a cada elemento, dependiendo directamente de su espesor de pared, teniendo en cuenta que éstos elementos diagonales están conformados por varas de 0.08 a 0.10 metros de diámetro.

Como estos elementos han sido previamente torneados en "boca de pescado" en sus extremos, el ensamble de la Guadua en la armadura se elaboró horizontalmente y se le asignaron correctamente las secciones de Guadua a cada elemento.

Al terminar este proceso solamente queda la Guadua geoméricamente asignada y sobrepuesta, por lo que se debió construir una estructura de unión en cada nudo para los elementos correspondientes.

Esta unión está conformada por un par de pletinas calibre 12 por nudo, conectadas entre ellas y con los elementos de Guadua correspondientes, por medio de un pasador de 0.20 metros de longitud y 5/8" de diámetro.

Para construir esta unión, en primer lugar se tomaron las medidas necesarias sobre las Guaduas sobrepuestas para encontrar los ejes de perforación, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- ❖ Los puntos de perforación deben estar sobre los ejes longitudinales superiores de la Guadua.
- ❖ Como las perforaciones son de 5/8" de diámetro, las tres o cuatro perforaciones por nudo según sea el caso, deben ubicarse mínimo a 0.032 metros de cualquier extremo de la pletina.
- ❖ Estas tres o cuatro perforaciones deben ser los vértices de un triángulo rectángulo o un rectángulo respectivamente.

Con estos parámetros se determinaron los puntos de perforación tanto de la Guadua como de las pletinas y así se procedió a taladrar estos puntos con brocas para madera y metal de 5/8".

Es fundamental mantener un paralelismo entre los tres o cuatro ejes que generan los tres o cuatro orificios perforados por eje como se indica en la Figura 54.

Luego se introdujeron los pasadores por estos ejes y se le colocaron las arandelas y tuercas para confinar el refuerzo.

4.4.4.5. Modelo 5: Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Anclaje

Inicialmente, los pasadores de 5/8" de diámetro y 0.27 metros de longitud se doblaron a 45 grados a los 0.13 metros.

Luego se asignó cada vara de Guadua a los elementos de la armadura tal como se expresa en el capítulo 4.4.4.4.

Posteriormente, en cada extremo de los elementos diagonales sobre el eje longitudinal correspondiente a la boca, se taladró en la Guadua un orificio con una broca para madera de 5/8" lo mas distante posible del extremo, dentro de la boca, dejando que el pasador pueda circular.

Seguido a esto se introdujeron los pasadores a los elementos diagonales por el lado corto (0.13 metros) y se atornillaron por fuera del elemento, de esta manera quedó libre la otra parte del pasador, la cual, al sobreponer los elementos (cordones y diagonales) en sus posiciones asignadas, indicaron el lugar de perforación de los cordones. Estos se taladraron por las dos paredes de la Guadua correspondientes a cada eje perpendicular de la misma, manteniendo siempre la paralelidad entre el eje de estos pares de orificios con los ejes de los pares correspondientes a los otros nudos.

Teniendo las perforaciones realizadas se procedió a ensamblar los cordones con las diagonales, colocando las tuercas y arandelas para sujetar la armadura.

4.4.4.6. Modelo 6: Armadura Tipo Warren Invertido Con Unión Tipo Anclaje Axial

Con los cordones superiores e inferiores y los elementos diagonales seleccionados (similarmemente a los capítulos 4.4.4.4. y 4.4.4.5) se ensambló la armadura sobrepuesta horizontalmente.

Por otra parte los pasadores de 5/8" de diámetro y 0.50 metros de longitud se doblaron a 45 grados a los 0.15 metros.

En los elementos diagonales se embebió la parte larga de los pasadores por el eje central de la Guadua hasta la curva del pasador en mortero, y se dejó fraguar por un día.

Luego se superpusieron todos los elementos de la armadura en sus lugares correspondientes.

Con la armadura ensamblada parcialmente, se demarcaron en los cordones los lugares por donde se penetrarían los pasadores. Posteriormente se taladraron los cordones por los lugares correspondientes.

Finalmente se hizo pasar la sección externa del pasador por los orificios de los cordones, se colocaron las tuercas y arandelas para fijar las diagonales a los cordones.

4.4.5. Relleno

A la armadura con unión tipo Simón Vélez se le inyectó mortero a los cañutos o entrenudos que estaban afectados por pasadores, bien sea de los elementos diagonales o de los cordones superior e inferior, así como a los entrenudos que funcionaban como apoyo.

Las armaduras con uniones tipo mecánica modificada y abrazadera solo les fue introducido el mortero a los cañutos correspondientes a la zona de carga, nudos dos y tres, y a los entrenudos correspondientes a los apoyos.

Las armaduras con uniones tipo pletinas, anclaje y anclaje axial, les fue inyectado mortero a todos los entrenudos afectados por los pasadores y a los cañutos de los apoyos.

En las armaduras tipo Simón Vélez, mecánica modificada y abrazadera, el mortero se inyectó por agujeros de 1 1/8", taladrados previamente con una broca espada para madera del mismo diámetro (Fotografía N° 8). Estas armaduras debían tener un orificio de respiración perforado con una broca para madera de 1/8" de diámetro (Fotografía N° 9). De esta misma manera se le inyectó el mortero a los cordones superiores e inferiores de las 3 armaduras restantes.

Tanto los elementos diagonales de las armaduras con uniones tipo pletinas, anclaje y anclaje axial, así como los apoyos de los cordones superiores de todas las armaduras que tengan los tabiques considerablemente retirados de los extremos, se rellenaron axialmente con mortero, es decir, sin necesidad de hacer una perforación en la pared de la Guadua. En el caso de los elementos diagonales de estas armaduras, el relleno se hizo en 2 etapas, aflojando primero uno de los cordones para dejar una junta amplia que posibilite la operación y posteriormente apretando las tuercas nuevamente para confinar los elementos. Las armaduras debían reposar un día (fragüe inicial) y luego se debían girar 180 grados para repetir la operación en el otro cordón.



FOTOGRAFIA N° 8. Perforación para inyección del mortero.



FOTOGRAFIA N° 9. Perforación para respiración.

El mortero de relleno fue fabricado con una relación cemento–agregado fino, 1:3; y una relación agua–cemento entre 0.45 y 0.50. El mortero debía ser vibrado manualmente con una varilla, además se le tenía que extraer el aire con un martillo de goma dándole leves golpes a las paredes de la Guadua.