

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DEL MATERIAL
SUELO-CEMENTO COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN
PARA VIVIENDAS DE BAJO COSTO EN EL PERÚ**
ANEXOS

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

José Augusto Valdivia Cariat

ASESOR: Ing. Francisco Ginocchio Celi

Lima, Octubre 2016

ANEXOS

ANEXO 1: CLASIFICACIÓN DEL SUELO

- Clasificación SUCS
- Clasificación AASHTTO

ANEXO 2: PRODUCCIÓN DE BLOQUES DE SUELO-CEMENTO

1. Selección del suelo
2. Extracción del suelo
3. Secado
4. Tamizado
5. Mezclado de componentes en seco
6. Adicción de agua
7. Compactación y moldeo
8. Curado
9. Estiba y transporte

ANEXO 3: PLANOS DETALLADOS DE LA VIVIENDA

1. Vivienda de suelo-cemento
 - Arquitectura
 - Estructuras
 - Instalaciones
 - Sanitarias
 - Eléctricas
2. Vivienda de albañilería confinada
 - Arquitectura
 - Estructuras
 - Instalaciones
 - Sanitarias
 - Eléctricas

ANEXO 4: CRONOGRAMA SEGÚN VIVIENDA

- Cronograma para la vivienda de suelo-cemento
- Cronograma para la vivienda de suelo-cemento

LISTA DE FIGURAS

PRODUCCIÓN DE BLOQUES DE SUELO-CEMENTO

- Figura 2.1 Tamizado manual
- Figura 2.2 Cribado manual
- Figura 2.3 Cribado manual
- Figura 2.4 Línea de producción de bloques de suelo-cemento

PLANOS DETALLADOS DE LA VIVIENDA

1. Vivienda de suelo-cemento

- Figura 3.1 Arquitectura en planta
- Figura 3.2 Elevación frontal de la vivienda.
- Figura 3.3 Elevación lateral de la vivienda.
- Figura 3.4 Corte A - A
- Figura 3.5 Corte b' - b'
- Figura 3.6 Cimentación
- Figura 3.7 Muros
- Figura 3.8 Detalle de muro
- Figura 3.9 Detalle de tijeral típico
- Figura 3.10 Instalación de agua fría
- Figura 3.11 Red de desagüe
- Figura 3.12 Instalación eléctrica

2. Vivienda de albañilería confinada

- Figura 3.13 Arquitectura en planta
- Figura 3.14 Elevación frontal de la vivienda
- Figura 3.15 Elevación lateral de la vivienda
- Figura 3.16 Corte a' - a'
- Figura 3.17 Corte b' - b'
- Figura 3.18 Cimentación
- Figura 3.19 Vigas y columnas.
- Figura 3.20 Detalle de muro
- Figura 3.21 Detalle de tijeral típico
- Figura 3.22 Instalación de agua fría
- Figura 3.23 Red de desagüe
- Figura 3.24 Instalación eléctrica

LISTA DE TABLAS

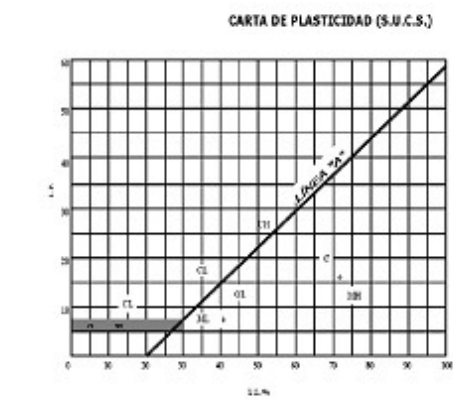
- Tabla 1.1 Sistema unificado de clasificación del suelo (Crespo, 2004)
- Tabla 1.2 Clasificación AASHTO (Área de Geotecnia – Sección Ingeniería Civil PUCP, 2013)
- Tabla 1.3 Relación entre la clasificación AASHTO y SUCS (Crespo, 2003)

ANEXO 1: CLASIFICACIÓN DEL SUELO

- Clasificación SUCS

Tabla 1.1 Sistema unificado de clasificación del suelo (Crespo, 2004)

DIVISION MAYOR		SIMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO	
<p>SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 Ⓢ</p>	<p>GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4</p>	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	<p>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA C_c: entre 1 y 3. $C_u = D_{60}/D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$</p> <p>NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW.</p>	
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		
		GM	d		Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
			u		Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla
		GC	d		Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
			u		Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.
	<p>ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4</p>	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	<p>DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LAS CURVA GRANULOMETRICA, DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: Menos de 5%: GW, GP, SW, SP, más de 12%: GM, GC, SM, SC. Casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles: **</p> <p>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u: mayor de 6; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3</p> <p>No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW</p>	
		SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
		SM	d		Arenas limosas, mezclas de arena y limo
			u		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
		SC	d		Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos
			u		Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres
<p>SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 Ⓢ</p>	<p>ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable</p>	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos	<p>LIMITES DE ATTERBERG DEBAJO DE LA "LINEA A" O I.P. MENOR QUE 4.</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LINEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.</p> <p>Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.</p>	
		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo		
	<p>ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable</p>	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		
		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo		
	<p>LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido Menor de 50</p>	<p>ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable</p>	CL		Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres
			OL		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
			MH		Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos
			CH		Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.
	<p>LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido Mayor de 50</p>	<p>ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable</p>	OH		Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos o de media plasticidad.
			SH		Limos orgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		



- Clasificación AASHTO

Tabla 1.2 Clasificación AASHTO (Área de Geotecnia – Sección Ingeniería Civil PUCP, 2013)

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...	...	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.	N.P.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Tabla 1.3 Relación entre la clasificación AASHTO y SUCS (Crespo, 2004)

AASHTO	SUCS
A-1a	GW, GP, SW, SP
A-1b	SW, SP, SM, GC
A-3	SP
A-2-4	CL, ML
A-2-5	CL, ML, CH, MH
A-2-6	CL, ML
A-2-7	CL, ML, CH, MH
A-4	CL, ML
A-5	CL, ML, CH, MH
A-6	CL, ML
A-6	CL, ML, CH, MH
A-8	Turba y detrito orgánico

ANEXO 2: PRODUCCIÓN DE BLOQUES DE SUELO-CEMENTO

Se ha tomado como referencia bibliográfica las publicaciones: “Ladrillos de suelo-cemento: mampuesto tradicional en base a un material sostenible” y “Compressed earth block manual of design and construction Vol. 2”, pertenecientes a Mariana Gatani y Hurbert Guillaud et al.

La fabricación de bloques de suelo-cemento se puede dividir en las siguientes etapas:

1. Selección del suelo

Se debe escoger un suelo con una granulometría adecuada (ver Apartado 2.4.3 “Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento”). Un procedimiento eficaz para determinar la granulometría en campo es el método de la botella, el cual consiste en colocar una pequeña muestra del suelo a analizar dentro de una botella y agregar agua en proporción de 1 a 4 (suelo/agua). Luego se agita la botella y se deja reposar la mezcla por cuarenta y cinco minutos con el fin que las partículas se vayan asentando según su tamaño (Gatani, 2000). De esta forma lograremos identificar el porcentaje de cada tipo de partícula del suelo.

2. Extracción del suelo

Para la extracción del suelo se recomienda que sea lo más cercano posible (en el mismo lugar de la obra si es factible) al lugar de la construcción. Esto es con el fin de reducir los costes de transporte de materiales (suelo).

Se debe eliminar la capa correspondiente a la vegetación y es imperante verificar que no exista algún tipo de material orgánico en el material a utilizar. No hay un límite respecto a la profundidad de excavación (mientras el suelo siga siendo apto), por lo que dependerá de la necesidad que tenga el beneficiario y la capacidad extractiva que pueda ejercer.

Es importante recordar que se debe analizar si la extracción del suelo no generará daños colaterales, tales como deslizamientos y derrumbes.

3. Secado

El material que ha sido extraído a una profundidad considerable o en presencia de napa freática tendrá un gran porcentaje de humedad.

Cuando el suelo está húmedo resulta difícil su tamizado, pues la presencia de agua le confiere una cohesión a las partículas. Por tal motivo, se recomienda esparcir la tierra uniformemente en una capa de 0.30 m para que el sol y el aire puedan penetrar en casi todo el volumen.

Recordar que mientras más seco y granular sea el suelo genera una mezcla más homogénea, lo que favorece la estabilización (Gatani, 2000).

4. Tamizado

De ser posible, se debe remover el material con un tamaño mayor a 5 mm. Por lo que se recomienda pasar la tierra por un tamiz inclinado 50°, ángulo que se puede modificar en función de la cantidad de material que se desee pasar (Guillaud et al. 1995). La Figura 2.1 muestra lo expuesto en el presente párrafo.



Figura 2.1 Tamizado manual (Guillaud et al. 1995)

5. Mezclado de componentes en seco

Las proporciones del agente estabilizante dependen del tipo de suelo a utilizar (ver Capítulo 2). Sin embargo, es muy importante que se realice el mezclado de los componentes en seco.

Para lograr dicho fin, se puede utilizar una mezcladora o realizarlo manualmente. Se recomienda el uso de una mezcladora tradicional de eje horizontal, pues evita la formación de grumos

generados por el escaso contenido de humedad en la mezcla. Dichas imperfecciones provoca un problema al momento de compactar.

También se puede realizar la mezcla manual (ver Figura 2.2). Si bien el costo es muy reducido, el rendimiento no es el mejor.

Sin importar bajo que método se realice la mezcla, el producto final debe tener un color uniforme en todo su volumen.

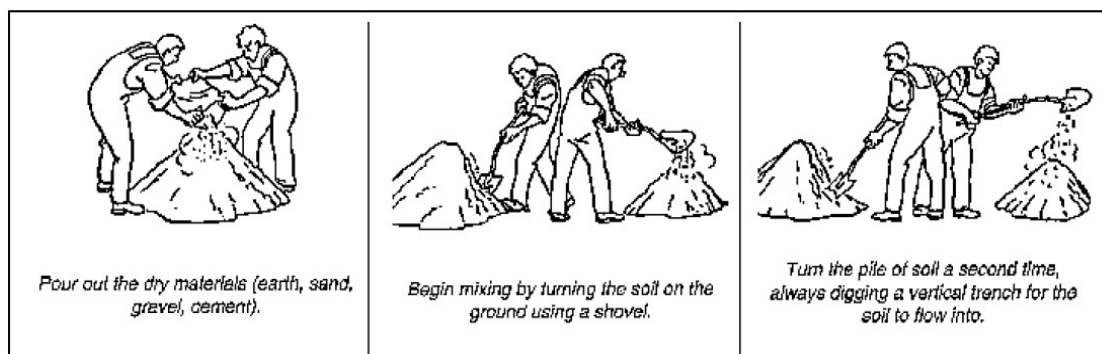


Figura 2.2 Cribado manual (Guillaud et al. 1995)

6. Adición de agua

Una vez realizado el mezclado en seco de los componentes, se añade agua cuidadosamente. Como muestra la Figura 2.3, se puede utilizar una regadera.

El agua juega un papel muy importante en la mezcla, pues genera que las arcillas desarrollen su cohesión, además de ser la responsable de la reacción del cemento.

Existen métodos para verificar la cantidad de agua en la mezcla. El más popular de ellos consiste en realizar una pequeña pelota de suelo-cemento y dejarla caer desde la mano. Si encontramos que el suelo-cemento presenta una consistencia aguada al caer en el piso, se dice que el suelo tiene mucha agua. Por el contrario, si al momento de soltar la mezcla, se desintegra antes de caer, se dice que la mezcla tiene muy poca agua. Finalmente, si al momento de impactar la mezcla en el piso se desintegra pero presenta partes definidas que se asemejan a la original, se concluye que la cantidad de agua en la mezcla es óptima.



Figura 2.3 Cribado manual (Guillaud et al. 1995)

7. Compactación y moldeo

La compactación es una fase muy importante en la línea de producción del suelo-cemento, pues genera bloques más densos (compactos) y con menos cantidad de vacíos, fundamental en este tipo de material.

El procedimiento es muy similar a la elaboración de bloques de adobe. En ambos casos, la mezcla se coloca dentro de un molde de dimensiones ya especificadas y se procede a compactar la mezcla con un pisón simple.

Lamentablemente, el método es muy lento y el rendimiento no es el mejor. Para resolver ese problema se han ideado diversos tipos de máquinas que permiten incrementar la producción

8. Curado

Se debe asegurar que los bloques no pierdan humedad pues eso propiciará la aparición de grietas debido a la contracción del material. Asimismo, se deben proteger los bloques del sol y de la lluvia.

Un ambiente caluroso y húmedo ayudará. Para lograrlo se coloca un manto de polietileno sobre los bloques y se evita la interacción con el exterior a fin de mantener la temperatura.

El tiempo de curado de los bloques no debe ser bajo ningún motivo menor a 7 días y, si es posible, 14 días. A los 28 días ya tendrá una resistencia muy cercana a la máxima (Guillaud et al. 1995).

9. Estiba y transporte

Una vez pasados los 28 días, los bloques ya están listos para ser estibados a la intemperie. Se deben agrupar según la fecha de producción y anotarla. Esto facilitará que se transporten primero los bloques con más edad.

Respecto al transporte se recomienda ser muy cuidadoso al cargar los bloques en la tolva y, si fuese posible, sujetarlos para que el movimiento de las unidades durante el transporte sea el menor posible.

A modo de resumen la Figura 2.4 muestra la línea de producción de los bloques de suelo-cemento.

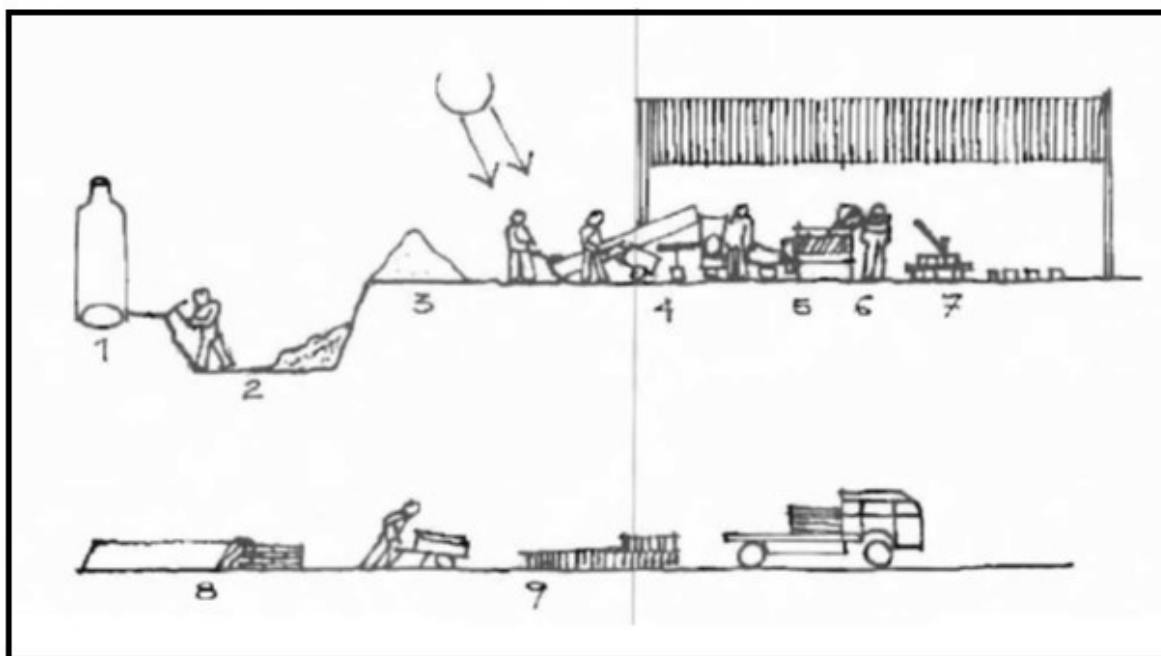


Figura 2.4 Línea de producción de bloques de suelo-cemento (Gatani, 2000)

ANEXO 3: PLANOS DETALLADOS DE LA VIVIENDA

1. Vivienda de suelo-cemento

- Arquitectura

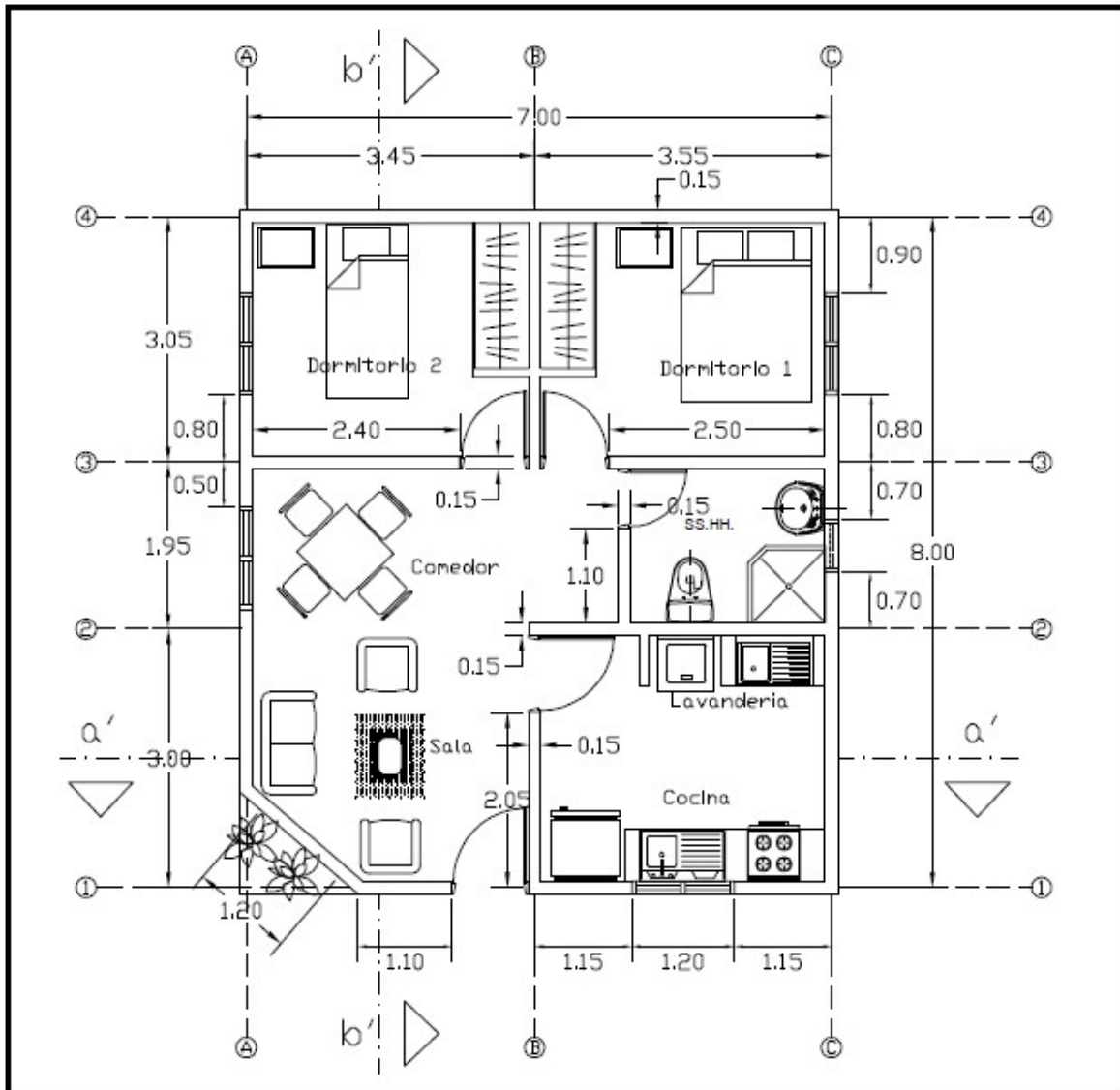


Figura 3.1 Arquitectura en planta

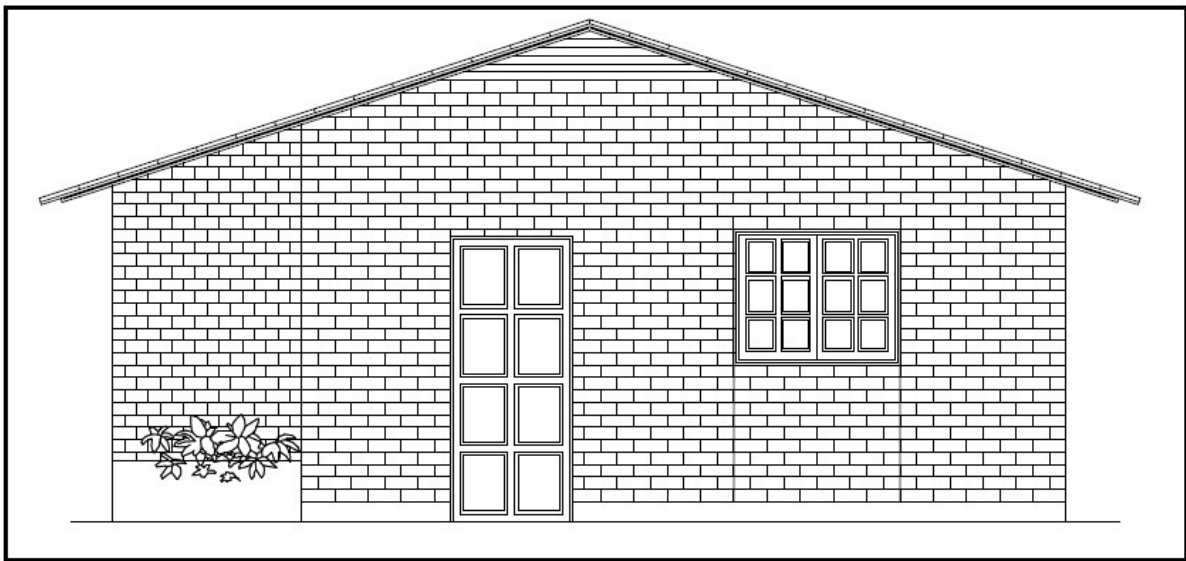


Figura 3.2 Elevación frontal de la vivienda

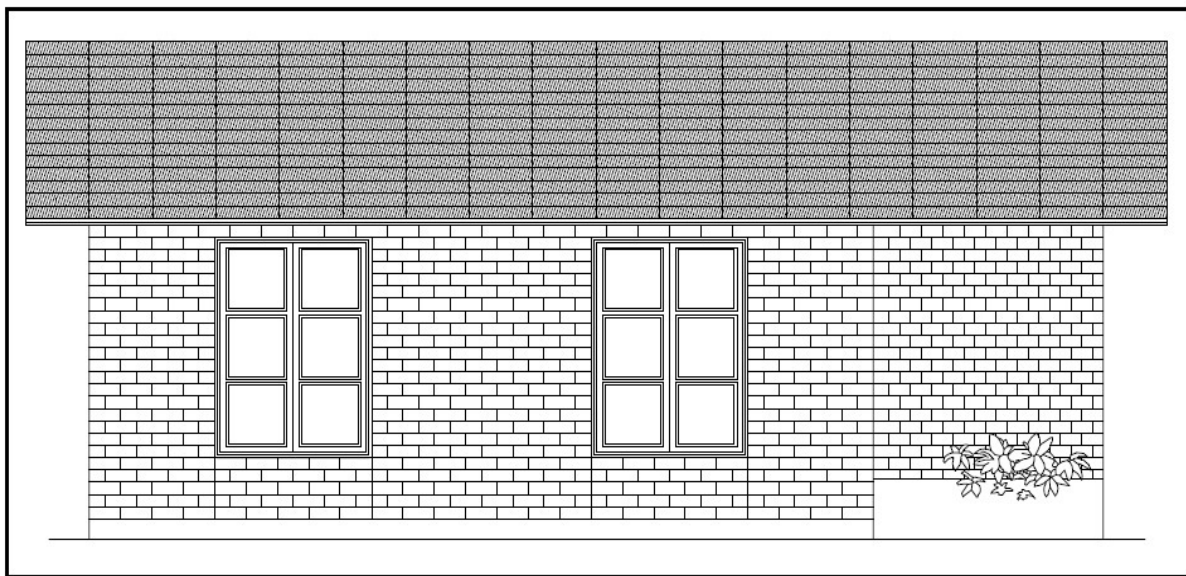


Figura 3.3 Elevación lateral de la vivienda



Figura 3.4 Corte A - A

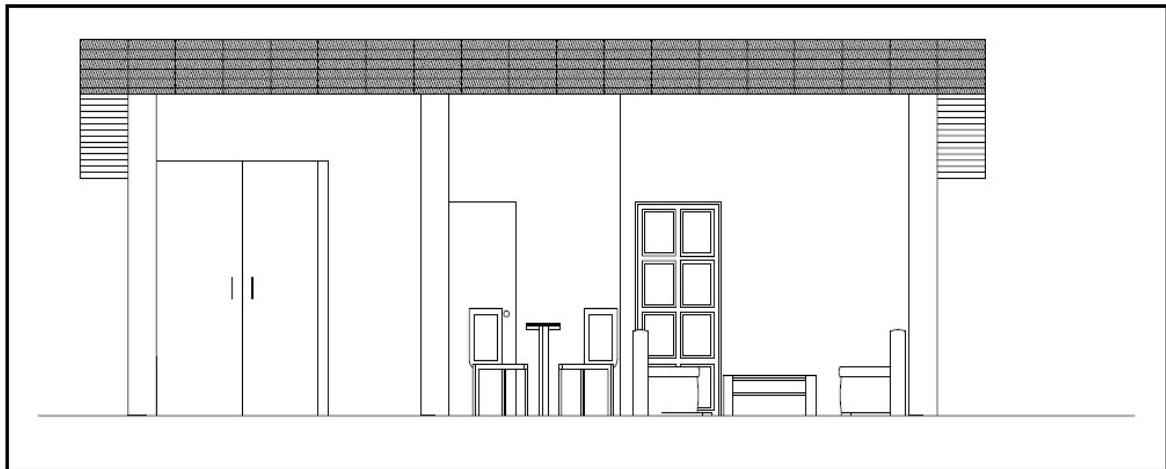


Figura 3.5 Corte b' - b'

- Estructuras

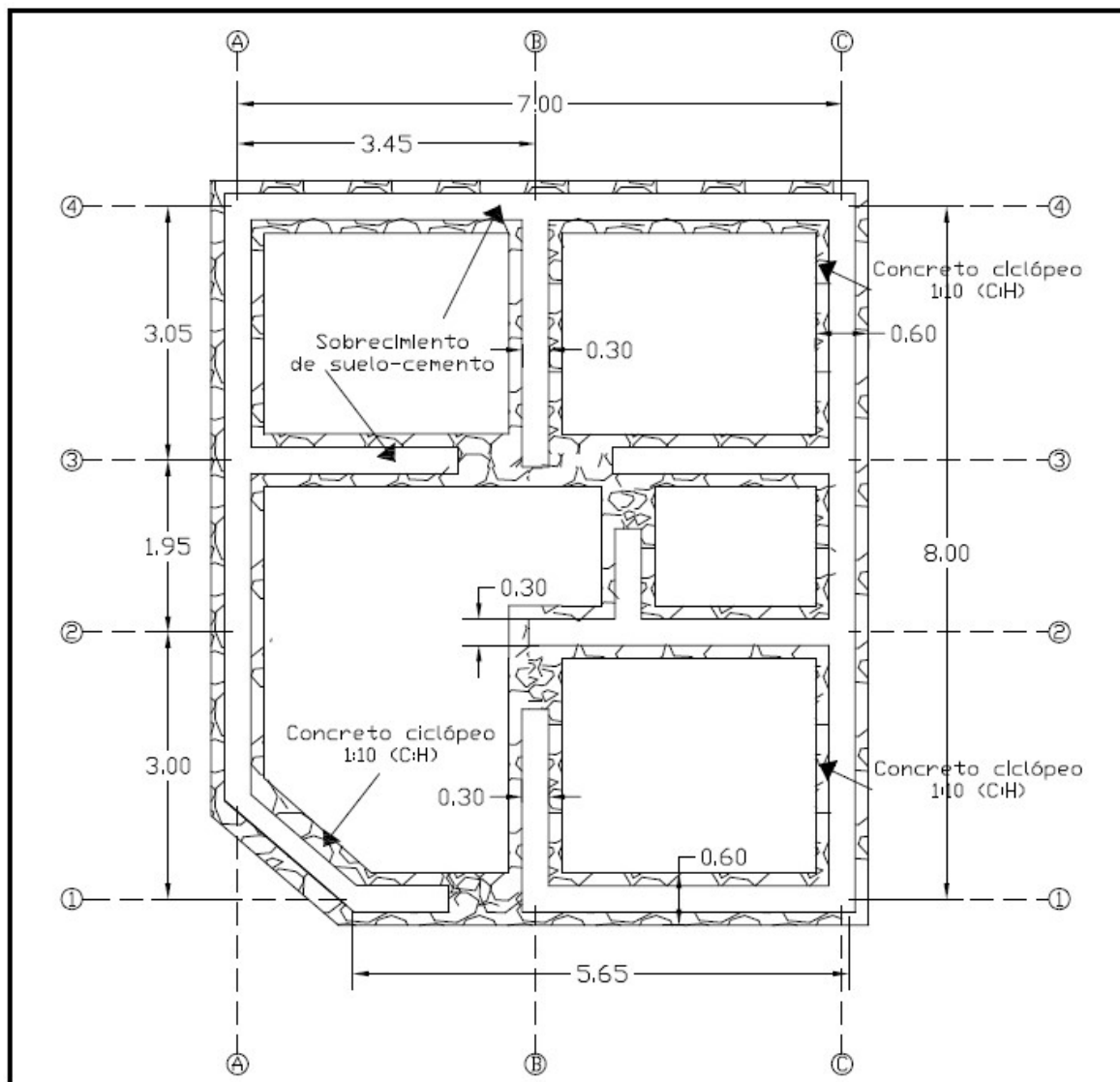


Figura 3.6 Cimentación

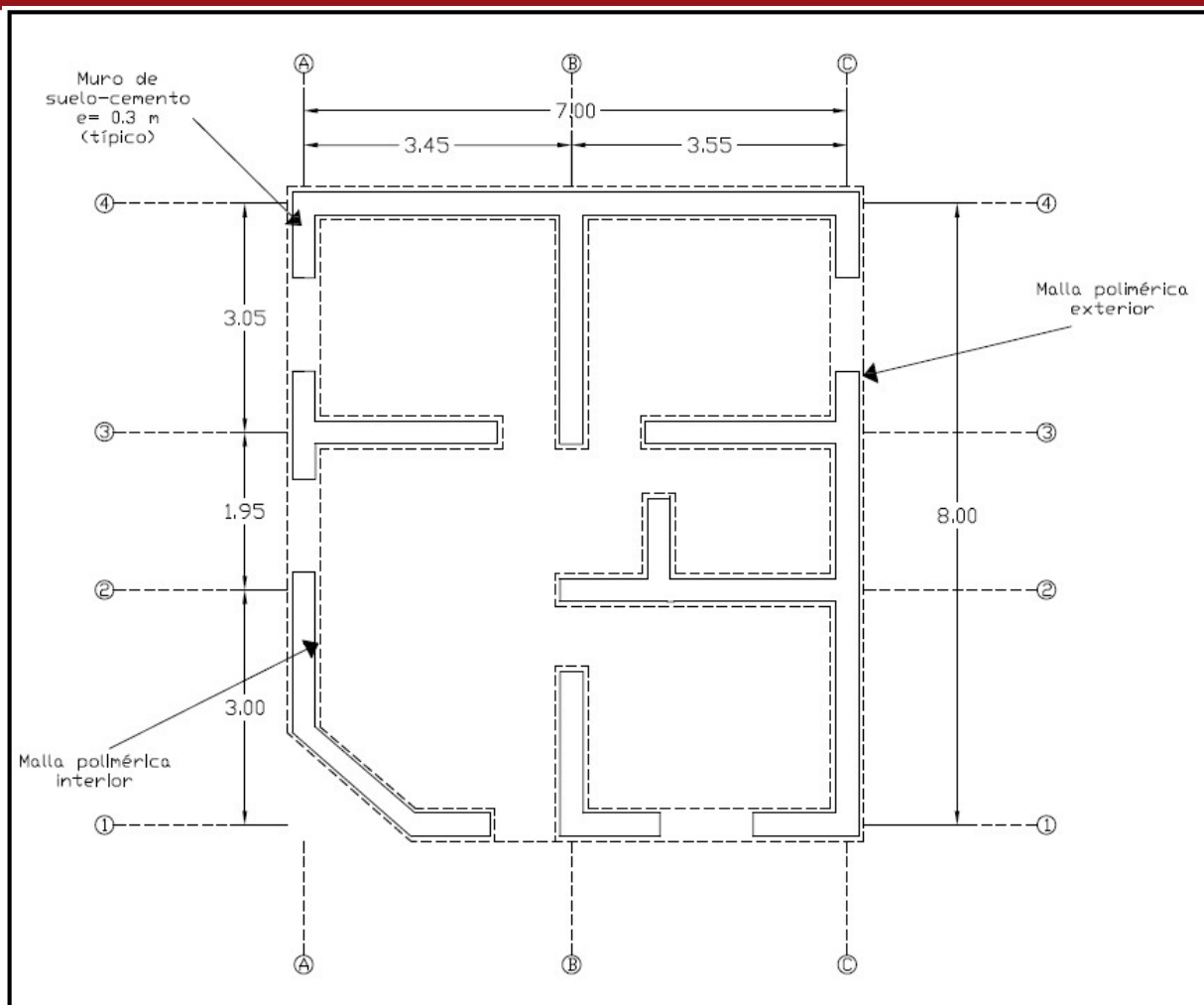


Figura 3.7 Muros

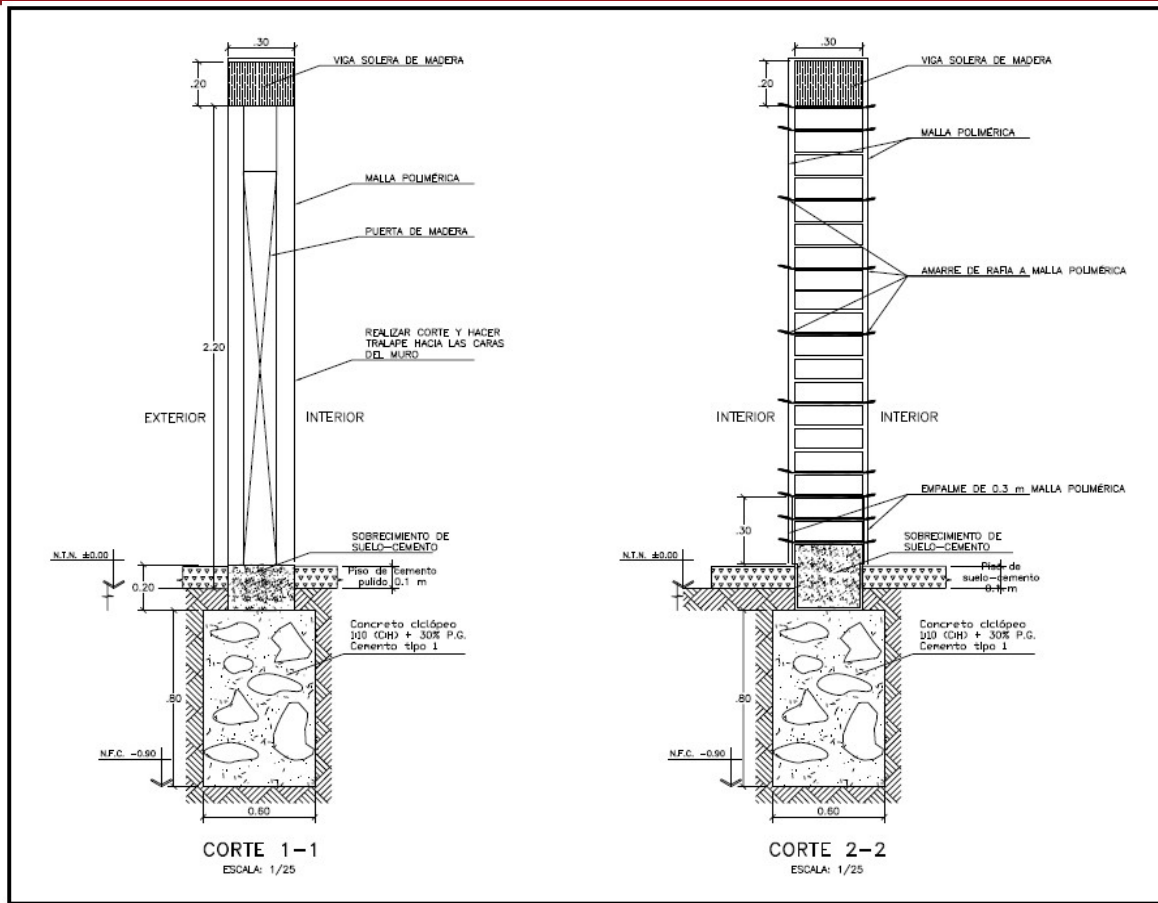


Figura 3.8 Detalle de muro

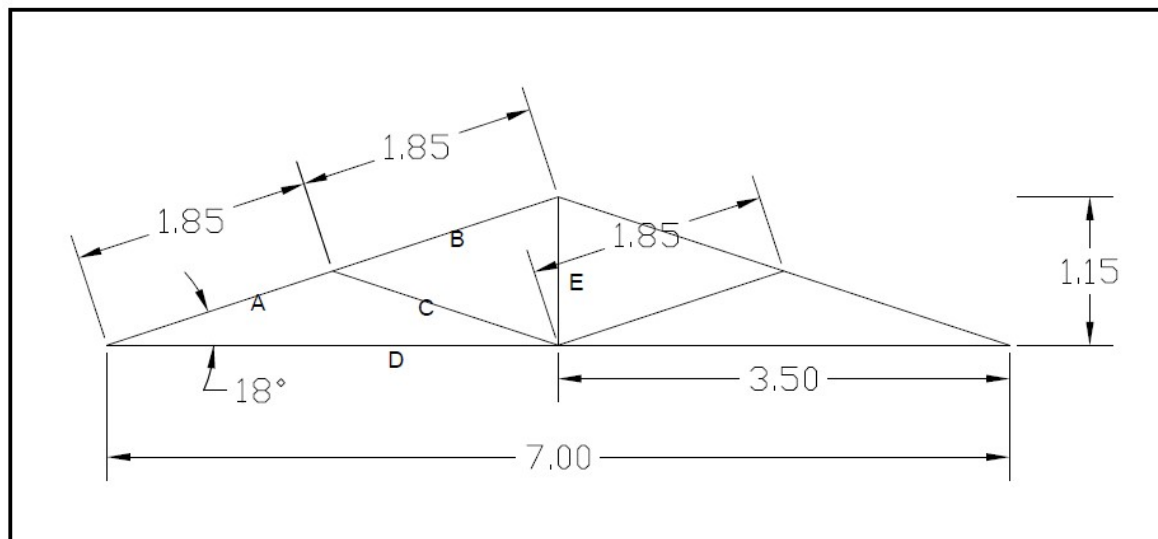


Figura 3.9 Detalle de tijeral típico

- Instalaciones
 - Sanitarias:

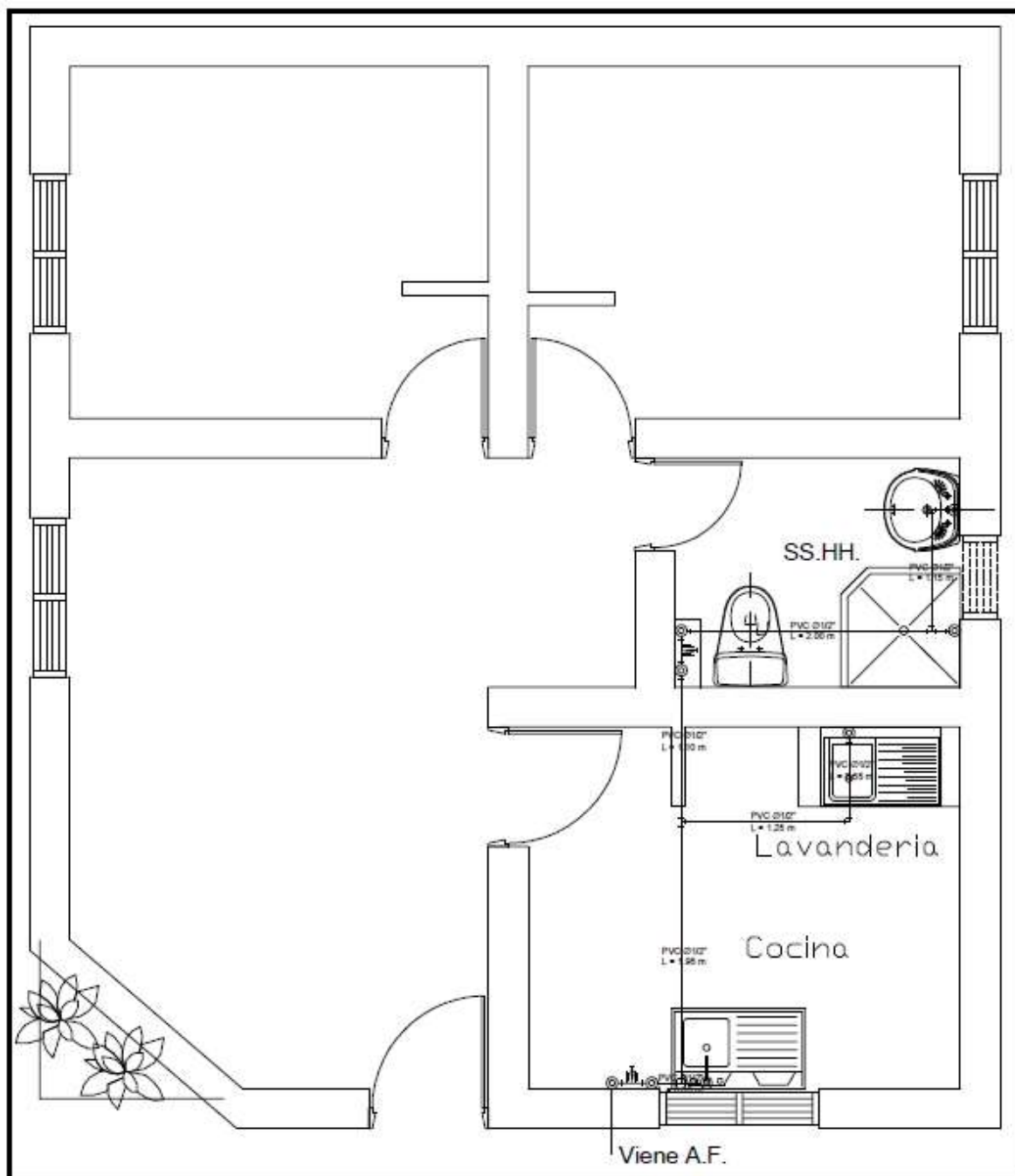


Figura 3.10 Instalación de agua fría

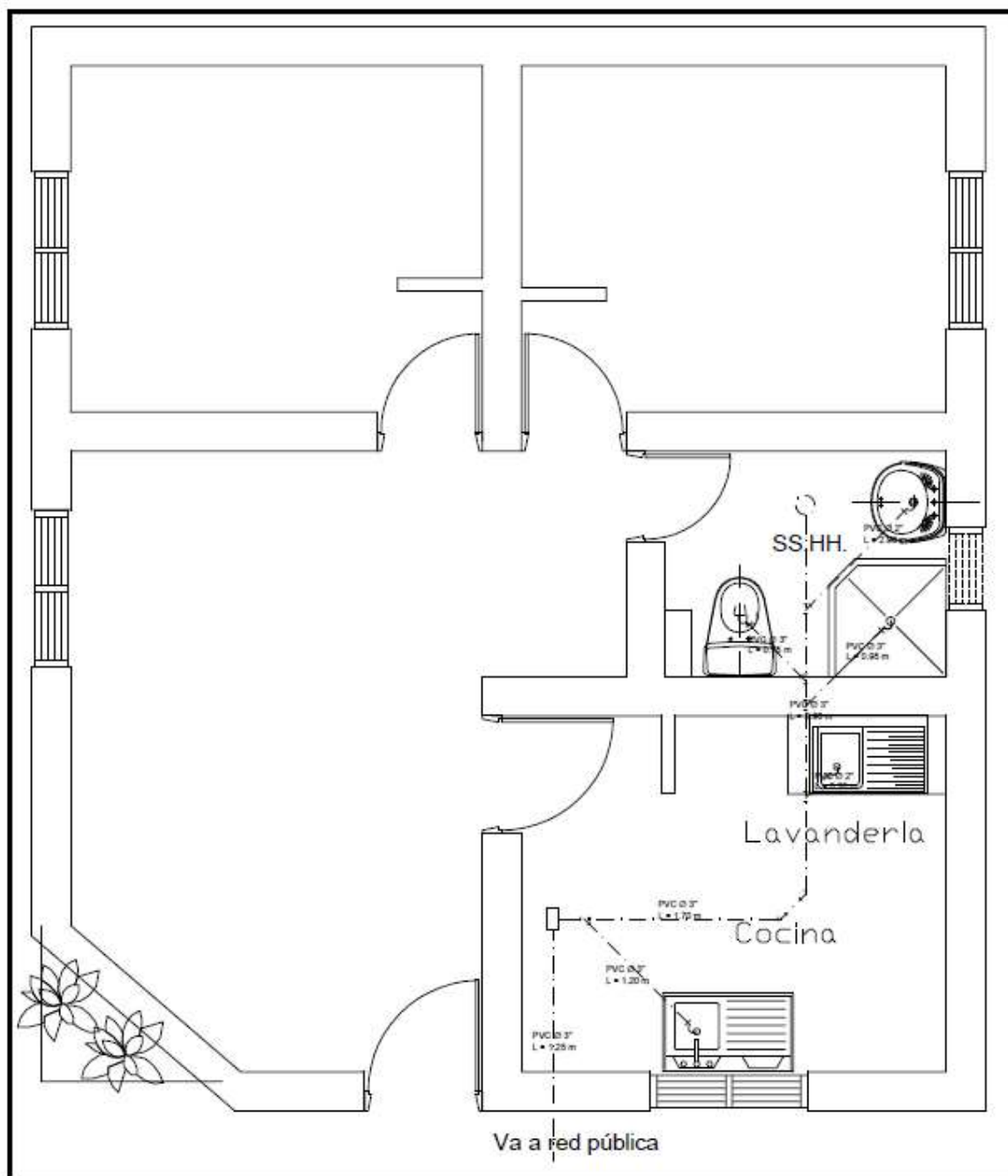


Figura 3.11 Red de desagüe

○ Eléctricas:

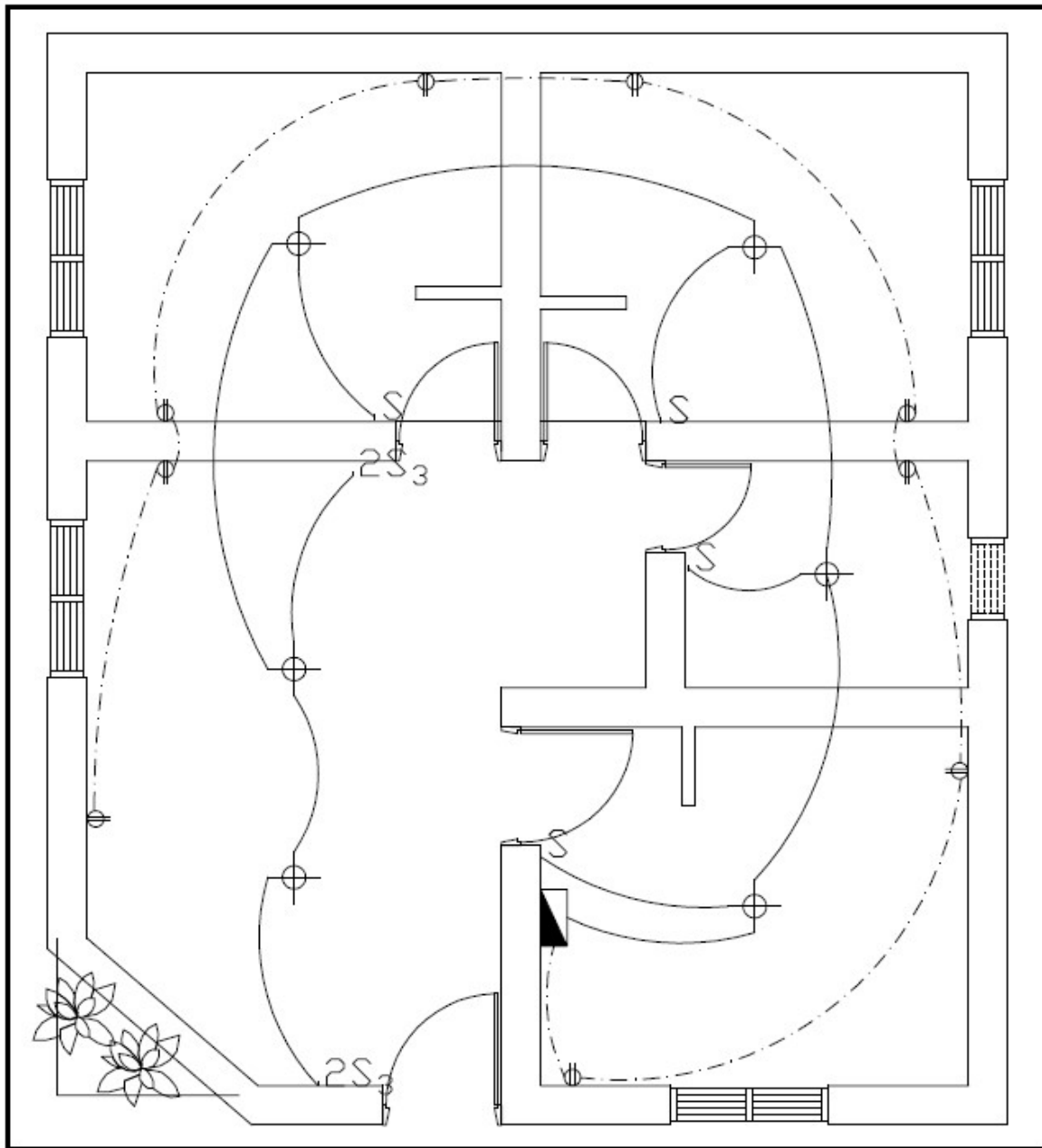


Figura 3.12 Instalación eléctrica

2. Vivienda de albañilería confinada

- Arquitectura

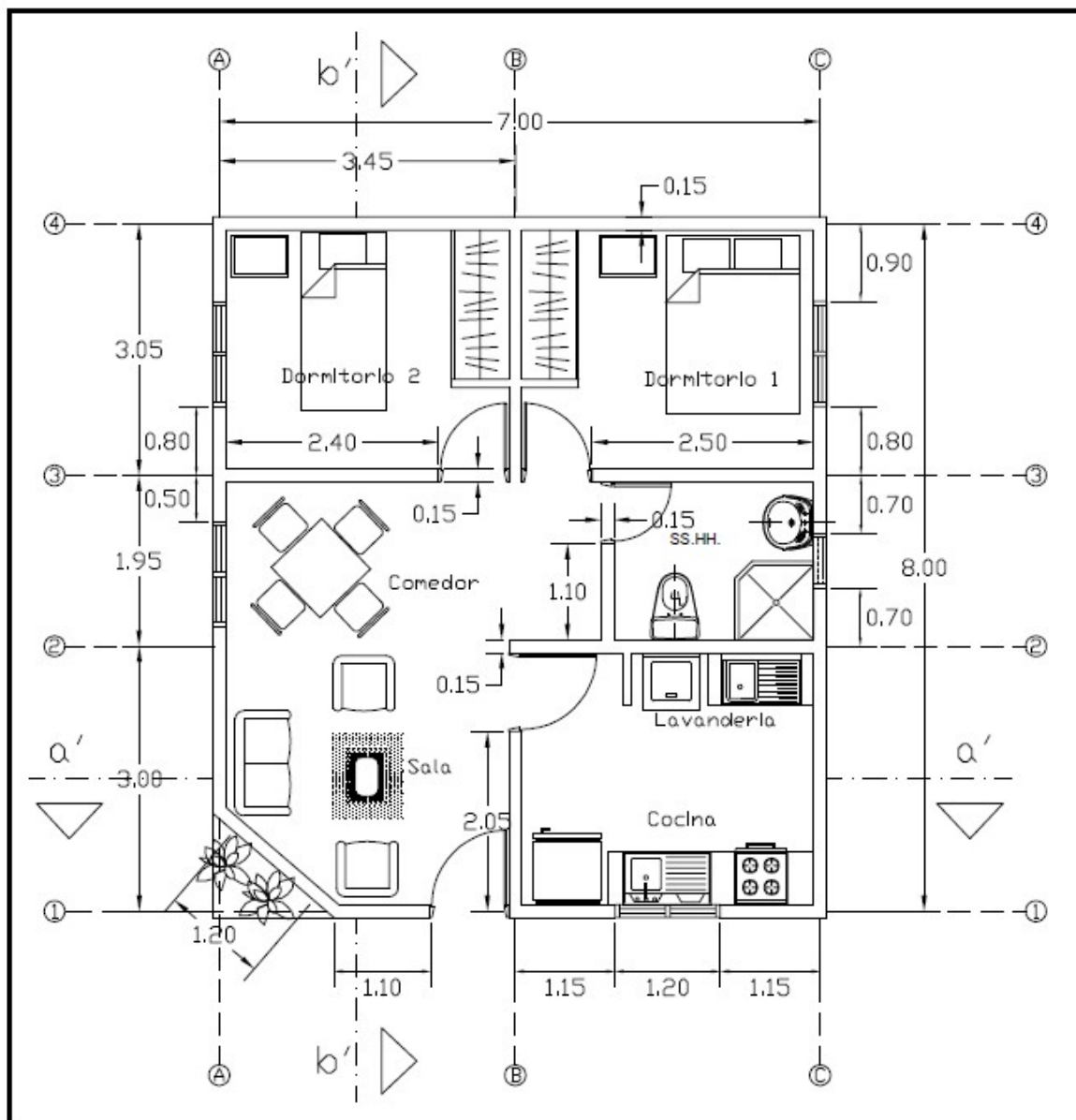


Figura 3.13 Arquitectura en planta.

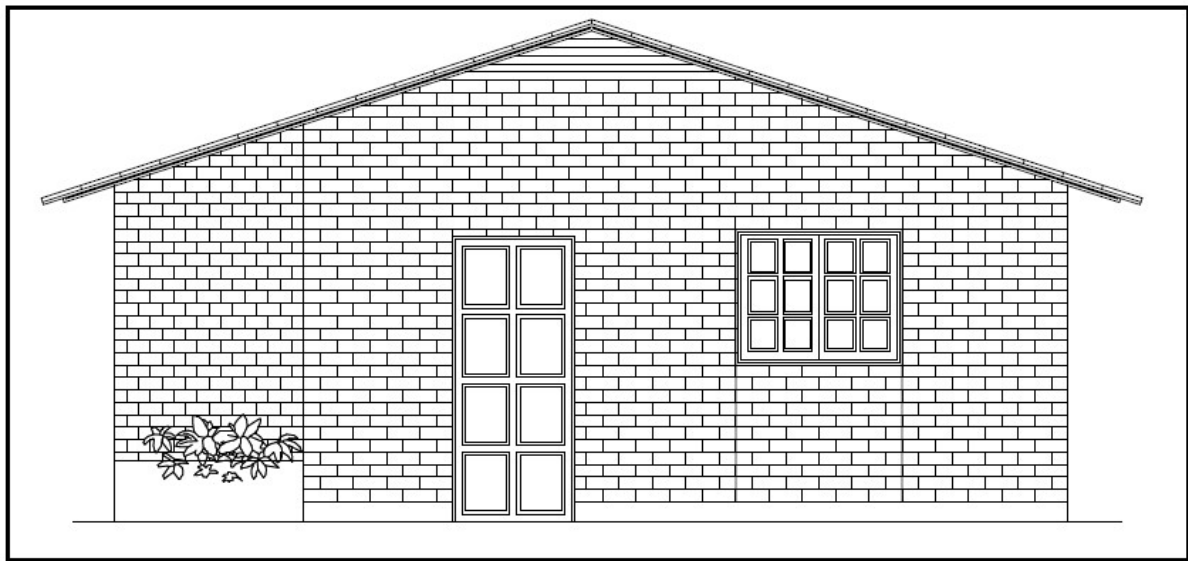


Figura 3.14 Elevación frontal de la vivienda

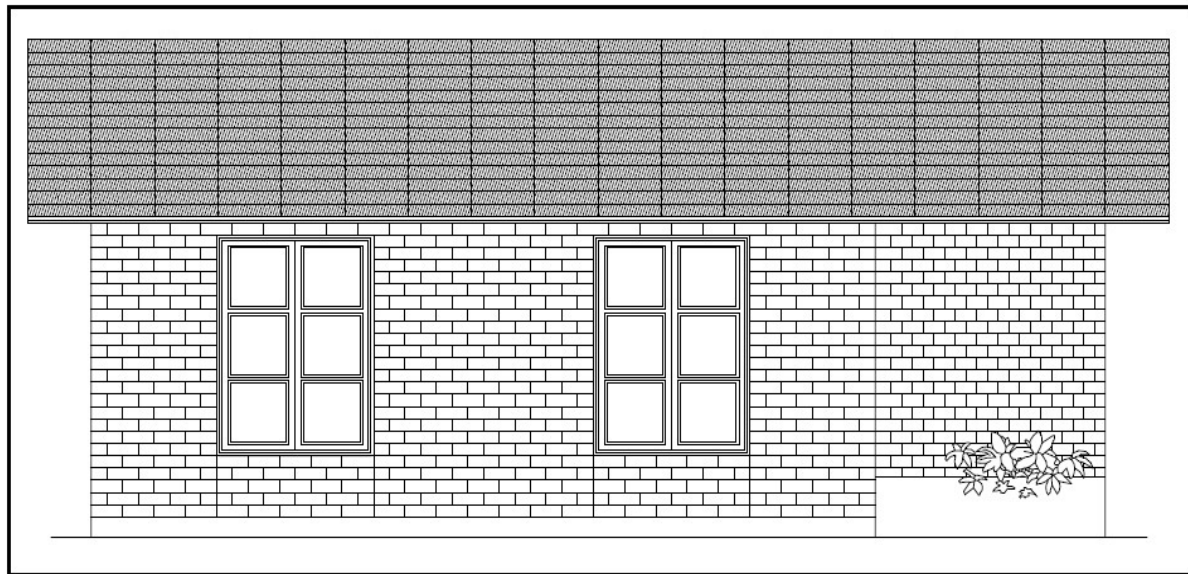


Figura 3.15 Elevación lateral de la vivienda

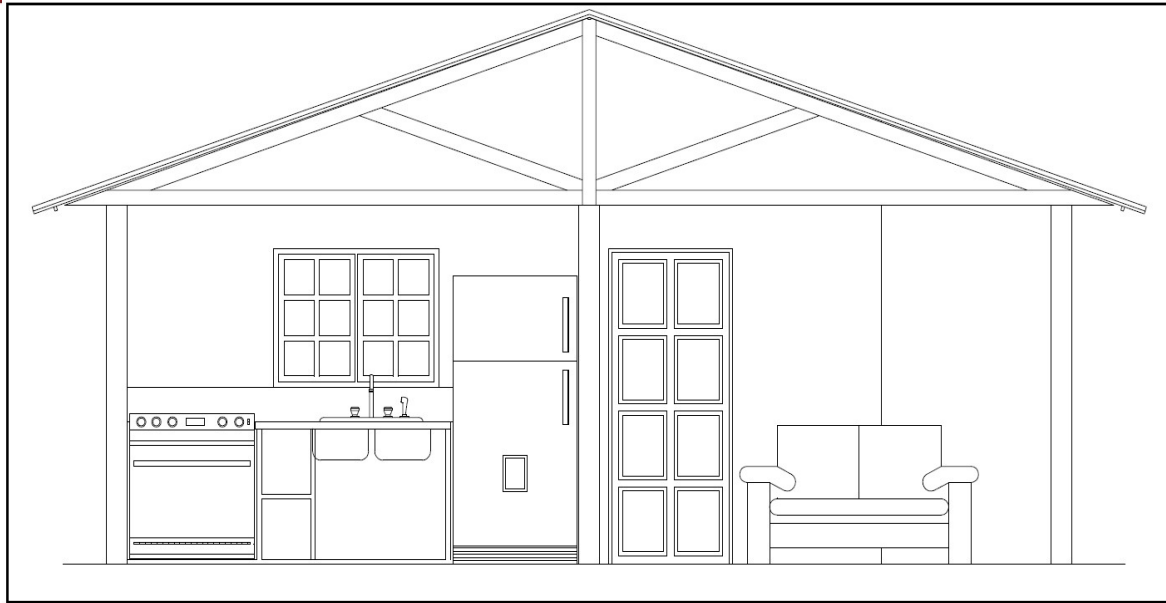


Figura 3.16 Corte a' – a'

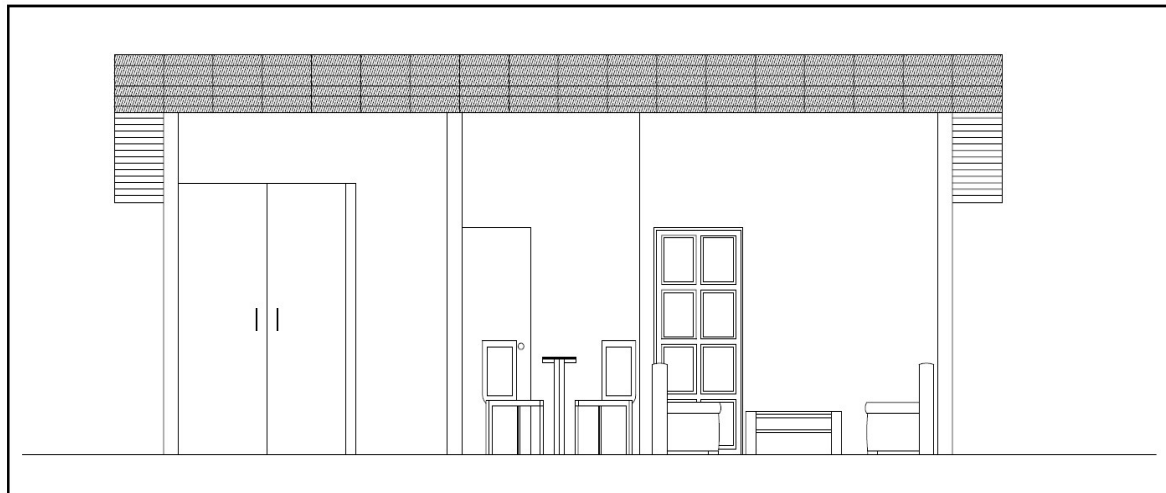


Figura 3.17 Corte b' – b'

- Estructuras

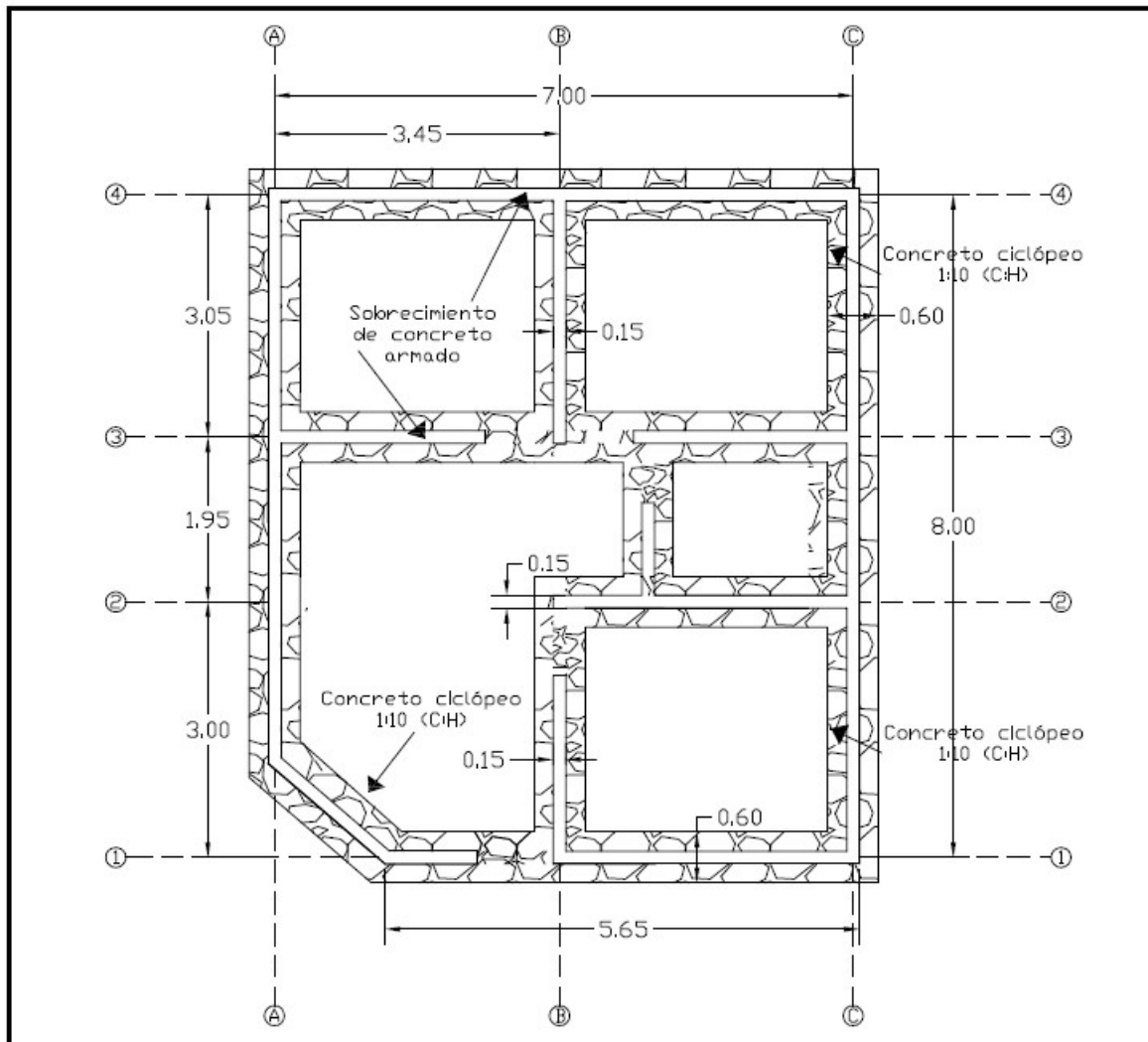


Figura 3.18 Cimentación

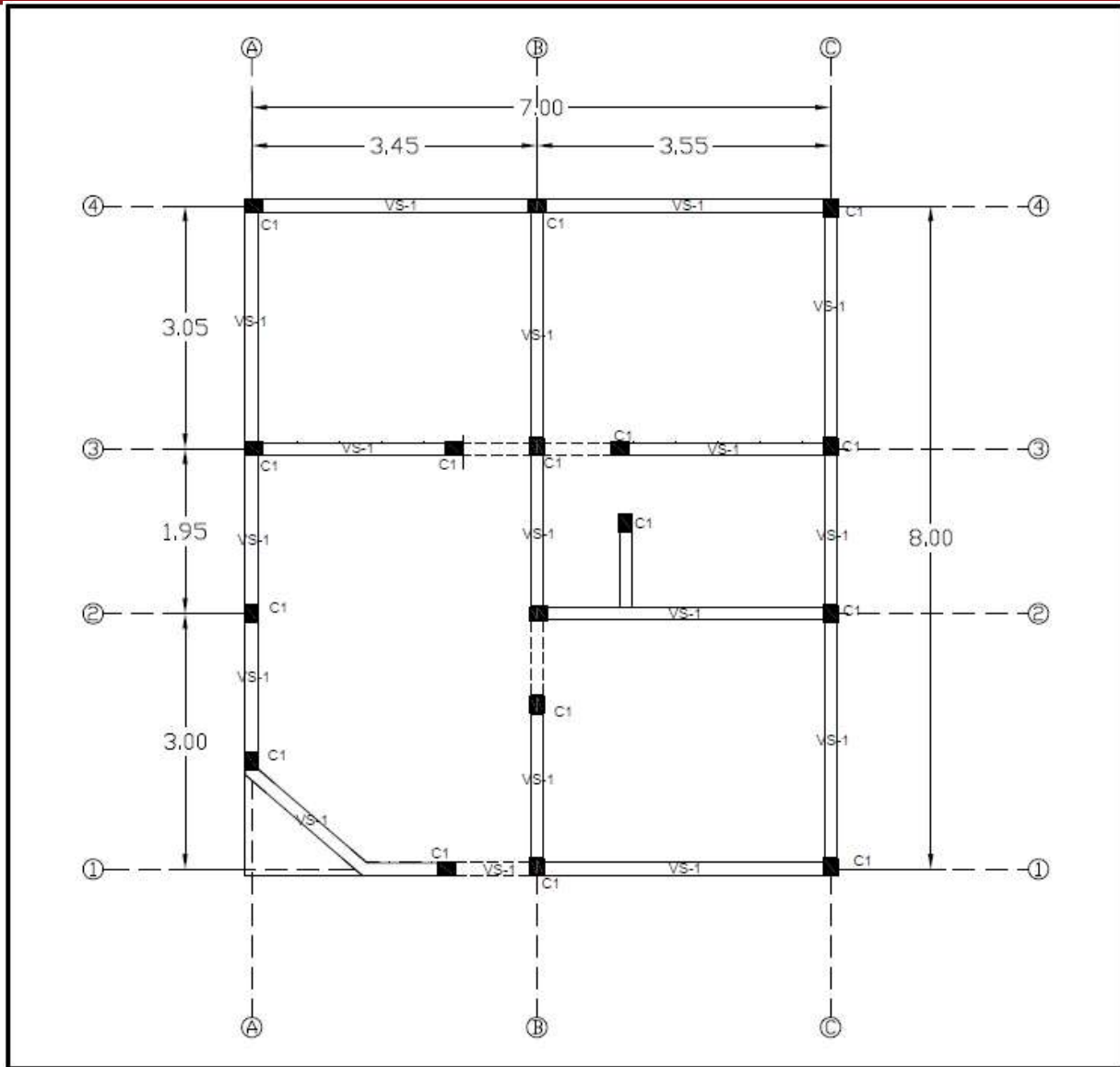


Figura 3.19 Vigas y columnas.

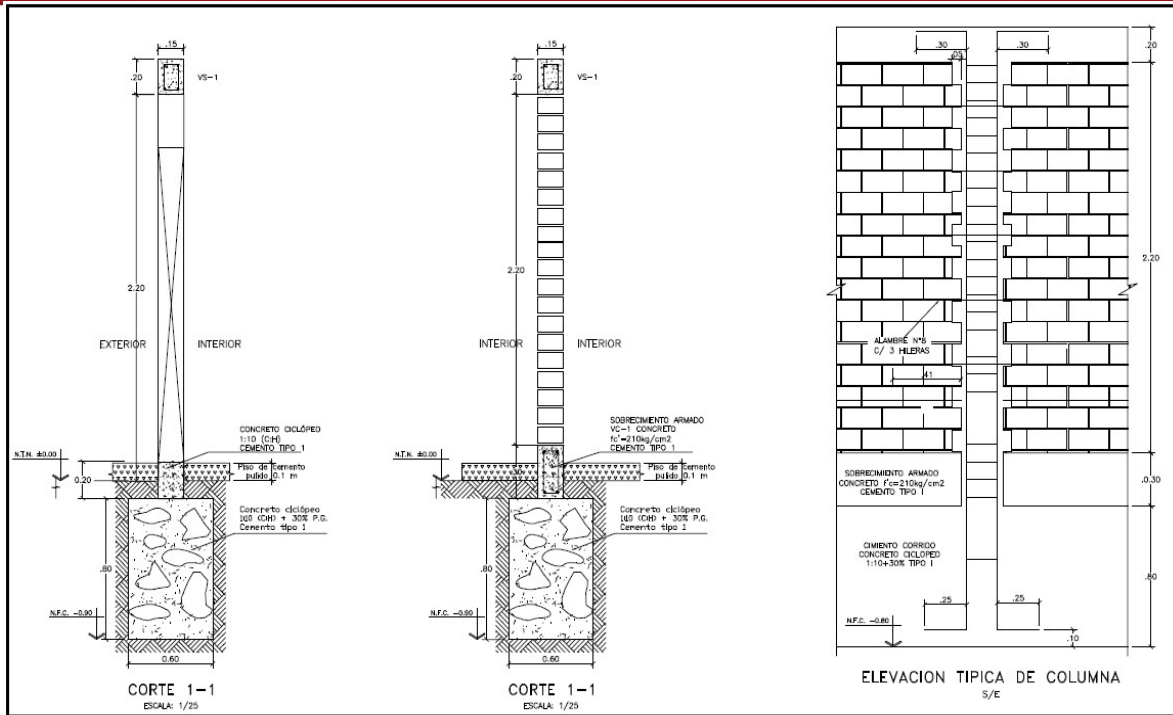


Figura 3.20 Detalle de muro

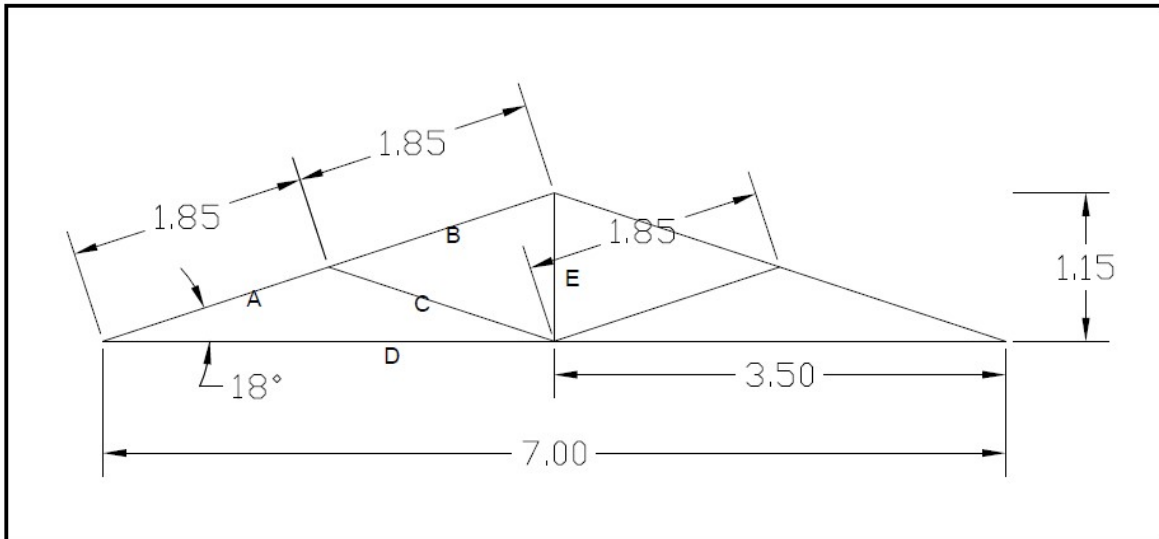


Figura 3.21 Detalle de tijeral típico

- Instalaciones
 - Sanitarias:

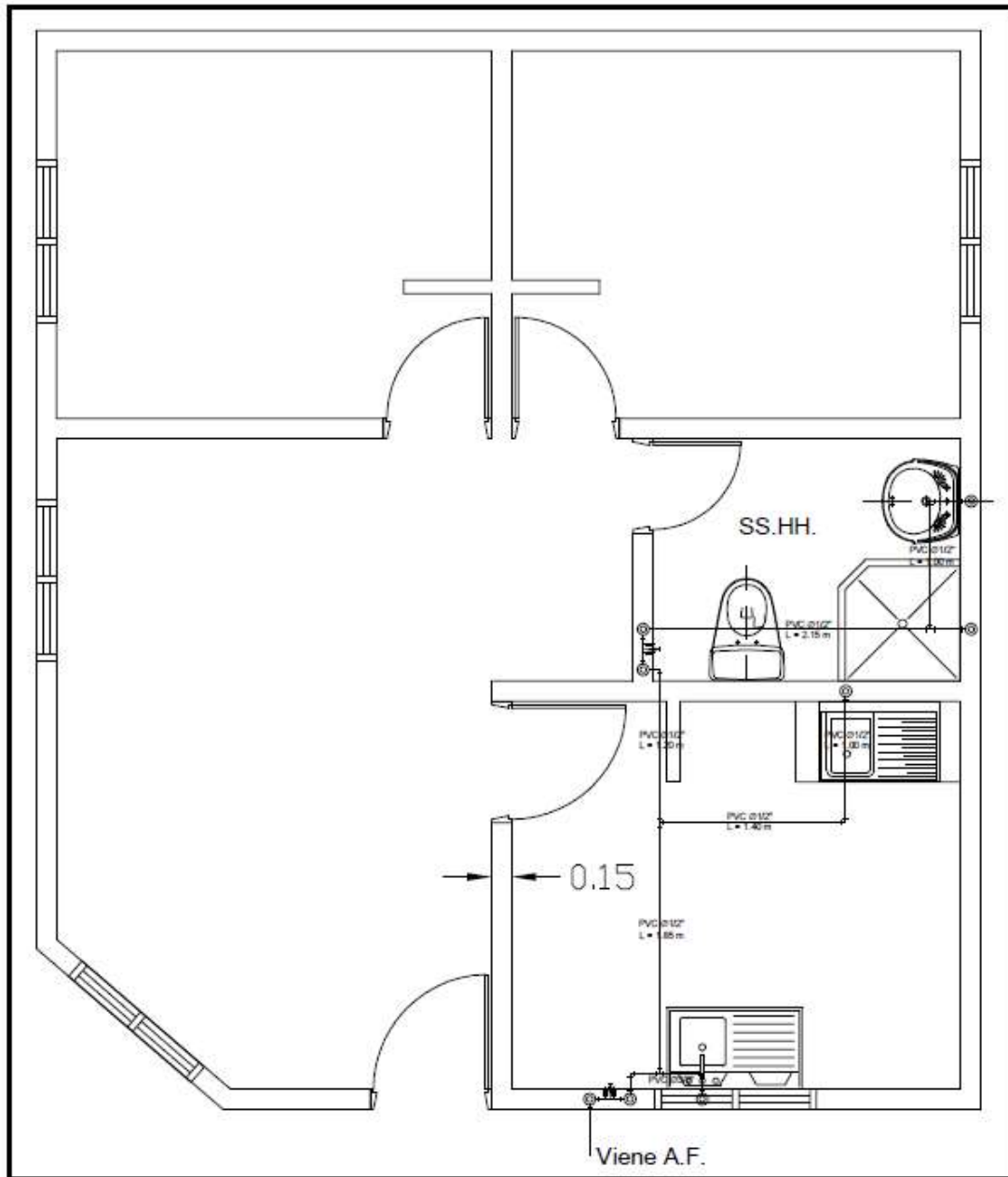


Figura 3.22 Instalación de agua fría

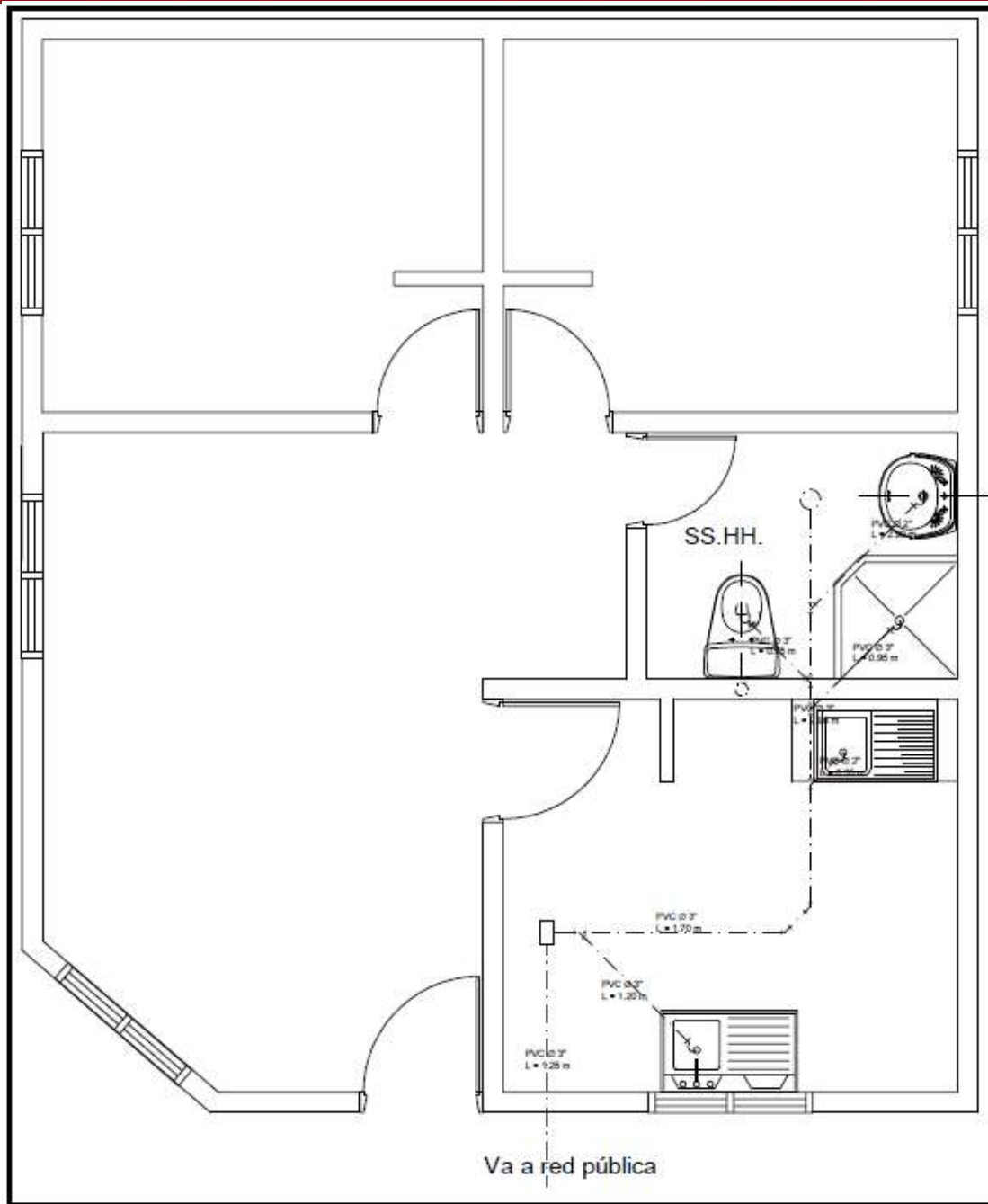


Figura 3.23 Red de desagüe

- Eléctricas:

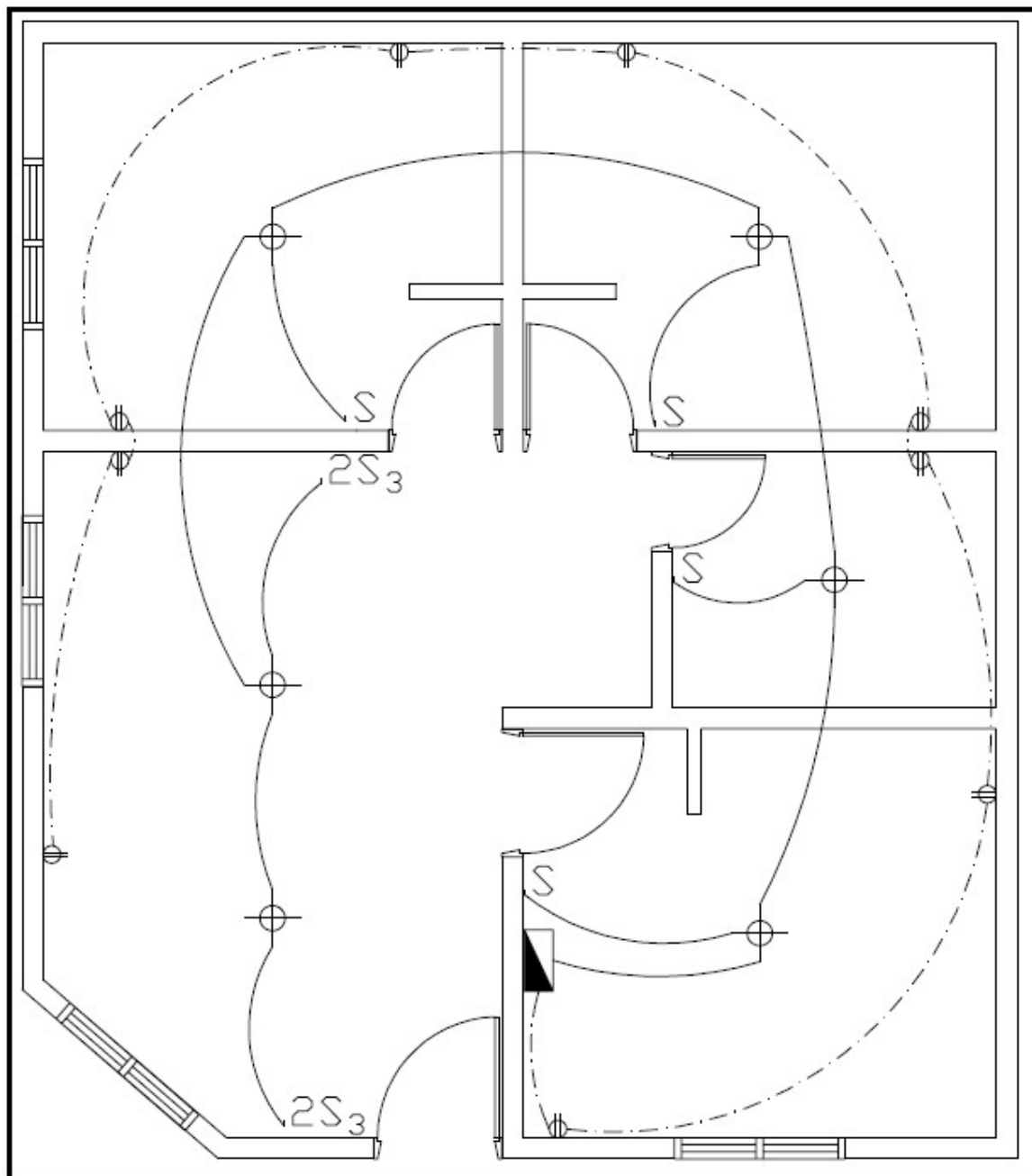
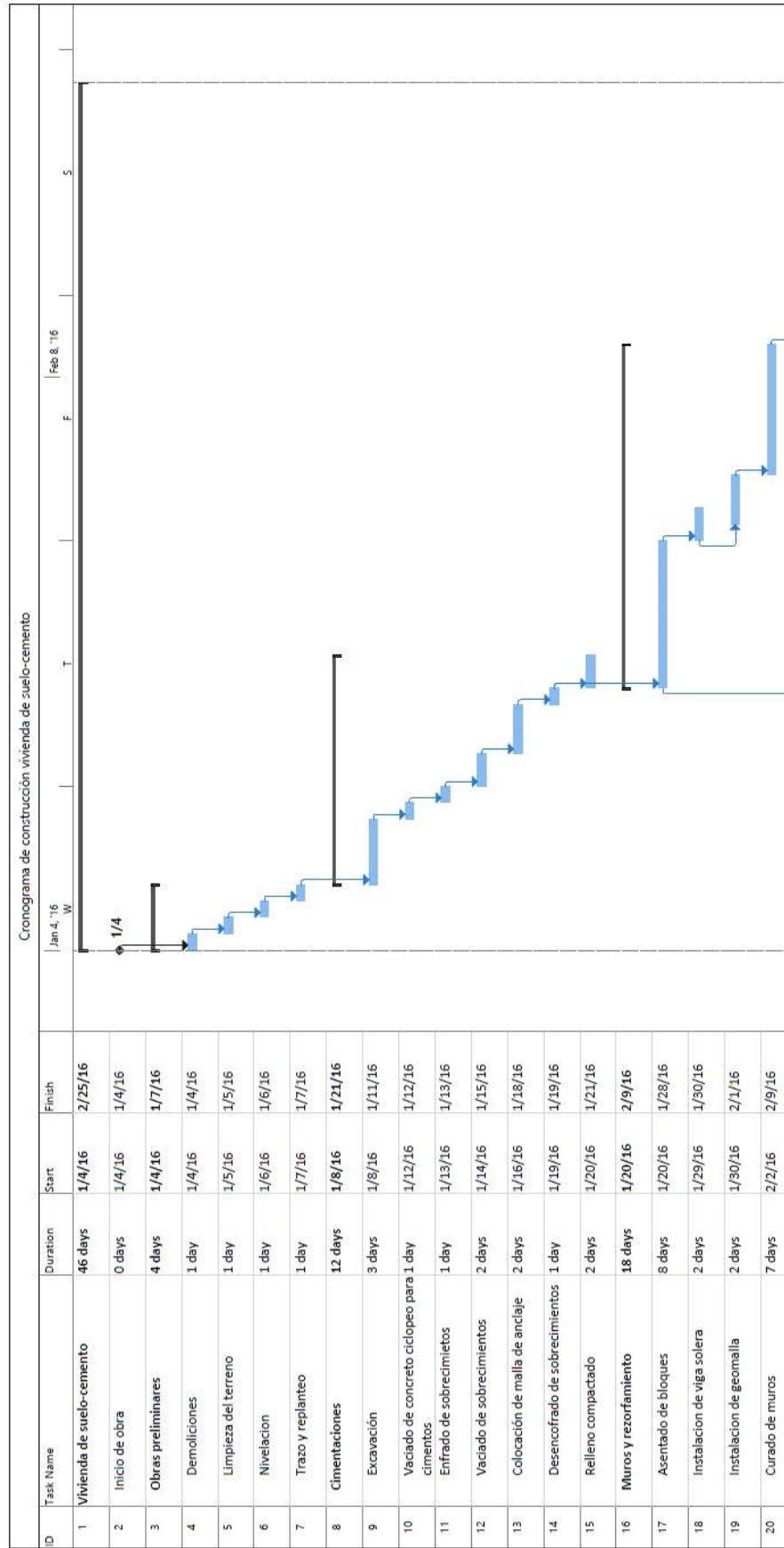
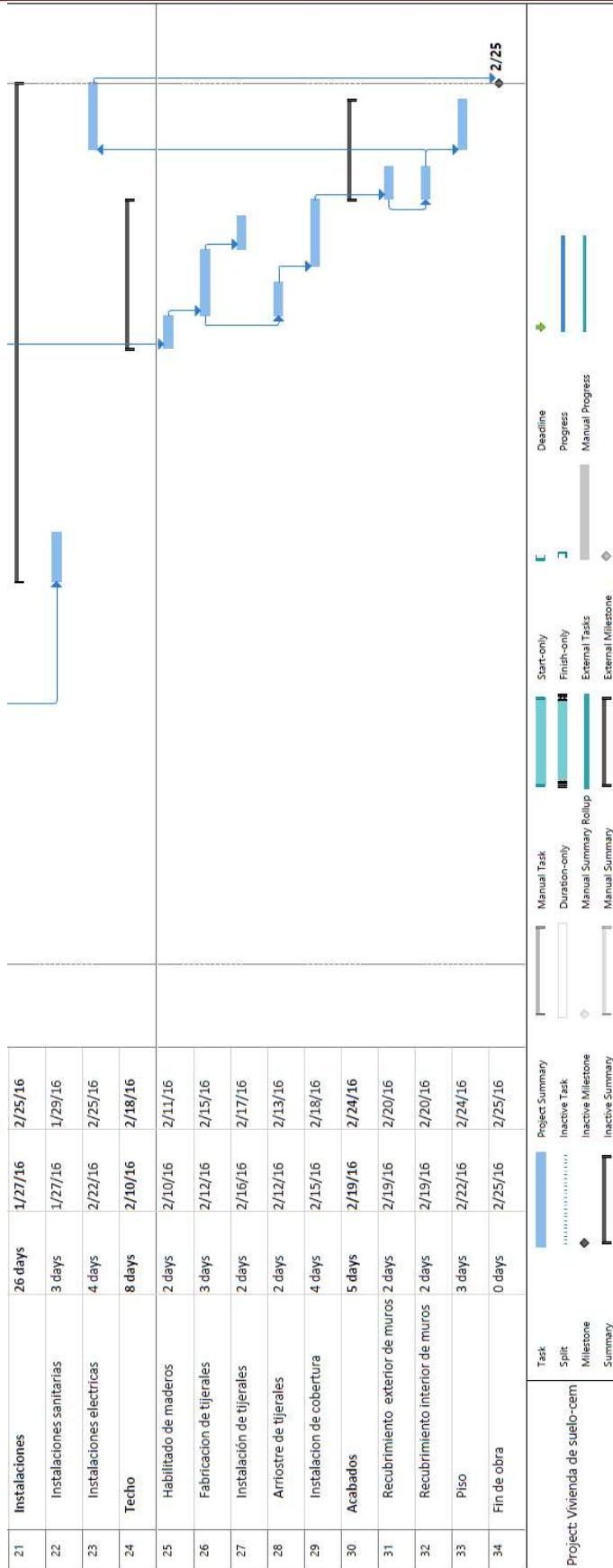


Figura 3.24 Eléctrica

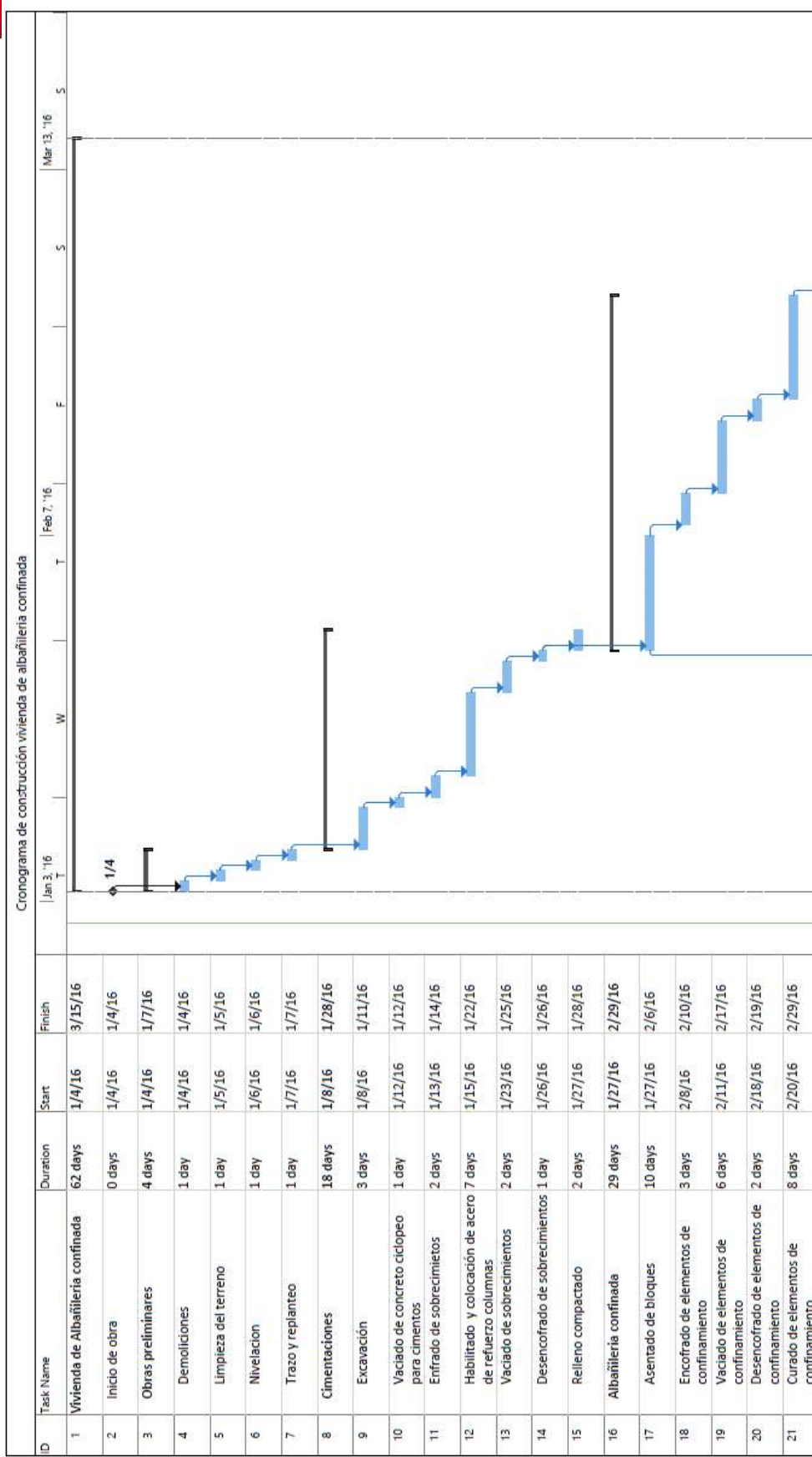
ANEXO 4: CRONOGRAMA SEGÚN VIVIENDA

- Cronograma para la vivienda de suelo-cemento

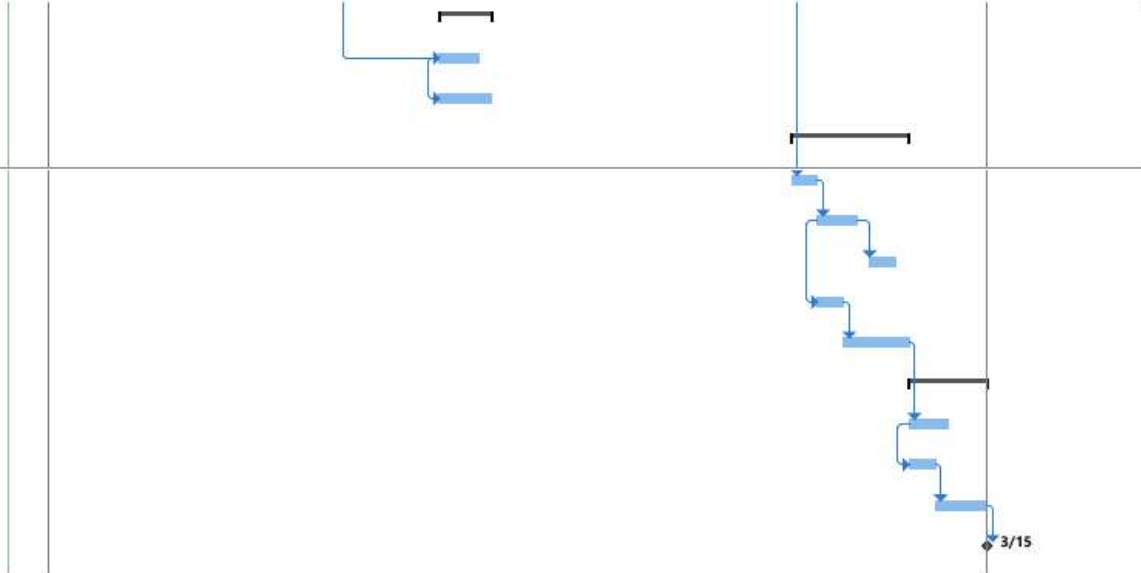




- Cronograma para la vivienda de albañilería



22	Instalaciones	4 days	2/3/16	2/6/16
23	Instalaciones sanitarias	3 days	2/3/16	2/5/16
24	Instalaciones electricas	4 days	2/3/16	2/6/16
25	Techo	8 days	3/1/16	3/9/16
26	Habilitado de maderos	2 days	3/1/16	3/2/16
27	Fabricacion de tijerales	3 days	3/3/16	3/5/16
28	Instalación de tijerales	2 days	3/7/16	3/8/16
29	Arriostre de tijerales	2 days	3/3/16	3/4/16
30	Instalacion de cobertura	4 days	3/5/16	3/9/16
31	Acabados	5 days	3/10/16	3/15/16
32	Recubrimiento exterior de muros	3 days	3/10/16	3/12/16
33	Recubrimiento interior de muros	2 days	3/10/16	3/11/16
34	Piso	3 days	3/12/16	3/15/16
35	Fin de obra	0 days	3/15/16	3/15/16



Project: Vivienda de albañileria	Task	Project Summary	Manual Task	Start-only	Deadline
	Split	Inactive Task	Duration-only	Finish-only	Progress
	Milestone	Inactive Milestone	Manual Summary Rollup	External Tasks	Manual Progress
	Summary	Inactive Summary	Manual Summary	External Milestone	Milestone