



TÉSIS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

PROTOTIPOS DE VIVIENDA DE BAJO COSTO CON BASE EN POLIMEROS RECICLADOS

PRESENTADO POR:

WILMER LINARES MENDOZA

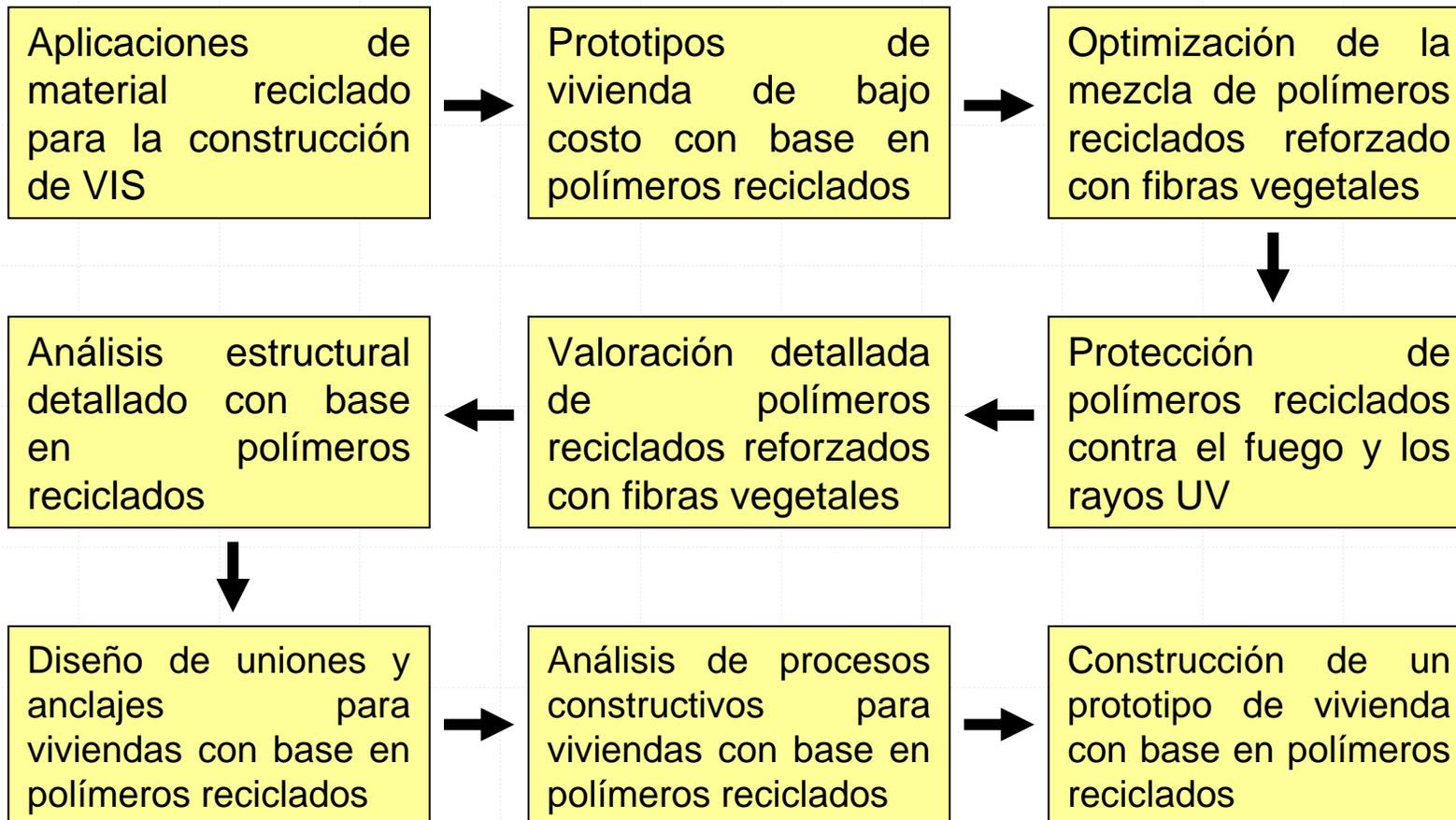
ASESOR:

ING. DIEGO ECHEVERRY

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
BOGOTÁ DC, 29 DE ENERO DE 2008**



Línea de Investigación



**DESARROLLO DE VIVIENDAS DE BAJO COSTO CON
BASE EN POLÍMEROS RECICLADOS**



INTRODUCCIÓN





INTRODUCCIÓN

1. Alternativa

3. Asequible por su precio a los hogares de menores ingresos

4. Que eleve la calidad de vida de los ciudadanos



Que concorra a la preservación del ambiente y al desarrollo sostenible de los centros urbanos

5. Que contribuya a tecnificar el uso de los materiales

2. Competitiva por su calidad

Plantear soluciones sostenibles de bajo costo que ayuden a resolver el déficit de vivienda; esto, sumado a la importancia de emplear materiales poco explorados, abundantes en el medio y que son en su mayoría desperdiciados.

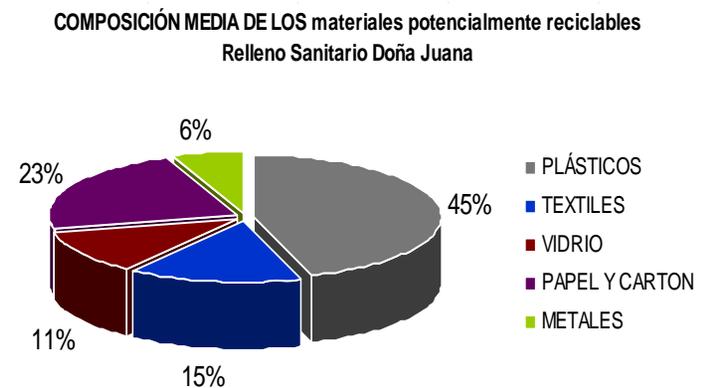


ANTECEDENTES

APLICACIONES DE MATERIAL RECICLADO PARA CONSTRUCCIÓN DE VIS

Asesor: Ing. Diego Echeverry Campos Ph.D

Ing. Fernando Acevedo Matos
Ing. Elías Majana Acosta



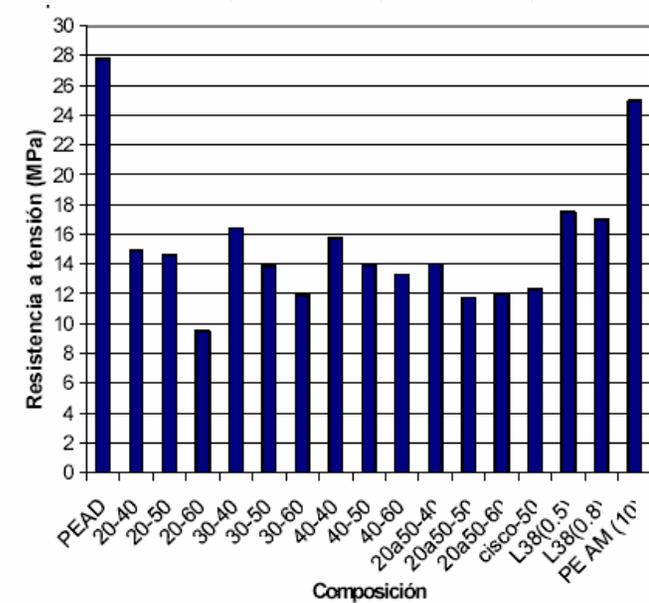


ANTECEDENTES

ESTUDIOS DE COMPATIBILIDAD EN PLÁSTICOS REFORZADOS CON FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS

CARLOS A. RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia





4. VIVIENDAS DE BAJO COSTO – DEFINICIÓN DE LA VIVIENDA TIPO

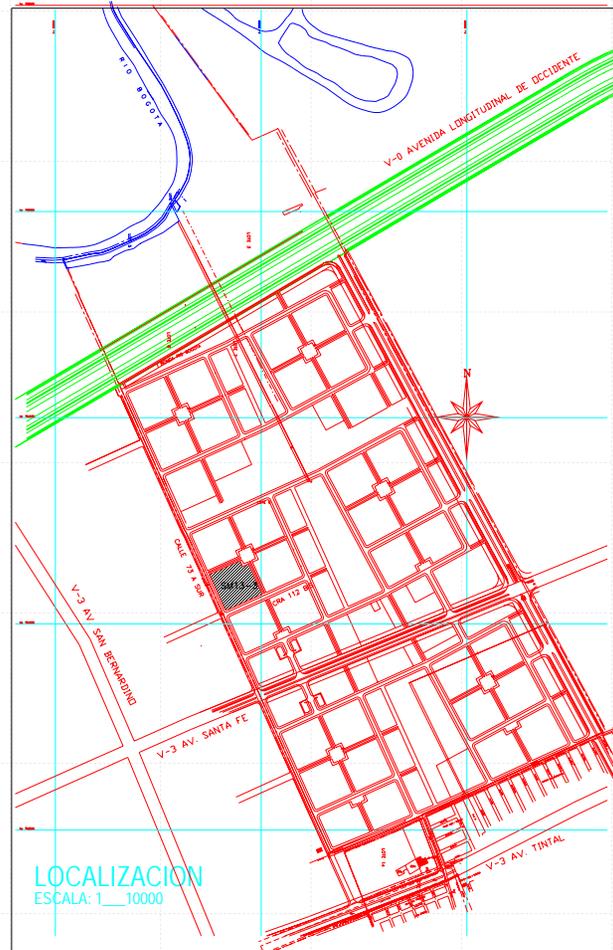
Vivienda de interés social: “aquellas que se desarrolle para garantizar el derecho a la vivienda de los hogares de menores ingresos” (Artículo 91, Ley 388 de 1997)

TIPO DE VIVIENDA	AREA MINIMA	CONFORMACION
Unidad básica	24 m ²	Espacio múltiple cocina baño ropas
Vivienda mínima	33 m ²	salón comedor cocina baño ropas 1 alcoba

INURBE, Normas mínimas de construcción.

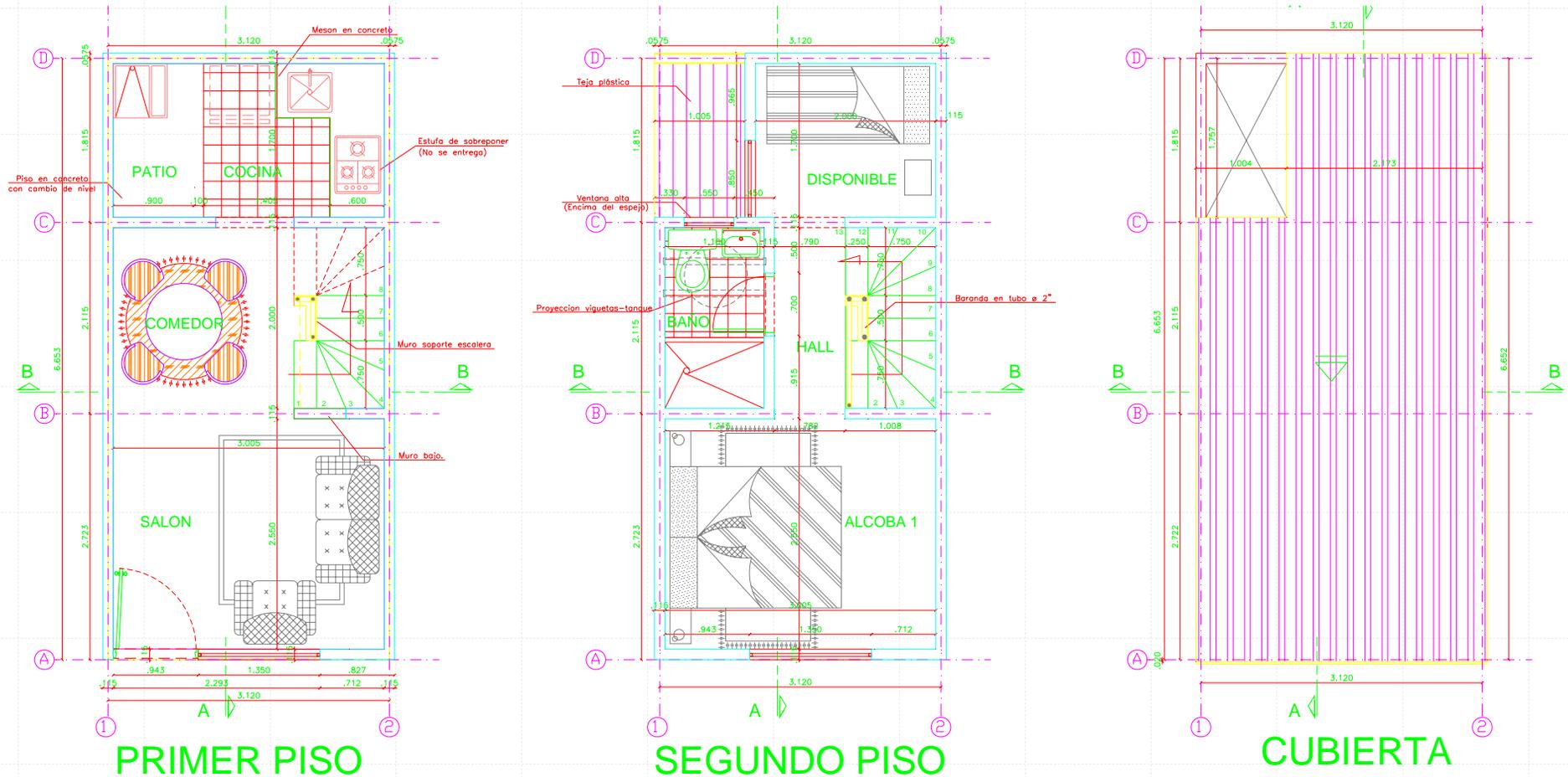


4. VIVIENDAS DE BAJO COSTO – DEFINICIÓN DE LA VIVIENDA TIPO



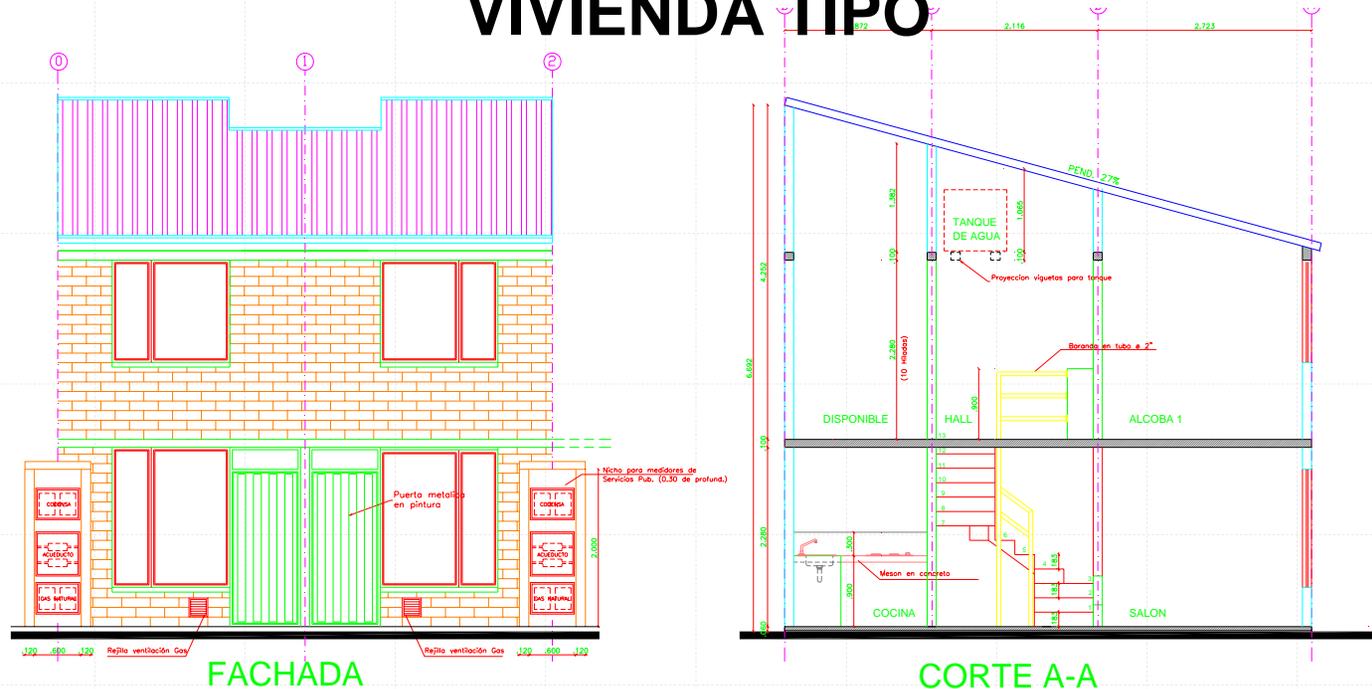


4. VIVIENDAS DE BAJO COSTO – DEFINICIÓN DE LA VIVIENDA TIPO





4. VIVIENDAS DE BAJO COSTO – DEFINICIÓN DE LA VIVIENDA TIPO

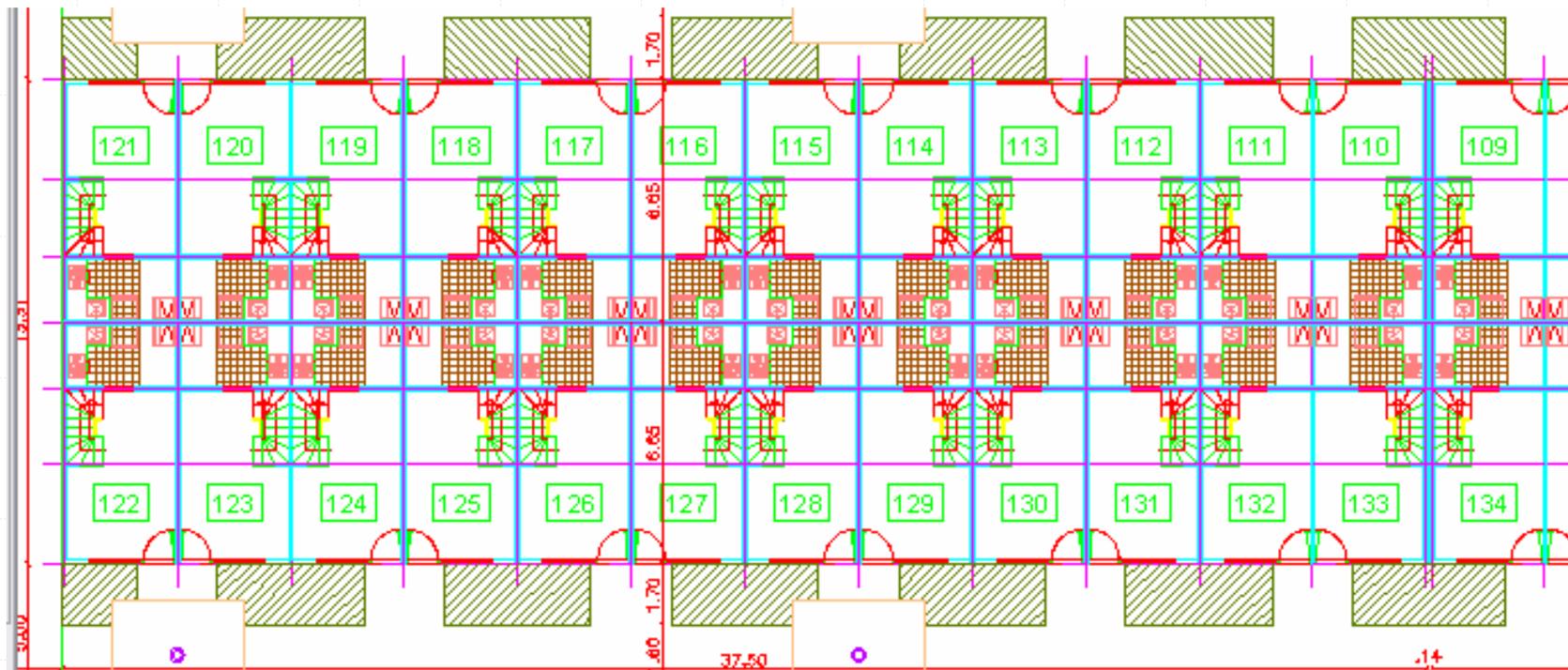


CUADRO DE AREAS

AREA DEL LOTE		20.75 M2
	AREA PRIVADA	AREA CONSTRUIDA
PRIMER PISO	19.10 M2	20.75 M2
SEGUNDO PISO	17.65 M2	19.09 M2
TOTAL	36.75 M2	39.84M2



4. VIVIENDAS DE BAJO COSTO – DEFINICIÓN DE LA VIVIENDA TIPO





5. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO Y REFORZADO CON FIBRAS VEGETALES

5.1 Polietileno de alta densidad - PEAD

Propiedad	Unidad	PEAD*
Densidad	g/cm ³	0.935 – 0.975
Módulo de elasticidad - E	MPa	1000 (700 – 1400)
Resistencia a tensión	MPa	27.5 (20 – 30)
Resistencia a compresión	MPa	21
Resistencia a corte	MPa	21

Propiedades del PEAD

- Resistente a las bajas temperaturas;
- Alta resistencia a la tensión y a la compresión;
- Baja densidad en comparación con metales u otros materiales;
- No tóxico;
- Poca estabilidad dimensional ([creep](#))

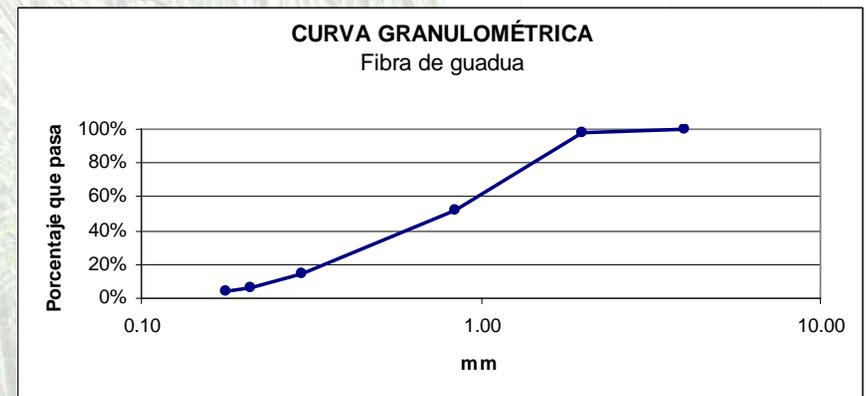


5. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO Y REFORZADO CON FIBRAS VEGETALES

5.2 Agentes Coadyuvantes - Cargas

La guadua como agente coadyuvante – Entorno colombiano

TAMIZ		Peso retenido (gr)	% Pasa
N°	(mm)		
5	4.000	0.0	100.0%
10	2.000	4.2	97.9%
20	0.841	92.5	51.6%
50	0.297	74.4	14.4%
70	0.210	15.6	6.6%
80	0.177	5.8	3.7%
Fondo		7.4	0.0%
TOTAL		200.0	



Granulometría de la muestra de fibra de guadua



5. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO Y REFORZADO CON FIBRAS VEGETALES

5.3 *Agente de Acople*



OREVAC 18307® (Arkema) es un injerto de anhídrido maléico de polietileno de alta densidad,



5. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO Y REFORZADO CON FIBRAS VEGETALES

5.4 Mezcla de PEAD reciclado y reforzado con fibras

Propiedad	PEAD reforzado
Módulo de elasticidad	2000 – 2200 MPa
Resistencia a la tensión	14 -25 MPa
Resistencia a la compresión	24 - 34 MPa
Resistencia a cortante	32 - 37 MPa

Propiedades mecánicas del PEAD - reforzado con fibras



5. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO Y REFORZADO CON FIBRAS VEGETALES

5.5 Mezcla propuesta: PEAD reciclado y reforzado con fibras de guadua



PEAD reciclado – peletizado
60% en peso



Fibra de guadua “aserrin”
40% en peso

=



Mezcla en seco PEAD (60%),
fibra de guadua (40%) y
Anhídrido maléico



5. POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO Y REFORZADO CON FIBRAS VEGETALES

5.5 Mezcla propuesta: PEAD reciclado y reforzado con fibras de guadua

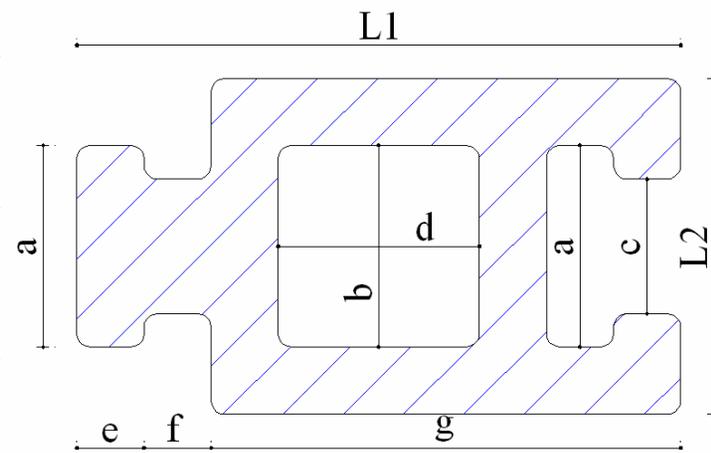
CONDICIÓN	PROPIEDAD	VALOR
Tensión	Módulo de elasticidad	1850.0 MPa
	Esfuerzo de fluencia	13.4 MPa
	Resistencia última	17.1 MPa
Compresión	Módulo de elasticidad	249.1 MPa
	Esfuerzo de fluencia	5.6 MPa
	Resistencia última	10.7 MPa
Cortante	Resistencia última	5.2 MPa

Propiedad	PEAD reforzado
Módulo de elasticidad	2000 – 2200 MPa
Resistencia a la tensión	14 -25 MPa
Resistencia a la compresión	24 - 34 MPa
Resistencia a cortante	32 - 37 MPa

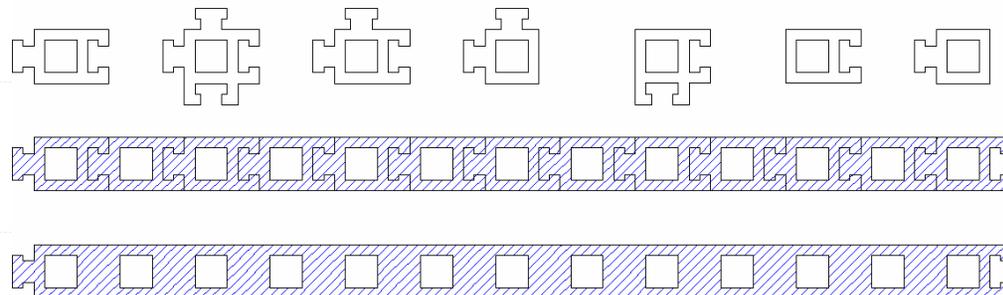
Propiedades mecánicas analizadas para la mezcla de PEAD reciclado (60%), reforzada con fibra de guadua (40%)



6. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL



Sección tipo del perfil propuesto



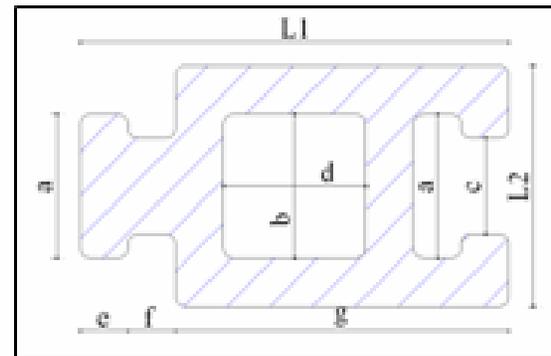
Conformación del sistema macho-hembra para la generación de muros o losas



6. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

DIMENSIONES LOSA - MÓDULO DE ENSAMBLE

L1:	0.250 m
L2:	0.110 m
a:	0.080 m
b:	0.080 m
c:	0.060 m
d:	0.190 m
e:	0.010 m
f:	0.010 m
g:	0.230 m



ÁREAS

Unitaria (por módulo)

Total	0.0253 m ²		
Llena	0.0101 m ²	39.9%	Ancho equivalente: 0.044 m
Vacía	0.0152 m ²	60.1%	

Por metro de ancho (muros o losas continuas)

Total	0.1100 m ² /m	
Llena	0.0439 m ² /m	39.9%
Vacía	0.0661 m ² /m	60.1%

INERCIAS

$$I_x = I_x + Ay^2 = 1.7E-05 \text{ m}^4$$

$$I_y = I_y + Ax^2 = 6.8E-05 \text{ m}^4$$

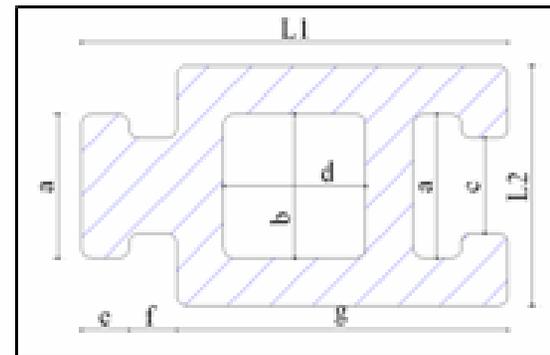




6. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL

DIMENSIONES MURO - MÓDULO DE ENSAMBLE

L1:	0.12 m
L2:	0.08 m
a:	0.06 m
b:	0.06 m
c:	0.04 m
d:	0.06 m
e:	0.01 m
f:	0.01 m
g:	0.1 m



ÁREAS

Unitaria (por módulo)

Total	0.0080 m ²		
Llena	0.0044 m ²	55.0%	Ancho equivalente: 0.044 m
Vacía	0.0036 m ²	45.0%	

Por metro de ancho (muros o losas continuas)

Total	0.0800 m ² /m	
Llena	0.0440 m ² /m	55.0%
Vacía	0.0360 m ² /m	45.0%

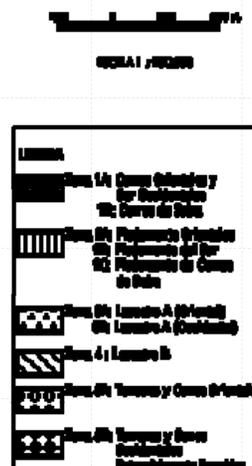
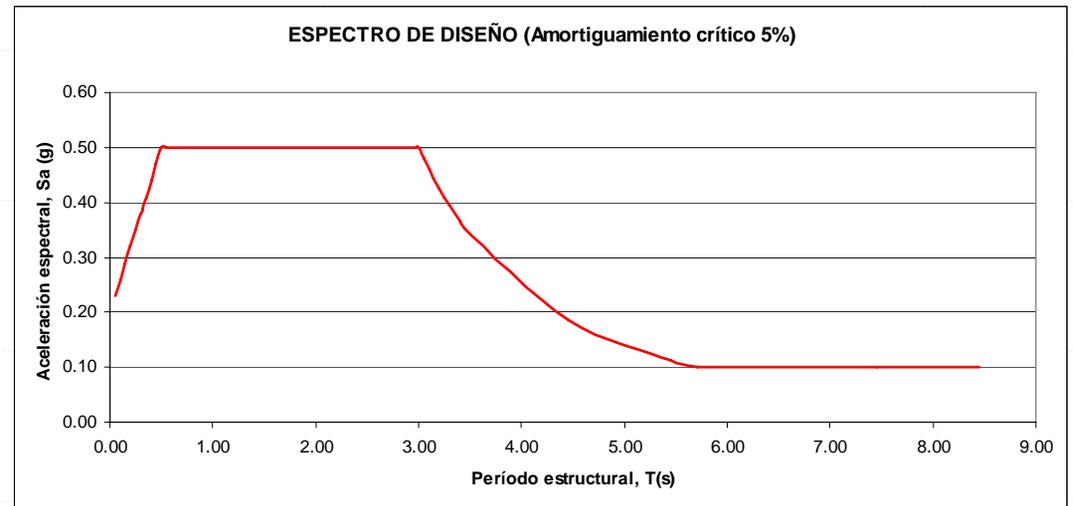
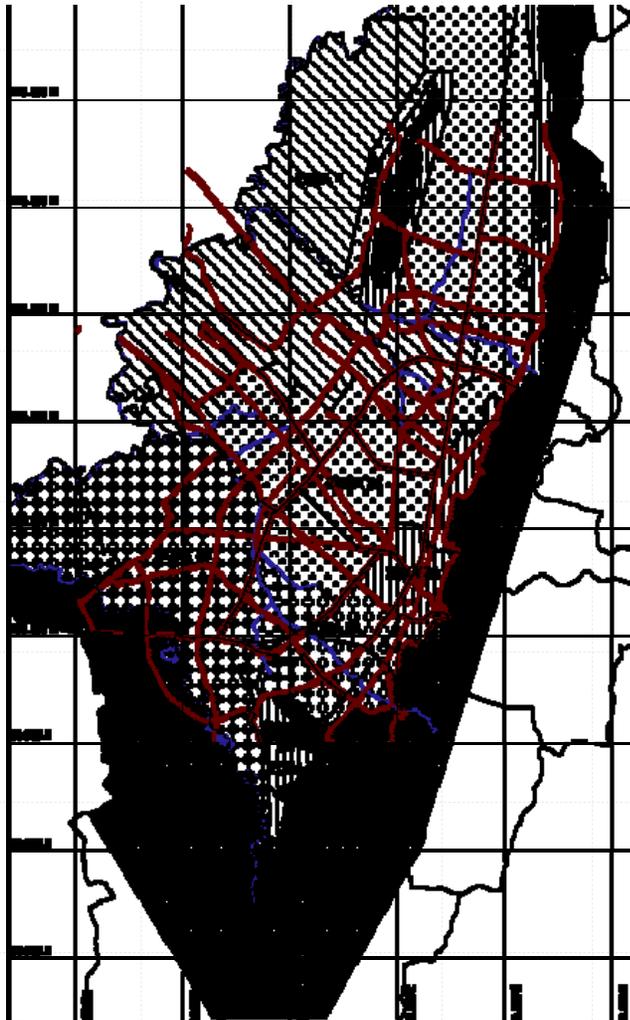
INERCIAS

$$I_x = I_x + Ay^2 = 3.2E-06 \text{ m}^4$$

$$I_y = I_y + Ax^2 = 6.4E-06 \text{ m}^4$$



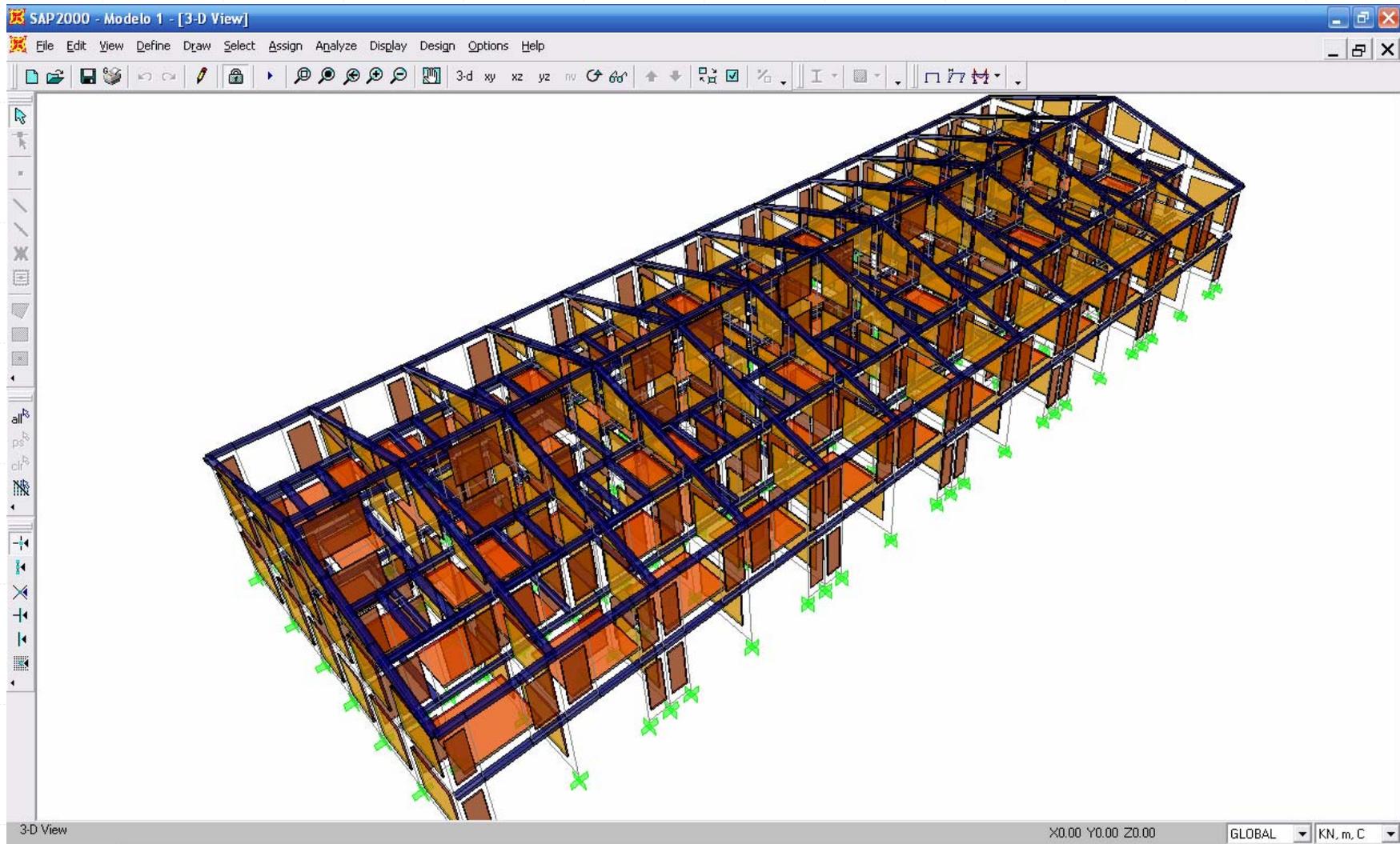
6. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL



ZONA 5 - TERRAZAS	
To	0.50
Tc	3.00
TL	5.71
Am	0.20
An	0.30
Fa	1.00
Fv	25.98

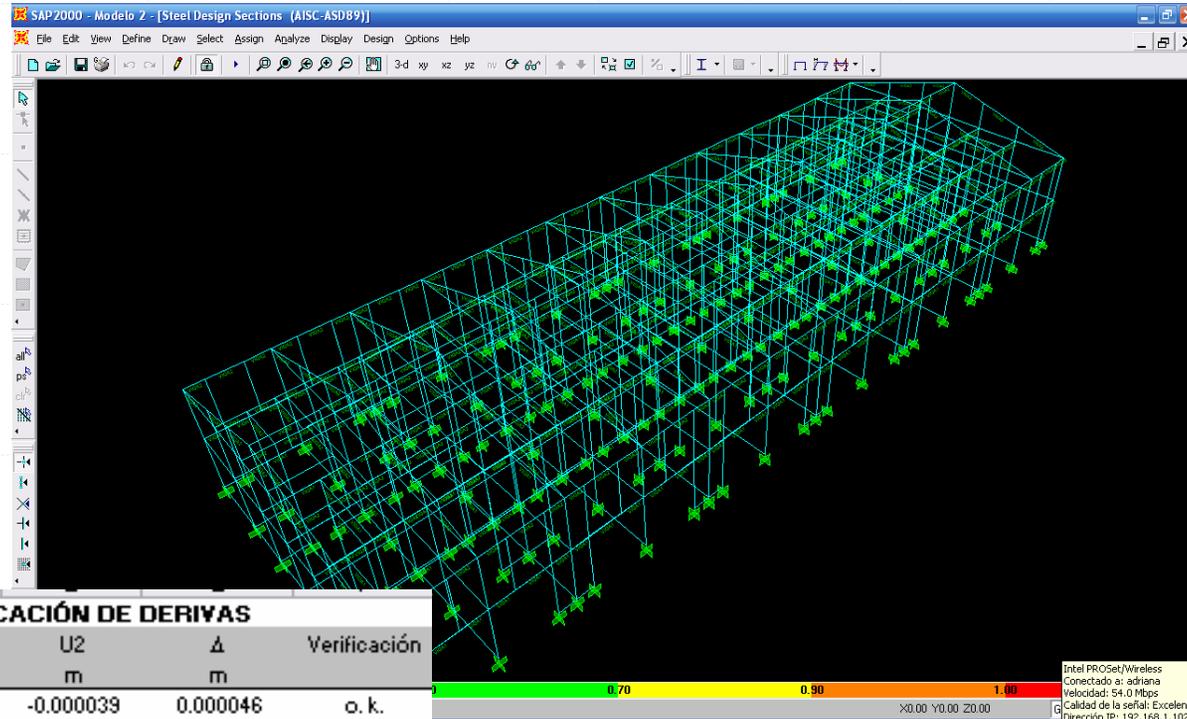


6. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL





6. DEFINICIÓN Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL



VERIFICACIÓN DE DERIVAS				
Joint	U1	U2	Δ	Verificación
Text	m	m	m	
4	-0.000024	-0.000039	0.000046	o. k.
4	-0.000040	-0.000057	0.000070	o. k.
14	-0.000025	0.000057	0.000062	o. k.
14	-0.000042	0.000039	0.000057	o. k.
138	0.000001	-0.000043	0.000043	o. k.
138	0.000000	-0.000062	0.000062	o. k.
142	0.000000	0.000000	0.000000	o. k.
142	0.000000	0.000000	0.000000	o. k.
148	-0.000001	0.000062	0.000062	o. k.
148	-0.000003	0.000043	0.000043	o. k.
270	0.000042	-0.000041	0.000059	o. k.
270	0.000026	-0.000060	0.000065	o. k.
280	0.000047	0.000046	0.000066	o. k.
280	0.000028	0.000035	0.000045	o. k.
16	-0.000032	-0.000021	0.000038	o. k.

Verificación de diseño

Flexo compresión biaxial

$$\frac{P_u}{\phi_C P_n} \approx \frac{8}{9} \left[\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right] \leq 1.0$$



7. EVALUACIÓN DE COSTOS

7.1 Cantidades de material

Muros – Primer piso				
Área primer piso	29.66	m ²	Área total de muros	74.94 m ²
Volumen de muros primer piso	1.31	m ³	Volumen total de muros	3.30 m ³
Muros – segundo piso			Entrepiso	
Área segundo piso	45.28	m ²	Área losa de entrepiso	16.93 m ²
Volumen de muros segundo piso	1.99	m ³	Área los baño (tanque)	2.00 m ²
			Volumen de material	0.83 m ³
			Vigas cintas en cubierta	
			Metros lineales de viga	15.43 m
			Volumen de material	0.16 m ³
			VOLUMEN TOTAL DE MATERIAL	4.28 m³



7. EVALUACIÓN DE COSTOS

7.2 Valores unitarios del material

COSTO DIRECTO DEL MATERIAL

Compuesto	Valor unitario	Rendimiento	Valor por m ³
PEAD	385 /kg	57.1%	263,802 /m ³
Fibra de guadua	40 /kg	38.1%	18,288 /m ³
Anhídrido maléico	588 /kg	4.8%	33,869 /m ³
		Total	315,959 /m ³



7. EVALUACIÓN DE COSTOS

COSTO PROCESO DE EXTRUSIÓN

Rendimiento	18	kg/h
Valor por hora	18,000	/hr
Valor por kilo	1,000	/kg
Valor por metro cúbico	1,200,000	/m ³

COSTO DE PRODUCCIÓN DE LOS PERFILES

Costo directo material	315,959	/m ³
Costo indirecto proceso	1,200,000	/m ³
Costo administrativo	63,192	/m ³
Subtotal	1,579,151	/m ³
Impuestos IVA (16%)	252,664	
Total	1,831,815	/m ³

COSTO DE MANO DE OBRA

Costo por metro cúbico	\$	147,208	/m ³
AIU	\$	17,665	
IVA/U	\$	942	
Mano de obra	\$	165,815	/m ³
Total		1,997,630	/m³



7. EVALUACIÓN DE COSTOS

Presupuesto vivienda tipo (sistema tradicional) – precios de 2007

Mampostería	\$ 3,633,816
Estructura (sin escalera, ni cimentación)	6,101,193
Otros	9,219,927
TOTAL COSTOS DIRECTOS	\$ 18,954,936

COMPARACIÓN DE COSTOS

\$9'735.009 vs \$8'558.900

Sistema tradicional vs nueva alternativa



7. EVALUACIÓN DE COSTOS

Condiciones favorables de la alternativa planteada:

- Mayores rendimientos en la ejecución de la obra, generando menores incidencias de los costos indirectos.
- Desarrollo de procesos constructivos más limpio.
- Reducción de los costos financieros por los menores tiempos de ejecución de la obra.
- Reducción de costos por alquileres de formaletas y equipos.
- Supresión de costos por acabados.

Condiciones desfavorables de la alternativa planteada:

- Los costos que genera el proceso constructivo, en especial lo referente a los anclajes requeridos.
- Las falencias que presenta el material frente al fuego.
- El impacto cultural de un nuevo sistema constructivo, especialmente cuando se trata de "plástico reciclado".



8. CONCLUSIONES

- Factibilidad del uso del PEAD reciclado y reforzado bajo las siguientes restricciones: (1) las fibras deben ser de carácter vegetal, (2) se debe lograr una mezcla óptima.
- Validez de explorar nuevas alternativas de materiales.
- Aunque la mezcla propuesta, no es la más apropiada; sin embargo es una alternativa adecuada para la evaluación y las exigencia de costos requerida.
- Paralelamente, en cuanto a las cualidades del material y su desempeño en el manejo constructivo de las viviendas, ofrece una serie de ventajas competitivas frente a los sistemas constructivos tradicionales que redundan en menores costos de la vivienda que se genere.



9. RECOMENDACIONES

- Profundizar en varios factores básicos: (1) una mezcla óptima (2) analizar las implicaciones de la temperatura en el moldeo (3) verificar la oferta de agentes de acople apropiados para este tipo de mezclas.
- Adelantar evaluaciones financieras más detalladas que involucren, la reducción de los costos financieros, los menores valores generados con base en la omisión de acabados que se requieran, los mayores costos por el proceso constructivo en especial los sistemas de anclaje y las incidencias de la protección térmica del material, así como la protección de los rayos ultra violeta.