

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIO DE TEJAS DE MICROCEMENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN  
TALLER DE PRODUCCIÓN**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**DANNY YOEL CHÁVEZ ROJAS**

**Lima- Perú**

**Digitalizado por:**

**2014**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

A mi madre Gloria, por su  
esfuerzo y gran tesón para  
salir adelante, por nunca  
perder la fe en mí, gracias  
por todo madre.

## **RECONOCIMIENTOS**

El presente proyecto de investigación conto con el apoyo del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil IIFIC – UNI 2013-2014, por el cual agradezco este apoyo desinteresado.

Agradezco al Laboratorio N° 1 Ensayo de Materiales LEM "ING. MANUEL GONZALES DE LA COTERA", al Mag. Ing. CARLOS VILLEGAS MARTÍNEZ por su ayuda desinteresada y a todas las personas que han contribuido con el desarrollo de la presente investigación, al personal del LEM en general mi mayor gratitud.

---

	Pág.
<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	10
<b>LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICOS</b> .....	13
<b>LISTA DE IMÁGENES</b> .....	14
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS</b> .....	16
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES</b> .....	19
1.1 HISTORIA DE LAS TEJAS Y SU PRODUCCIÓN EN EL PERÚ.....	19
1.2 TIPOS DE TEJA.....	24
1.2.1 Tejas según estilo.....	24
1.2.2 Tejas según el material de fabricación.....	27
1.3 TECNOLOGÍA DEL MICROCEMENTO.....	29
1.3.1 Ventajas del microcemento.....	29
1.3.2 Aplicaciones del microcemento.....	30
1.3.3 Mantenimiento y limpieza del microcemento.....	31
1.4 PRODUCCIÓN DE TEJAS DE MICROCEMENTO.....	32
1.4.1 Propiedades de la teja de microcemento.....	33
1.4.2 Producción de tejas de microcemento.....	34
1.4.2.1 <i>Fases de fabricación de tejas de microcemento</i> .....	34
1.4.2.2 <i>Equipamiento necesario</i> .....	35
1.4.2.3 <i>Proceso de fabricación</i> .....	35
1.4.3 Costos de mercado.....	38
1.5 VENTAJAS DE LA TEJA DE MICROCEMENTO.....	39
1.5.1 Diferencias entre las tejas de arcilla y de microcemento.....	39
<b>CAPÍTULO II: NORMATIVIDAD</b> .....	41
2.1 NORMATIVIDAD DE LAS ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO, NORMA UNE EN 490.....	41
2.1.1 Requisitos.....	41
2.1.1.1 <i>Materiales</i> .....	41
2.1.1.2 <i>Dimensiones</i> .....	42
2.1.1.3 <i>Resistencia mecánica</i> .....	43

---

2.1.1.4 Impermeabilidad.....	44
2.1.1.5 Durabilidad.....	44
2.1.1 Evaluación de la conformidad.....	44
2.1.2.1 Ensayos iniciales de tipo (EIT).....	44
2.1.2.2 Control de producción de fábrica (CPF).....	45
2.1.2 Muestreo.....	45
2.1.3.1 Ensayos iniciales de tipo (EIT).....	45
2.1.3.2 Control de producción de fábrica (CPF).....	46
2.2 <b>NORMATIVIDAD DE LOS MÉTODOS DE ENSAYO, NORMA UNE EN 491</b> .....	47
2.2.1 Anchura efectiva.....	47
2.2.2 Ensayo de resistencia a la flexión.....	49
2.2.3 Ensayo de impermeabilidad.....	53
2.2.4 Ensayo de hielo y deshielo.....	55
<b>CAPÍTULO III: PROPIEDADES DEL MICROCEMENTO</b> .....	58
3.1 <b>PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS COMPONENTES DEL MICROCEMENTO</b> .....	58
3.1.1 Cemento.....	58
3.1.2 Agregado fino.....	59
3.1.2.1 Análisis granulométrico.....	59
3.1.2.2 Peso específico y absorción.....	60
3.1.2.3 Peso unitario y contenido de humedad.....	61
3.1.3 Agua.....	62
3.2 <b>DISEÑO DE MEZCLA Y PROPIEDADES DEL MORTERO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO</b> .....	62
3.2.1 Elaboración del mortero en proporción 1:1.5.....	67
3.2.2 Elaboración del mortero en proporción 1:2.....	70
3.2.3 Elaboración del mortero en proporción 1:2.5.....	71
3.2.4 Elaboración del mortero en proporción 1:2.75.....	72
<b>CAPÍTULO IV: ELABORACIÓN DE LAS TEJAS DE MICROCEMENTO</b> .....	75
4.1 <b>EQUIPAMIENTO Y MATERIALES</b> .....	75
4.2 <b>PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA TEJA DE MICROCEMENTO</b> .....	79
4.2.1 Dosificación y pesado de los componentes.....	79
4.2.2 Mezclado de los componentes.....	80
4.2.3 Proceso de vibrado y moldeado.....	80

4.2.4 Proceso de curado y almacenado.....	83
4.3 ENSAYOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS TEJAS.....	85
4.3.1 Evaluación de flexión para encontrar dosificación optima inicial.....	86
4.3.1.1. <i>Ensayo de flexión en la proporción cemento arena 1:1.5.....</i>	88
4.3.1.2. <i>Ensayo de flexión en la proporción cemento arena 1:2.....</i>	88
4.3.1.3. <i>Ensayo de flexión en la proporción cemento arena 1:2.5.....</i>	88
4.3.1.4. <i>Ensayo de flexión en la proporción cemento arena 1:2.75.....</i>	89
4.3.1.5. <i>Ensayo de flexión en tejas comerciales.....</i>	89
4.3.2 Evaluación de durabilidad.....	98
4.3.2.1 <i>Acondicionamiento.....</i>	99
4.3.2.2 <i>Fase de enfriamiento.....</i>	99
4.3.2.3 <i>Fase de congelación.....</i>	100
4.3.2.4 <i>Fase de descongelación.....</i>	100
4.3.3 Evaluación de impermeabilidad.....	106
4.3.4 Evaluación de flexión para encontrar dosificación optima final de la unidad.....	109
4.3.4.1. <i>Ensayo final de flexión en la proporción cemento arena 1:1.5.....</i>	109
4.3.4.2. <i>Ensayo final de flexión en la proporción cemento arena 1:2.....</i>	109
4.3.4.3. <i>Ensayo final de flexión en tejas comerciales.....</i>	110
4.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	113
4.5 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	114
<b>CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN DE UN TALLER DE PRODUCCIÓN.....</b>	<b>115</b>
5.1 TALLER DE MEDIANA ESCALA.....	115
5.1.1. Equipamiento.....	116
5.1.1.1. <i>Mesa vibradora.....</i>	116
5.1.1.2. <i>Moldes metálicos.....</i>	116
5.1.2. Área de producción.....	117
5.2 FLUJOGRAMA DE PRODUCCIÓN.....	117
5.3 SIMULACIÓN DE PRODUCCIÓN.....	119
5.3.1 Secuencias de simulación.....	119
5.3.2 Análisis de rendimiento y tiempo de producción.....	123
5.3.2.1. <i>Simulación de producción con un operario.....</i>	123
5.3.2.2. <i>Simulación de producción con un operario y un peón.....</i>	127
5.4 COSTO DE PRODUCCIÓN.....	131
5.4.1. Análisis de costo unitario con un operario.....	131
5.4.2. Análisis de costo unitario con un operario y un peón.....	133

5.5 COSTO DE VENTA.....	136
5.6 PIEZAS COMPLEMENTARIAS.....	142
5.7 CONTROL DE CALIDAD.....	144
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>145</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	145
6.2 RECOMENDACIONES.....	145
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>149</b>
ANEXO A.....	149
ANEXO B.....	150

## RESUMEN

El microcemento, es un material que presenta buena resistencia y durabilidad, las tejas hechas con este material son más resistentes que sus similares, además de ser económicos, durables, ecológicos, acústicos, térmicos y de fácil fabricación. En la actualidad las tejas de mayor uso son las tejas de arcilla cocida, pero son elaboradas en algunos casos sin ningún control de calidad y no garantizan una buena funcionalidad, a comparación de las tejas de microcemento.

En la actualidad no existe una normativa peruana sobre tejas que regulen y controlen la calidad de las mismas; en la búsqueda referente a investigaciones anteriores sobre el tema no se encontró ninguna publicada. Debido a ello se usó la normativa extranjera, norma que se adquirió por medio de INDECOPI, y su convenio con su similar en España, encargada de las normas en materiales como la teja de microcemento AENOR; se obtuvo las normas españolas UNE EN 490 Tejas de microcemento - especificaciones de producto y UNE EN 491 tejas de microcemento - métodos de ensayo, estas normas se usaran como referencia para la investigación.

Para el desarrollo de la investigación se adquirieron los equipos necesarios para la fabricación y control de calidad de las tejas, que son:

- Una congeladora con control de temperatura digital, fabricado especialmente para las tejas, adquirida con recursos propios y apoyo del IIFIC.
- Accesorios complementarios al equipo de ensayo de probetas, para la realización del ensayo de flexión en tejas planas y onduladas, adquirida con recursos propios.
- Equipo de impermeabilidad para teja plana y ondulada, adquirida con recursos propios.
- Nueve moldes para teja ondulada y nueve moldes para teja plana, adquiridas con recursos propios y apoyo del LEM.
- Reparación de la maquina vibradora para tejas del LEM con recursos propios.
- Cuatro pozas para el curado de las tejas, adquiridas con recursos propios.

Se encontró que existe al menos una empresa en la capital que fabrica tejas de microcemento, decidiéndose comprar una cantidad de tejas planas y onduladas; esto con el propósito de ensayarlas y verificar si cumplen los requisitos de la normativa usada, así mismo también poder comparar su costo de producción y venta.

Al no contar con una dosificación para la fabricación de tejas, se tuvo que hacer diseños de mezcla en mortero, fabricando tandas iniciales de tejas en las cuales se pudo observar lo siguiente:

- Se necesita micas de grosor diferente para tejas planas respecto a las onduladas, más gruesa en el segundo caso.
- Se descubrió que en las tejas no prima la relación agua cemento, sino la fluidez, una mezcla poco fluida produce al momento de moldear resquebrajamientos o fisuras, y si es más fluida de lo normal la mezcla se asienta en más de la mitad del espesor inicial perdiendo su forma original.
- El tiempo de vibrado se realiza hasta momentos antes de la segregación, para compactar más la mezcla y aumentar la resistencia final de la teja.

Finalmente luego de varias pruebas se encontró que la óptima dosificación para una buena trabajabilidad, requiere una fluidez del  $100\% \pm 5\%$ ; en base a este dato se hicieron varias tandas más de prueba, con diferentes dosificaciones de relación arena cemento, para encontrar la dosificación óptima y así llegar a la resistencia que pide la norma.

A las tejas fabricadas en estas tandas y a las tejas comerciales se hicieron ensayos de durabilidad e impermeabilidad, descubriéndose que los ensayo de durabilidad e impermeabilidad reduce en gran medida la resistencia de las tejas, tejas que un inicio si tienen la resistencia pedida por la norma, pero después de dichos ensayos no. Las tejas comerciales no obtuvieron la resistencia requerida después de los ensayos de durabilidad e impermeabilidad. Por tanto se hicieron más tandas de prueba para encontrar una dosificación más fuerte, para que después de realizado los ensayos de durabilidad e impermeabilidad, tengan una resistencia final igual o mayor que el pedido por la norma.

De estas distintas dosificaciones se encontró que la proporción cemento arena: 1:1.5, fue la única que obtuvo una resistencia mayor que el pedido por la norma, después de pasar por los ensayos de durabilidad e impermeabilidad.

Una vez encontrado esta optima relación arena cemento, se propuso implementar un taller de producción, para ello se realizó una simulación de producción, y se midió tiempos y rendimientos; esto con el objetivo de realizar análisis de costos de producción y venta final.

Con estos tiempos promedios encontrados se hizo una simulación por computadora de la producción mensual con diferentes números de operarios y peones para saber el número óptimo de personal a trabajar.

Luego se vio la producción mensual de los diferentes números de personal, y se analizó costos de producción de cada uno de ellos; todo esto para una y dos mesas vibradoras, finalmente se pudo calcular el costo de venta final y así compararlas con el costo de venta del mercado local.

Resultado de este análisis se encontró el volumen de producción mensual con diferente número de personal, y su costo final de producción. Resultando ser más económicas y de mejor calidad que las tejas comerciales y su similar de arcilla cocida.

Para completar la línea de producción del taller, se mencionan las diferentes piezas complementarias, que un taller de producción operativo debe fabricar; piezas usadas para cubrir los puntos singulares que se pueda presentar en un techado; estas piezas se fabrican con la misma dosificación, cuidados y consideraciones que la teja normal de microcemento.

El presente trabajo de investigación puede representar una referencia en una futura norma peruana sobre tejas de microcemento.

**LISTA DE CUADROS**

	Pág.
Cuadro 2.1 Resistencia transversal mínima de las tejas $F_{min}$ .....	43
Cuadro 2.2 Planes de muestreo.....	46
Cuadro 3.1 Granulometría agregado fino.....	59
Cuadro 3.2 Huso granulométrico del agregado fino.....	60
Cuadro 3.3 Ensayo de laboratorio del peso unitario.....	61
Cuadro 3.4 Ensayos de laboratorio para el agua.....	62
Cuadro 3.5 Ensayo de fluidez en tanda inicial proporción 1:2.5.....	63
Cuadro 3.6 Ensayo de fluidez en tanda inicial proporción 1:3.....	63
Cuadro 3.7 Ensayo de flexión en tanda inicial proporción 1:2.5.....	64
Cuadro 3.8 Ensayo de flexión en tanda inicial proporción 1:3.....	65
Cuadro 3.9 Clasificación de las tejas a fabricar según tipo.....	67
Cuadro 3.10 Ensayo de fluidez en proporción 1:1.5.....	68
Cuadro 3.11 Ensayo de compresión en mortero 1:1.5.....	69
Cuadro 3.12 Ensayo de fluidez en proporción 1:2.....	70
Cuadro 3.13 Ensayo de compresión en mortero 1:2.....	70
Cuadro 3.14 Ensayo de fluidez en proporción 1:2.5.....	71
Cuadro 3.15 Ensayo de compresión en mortero 1:2.5.....	71
Cuadro 3.16 Ensayo de fluidez en proporción 1:2.75.....	72
Cuadro 3.17 Ensayo de compresión en mortero 1:2.75.....	72
Cuadro 3.18 Resistencias promedios de ensayo de compresión en morteros.....	73
Cuadro 3.19 Pesos según proporción para fabricar 3 tejas planas y 3 onduladas.....	74
Cuadro 4.1 Clasificación de las tejas a fabricar según tipo.....	76
Cuadro 4.2 Ensayo de flexión en tejas proporción 1:1.5.....	90
Cuadro 4.3 Ensayo de flexión en tejas proporción 1:2.....	91
Cuadro 4.4 Ensayo de flexión en tejas proporción 1:2.5.....	92
Cuadro 4.5 Ensayo de flexión en tejas proporción 1:2.75.....	93
Cuadro 4.6 Ensayo de flexión en tejas comerciales.....	94
Cuadro 4.7 Resultados de ensayo de flexión.....	95
Cuadro 4.8 Ensayo de durabilidad en tejas onduladas.....	104
Cuadro 4.9 Ensayo de durabilidad en tejas planas.....	105
Cuadro 4.10 Ensayo de impermeabilidad en tejas onduladas.....	108
Cuadro 4.11 Ensayo de impermeabilidad en tejas planas.....	108
Cuadro 4.12 Ensayo de flexión en tejas proporción 1:1.5.....	111

Cuadro 4.13	Ensayo de flexión en tejas proporción 1:2.....	111
Cuadro 4.14	Ensayo de flexión en tejas comerciales.....	112
Cuadro 4.15	Resistencias promedios antes y después del ensayo de durabilidad e impermeabilidad.....	113
Cuadro 5.1	Tiempos promedios de la secuencia pesado de materiales.....	121
Cuadro 5.2	Tiempos promedios de la secuencia mezclado.....	121
Cuadro 5.3	Tiempos promedios de la secuencia fabricación teja ondulada.....	121
Cuadro 5.4	Tiempos promedios de la secuencia fabricación teja plana.....	121
Cuadro 5.5	Tiempos promedios de la secuencia secado en molde....	122
Cuadro 5.6	Tiempos promedios de la secuencia desmoldado y puesta a curar.....	122
Cuadro 5.7	Tiempos promedios de la secuencia curado.....	122
Cuadro 5.8	Tiempos promedios de la secuencia secado y almacenado.....	123
Cuadro 5.9	Tiempo de fabricación de tejas onduladas con un operario en un día.....	124
Cuadro 5.10	Tiempo de fabricación de tejas planas con un operario en un día.....	125
Cuadro 5.11	Tiempo de fabricación de tejas onduladas y planas con un operario en un día.....	126
Cuadro 5.12	Resumen de fabricación con un operario.....	127
Cuadro 5.13	Tiempos de fabricación de tejas onduladas con un operario y un peón en un día.....	128
Cuadro 5.14	Tiempos de fabricación de tejas planas con un operario y un peón en un día.....	129
Cuadro 5.15	Tiempos de fabricación de tejas onduladas y planas con un operario y un peón en un día.....	130
Cuadro 5.16	Resumen de fabricación con un operario y un peón.....	131
Cuadro 5.17	Costo unitario de fabricación de teja ondulada con un operario.....	132
Cuadro 5.18	Costo unitario de fabricación de teja plana con un operario.....	132
Cuadro 5.19	Costo unitario de fabricación de teja ondulada y plana con un operario.....	133

Cuadro 5.20	Costo unitario de fabricación de teja ondulada con un operario y un peón.....	134
Cuadro 5.21	Costo unitario de fabricación de teja plana con un operario y un peón.....	134
Cuadro 5.22	Costo unitario de fabricación de teja ondulada y plana con un operario y un peón.....	135
Cuadro 5.23	Pesos de materiales por cada combinación.....	135
Cuadro 5.24	Costo de producción según combinación y personal.....	136
Cuadro 5.25	Costo de venta final – una máquina vibradora.....	137
Cuadro 5.26	Costo de producción según combinación y personal.....	139
Cuadro 5.27	Costo de venta final – dos máquinas vibradoras.....	140
Cuadro B.1	Ensayo de flexión en tejas proporción 1:1.50 (etapa simulación).....	150
Cuadro B.2	Ensayo de flexión en tejas proporción 1:2.00 (etapa simulación).....	151

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1.1	Colocación de lámina plástica y fijado del marco metálico.....	Pág. 36
Figura 1.2	Colocación de mortero y vibrado.....	36
Figura 1.3	Relleno de cajón de sujeción.....	37
Figura 1.4	Moldeado y curado de las tejas.....	37
Figura 2.1	Ensayo de anchura efectiva para tejas con ensamble.....	48
Figura 2.2	Máquina de ensayo de flexión.....	50
Figura 2.3	Medida de la altura de onda d.....	51
Figura 2.4a	Máquina de flexión usando pieza de madera.....	52
Figura 2.4b	Máquina de flexión usando pieza de yeso.....	52
Figura 2.5	Aparato de ensayo de impermeabilidad.....	54
Figura 5.1	Propuesta esquemática de distribución de áreas para el taller de producción .....	117
Figura 5.2	Flujograma de producción general.....	118
Figura 5.3	Secuencias a seguir en la simulación.....	120
Figura 5.4	Piezas complementarias.....	142

**LISTA DE GRÁFICOS**

Grafico 3.1	Curva granulométrica agregado fino tipo M.....	60
Grafico 3.2	Resistencia vs edad (días) de la proporción 1:1.5.....	69
Grafico 3.3	Resistencia vs edad (días) de la proporción 1:2.....	70
Grafico 3.4	Resistencia vs edad (días) de la proporción 1:2.5.....	71
Grafico 3.5	Resistencia vs edad (días) de la proporción 1:2.75.....	72
Grafico 4.1	Curva de resistencia vs relación cemento/arena .....	96
Grafico 4.2	Curva de resistencia vs relación agua/cemento.....	96
Grafico 5.1	Precios de venta final por cada teja con una máquina vibradora.....	138
Grafico 5.2	Precios de venta final por cada teja con dos máquinas vibradoras.....	140

LISTA DE IMÁGENES		Pág.
Imagen N° 1.1	Vivienda con cobertura de tejas.....	20
Imagen N° 1.2	Teja romana.....	21
Imagen N° 1.3	Teja árabe.....	22
Imagen N° 1.4	Teja plana.....	25
Imagen N° 1.5	Teja mixta.....	25
Imagen N° 1.6	Teja francesa.....	25
Imagen N° 1.7	Teja portuguesa.....	26
Imagen N° 1.8	Teja colonial.....	26
Imagen N° 1.9	Teja normanda.....	26
Imagen N° 3.1	Preparación del mortero.....	67
Imagen N° 3.2	Ensayo de fluidez.....	68
Imagen N° 3.3	Muestras para ensayo de comprensión.....	68
Imagen N° 3.4	Ensayo de comprensión en mortero endurecido...	69
Imagen N° 4.1	Congeladora digital de 1m <sup>3</sup> de capacidad.....	75
Imagen N° 4.2	Mesa vibradora metálica.....	76
Imagen N° 4.3	Moldes metálicos de teja plana y ondulada.....	77
Imagen N° 4.4	Cubos de plástico de 50 litros para el proceso de curado.....	77
Imagen N° 4.5	Accesorios para ensayo de flexión en tejas onduladas y planas.....	78
Imagen N° 4.6	Estructuras de vidrio estanco para teja plana y ondulada.....	78
Imagen N° 4.7	Pesado de arena con balanza electrónica.....	80
Imagen N° 4.8	Mortero mezclado manualmente.....	80
Imagen N° 4.9	Mortero vibrando dentro de marco metálico.....	81
Imagen N° 4.10	Presencia de burbujas debido al reacomodo de partículas.....	81
Imagen N° 4.11	Tirando de la lámina plástica al molde.....	82
Imagen N° 4.12	Dando la forma ondeada de la teja con ayuda del molde.....	82
Imagen N° 4.13	Vibrado y moldeado de teja plana.....	83
Imagen N° 4.14	Curado de tejas.....	84
Imagen N° 4.15	Almacenado de tejas.....	84

Imagen N° 4.16	Medición de dimensiones, anchura efectiva y altura de onda.....	85
Imagen N° 4.17	Prensa hidráulica de compresión.....	86
Imagen N° 4.18	Accesorios para ensayo de flexión en tejas onduladas y planas.....	86
Imagen N° 4.19	Ensayo de flexión en teja ondulada.....	87
Imagen N° 4.20	Ensayo de flexión en teja plana.....	87
Imagen N° 4.21	Falla transversal en teja ondulada.....	97
Imagen N° 4.22	Falla diagonal y mixta en teja ondulada.....	97
Imagen N° 4.23	Falla transversal centrada en teja plana.....	98
Imagen N° 4.24	Falla transversal fuera del centro en teja plana....	98
Imagen N° 4.25	Tejas congelándose hasta -20 °C.....	99
Imagen N° 4.26	Tejas en congeladora a temperatura constante de -20 °C.....	100
Imagen N° 4.27	Tejas en proceso de descongelación.....	100
Imagen N° 4.28.a	Perdida de coloración teja ondulada fabricada.....	101
Imagen N° 4.28.b	Perdida de coloración teja plana fabricada.....	101
Imagen N° 4.29.a	Perdida de coloración y pequeñas fisuras en teja ondulada comercial.....	102
Imagen N° 4.29.b	Perdida de coloración y pequeñas fisuras en teja plana comercial.....	102
Imagen N° 4.30	Tejas plana y ondulada en equipo de impermeabilidad.....	106
Imagen N° 4.31	Sellado de equipos de impermeabilidad.....	106
Imagen N° 4.32	Ensayo de impermeabilidad en teja plana y ondulada.....	107
Imagen N° 5.1	Mesa vibradora.....	116
Imagen N° 5.2	Moldes metálicos para teja plana y ondulada.....	116
Imagen N° 5.3	Tejas onduladas y planas fabricadas en plena etapa de simulación.....	120
Imagen N° 5.4	Vivienda techada con tejas.....	142

## LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Para fines de esta investigación, se aplican los términos y definiciones siguientes:

- $C_w$  : Anchura efectiva (o de cobertura) de una teja, en milímetros.  
 $C_{wc}$  : Anchura efectiva, medida sobre 10 tejas en posición cerrada, en milímetros.  
 $C_{wd}$  : Anchura efectiva, medida sobre 10 tejas en posición abierta, en milímetros.  
 $d$  : Altura de onda de una teja, en milímetros.  
 $F_{min}$  : Resistencia a flexión transversal mínima de todas las tejas.  
 $F_i$  : Resistencia a flexión transversal de una teja individual.

## INTRODUCCIÓN

La teja es una unidad que forma parte de una cobertura en los techos de viviendas y edificios, permite proteger y canalizar el agua de lluvia, la nieve o granizo. La forma de las tejas y los materiales que lo componen para su elaboración son muy variables: la geometría pueden ser regulares o irregulares, planas, onduladas, de textura lisa y acanalada con salientes.

En el país se utilizan mayormente las tejas de arcilla, sobretodo en la sierra como forma tradicional de cobertura; en la costa y selva también, pero en menor cantidad. También son usadas las tejas de PVC, prefabricados y de microcemento.

En la actualidad al no existir la normativa correspondiente, las empresas fabricantes de tejas las elaboran sin ningún control, el cual no garantiza ninguna calidad del producto final.

La aparición de la teja de microcemento permitió dar un gran paso en la industria de la construcción, varias han sido las razones de este cambio hacia el uso de las tejas de microcemento: Disminución del uso de la arcilla para la fabricación de tejas cerámicas, que conlleva a la depredación y menos uso de las tierras agrícolas; Los costos crecientes de combustible, utilizado en los hornos para la cocción de las tejas cerámicas; las tejas de microcemento son más ecológicas, ya que no requieren esta cocción, tiene una baja absorción de agua, alta resistencia mecánica, propiedades acústicas, propiedades térmicas, de gran durabilidad y resistencia ante la acción de los agentes climáticos.

Por las ventajas en la elaboración del producto, esta tecnología se puede transferir a otros lugares del país para su producción, e incluso de forma artesanal con asesoramiento técnico para los pobladores de bajos recursos, proporcionando trabajo y una mejor alternativa para la protección constructiva de sus viviendas; teniendo en cuenta que es un producto sostenible, sustentable y ecológico.

Por eso en el presente trabajo de investigación se propone esta nueva alternativa de producto, que es la teja de microcemento; la investigación se desarrollara tomando como referencia la normativa española: UNE EN 490, tejas y piezas de hormigón – especificaciones de producto y la UNE EN 491, tejas y piezas de hormigón – métodos de ensayo.

Con la investigación se desea conocer las distintas propiedades que debe cumplir la teja de microcemento, sus componentes y los ensayos que garanticen una teja de buena calidad al mercado local; cumpliendo con los requisitos de una de las normas más exigentes en el mundo, que es la normativa europea para tejas de microcemento.

Teniendo estos datos podremos implementar un taller de producción; para esto se realizara simulaciones de producción, con el que se obtendrá rendimientos y volumen de producción, datos necesarios para calcular el costo final de cada teja. Costo que debe ser menor, que su similar de arcilla y concreto que existe en el mercado local, para ser un taller competitivo.

Para un adecuado techado, se requiere que el taller de producción integre a su línea de producción las piezas complementarias, estas piezas cubren los puntos singulares que se presenten en un techado: como los bordes, encuentros con ventanas, aristas, limatesas, limahoyas, etc.

Para fines de la investigación, no se fabricaran estas tejas, solo se mencionaran las variedades que existen y su uso en el techado con tejas.

## **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.**

En la actualidad las tejas son utilizadas principalmente como cobertura en viviendas y edificaciones de acuerdo a un diseño arquitectónico. La teja es una pieza que sirve para recibir y canalizar el agua de lluvia, la nieve, o el granizo. Hay otras formas de cubiertas, pero cuando se hacen con tejas, reciben el nombre de tejados.

### **1.1 HISTORIA DE LA TEJA Y SU PRODUCCIÓN EN EL PERÚ.**

Podríamos tomar como referencia el periodo Neolítico, hacia el VIII milenio a.C., momento a partir del cual el ser humano logra controlar el proceso productivo de la ganadería y la agricultura, y por tanto se vuelve sedentario, fijando una vivienda estable y más o menos fija. Estas viviendas solían agruparse formando pequeños poblados.

El hombre utilizó los materiales más básicos que le ofrecía la naturaleza para construir las viviendas: agua, tierra, madera, paja, pieles, etc. Mediante muros de barro elevaron las paredes de sus viviendas que cubrieron con tejados de paja (ver imagen 1.1), elementos vegetales o pelajes de animales principalmente; ya que este tipo de elementos naturales ayudaban a evitar, en la medida de lo posible, que la lluvia y la humedad penetrasen a través del techo.

El siguiente paso evolutivo en materia de "construcción", que tardaría varios siglos en llegar, sería la mezcla de tierra y el agua, que secada al sol daría lugar al adobe.

Posteriormente se coció el adobe en hornos dando lugar al ladrillo, un material más resistente, y que a través del proceso de cocción, vio aumentada su capacidad de impermeabilidad. Los pobladores antiguos comenzaron a utilizar la arcilla cocida para desarrollar todo tipo de elementos constructivos como baldosas, azulejos o tejas.

La tradición atribuye el uso de las primeras tejas de arcilla cocida para cubrir los techos de las viviendas a la zona mesopotámica y Egipto alrededor del II milenio a.C., ya que los restos más antiguos de tejas se han localizado en esta zona. También se han hallado restos de tejas acanaladas de gran antigüedad en territorio chino.



Imagen Nº 1.1: Vivienda con cobertura de paja.

Fue en la antigüedad clásica griega y romana cuando el uso de la teja para recubrimiento de techados se generalizó. En la Grecia Clásica la teja se empleó en mayor medida para cubrir edificios públicos, sobre todo templos. En la Grecia de comienzos de la época arcaica los templos se cubrían con techados de paja (imagen 1.1), sin embargo, una de las primeras evoluciones que sufrieron este tipo de edificios religiosos fue la sustitución de este techado por un tejado de tejas. El uso de la teja fue posible gracias a los fuertes muros de roca que sostenían el techado, ya que con las anteriores paredes de adobe no hubiese sido posible que los cimientos resistiesen. Cabe destacar como muestran los estudios arqueológicos que estas primeras tejas empleadas en Grecia pesaban alrededor de 30 kg cada una, además la mayoría eran de forma plana acompañadas de pequeñas tejas curvas en las uniones.

Los tipos de tejado de los templos eran a dos aguas, para permitir la evacuación del agua de lluvia fuera de los muros. Con el uso de las tejas se lograba evitar la destrucción de los techados en caso de que el edificio fuese víctima de un incendio, así por tanto, se aseguraba la perduración de este tipo de arquitectura monumental que se construyó en territorio clásico, y se llegó a expandir a través de las colonias griegas por la zona mediterránea.

La heredera de esta tradición griega fue Roma. Los romanos adoptaron muchos de los cánones y elementos constructivos griegos, uno de los ejemplos fue la teja. El material empleado para su fabricación fue la arcilla o terracota, y se emplearon para cubrir tanto edificios públicos como viviendas privadas. Las tejas romanas (ver imagen 1.2), se colocaban sobre los techos de madera, dispuestas de manera ordenada siguiendo el esquema romano de tegula e imbrex.

La tegula (palabra latina de la que deriva el actual término teja) era una pieza rectangular con unas medidas de 45 x 60 cm aproximadamente. Sobre la tegula, se colocaba una pieza denominada imbrex de forma semicircular cuya función era unir las tegulas. En algunas ocasiones se remataba la construcción a través de unos elementos decorativos denominados antefixi.



Imagen Nº 1.2: Teja romana.

Gracias a los romanos el uso de la teja, al igual que muchas otras costumbres, llegó hasta el occidente de Europa. Roma fundó numerosas ciudades en toda la zona europea desde la actual Inglaterra hasta Antioquía, Egipto y norte de África. Todas estas ciudades siguieron un esquema constructivo similar a la urbe romana. Los edificios públicos se construyeron principalmente en ladrillo, roca y con techos de teja. Los habitantes de las zonas europeas fueron testigos del buen hacer romano con las tejas, sin embargo, en muchas zonas de Occidente esta tradición constructiva se abandonó ante la caída de Roma (siglo V d.C.).

En ciertos reductos, sobretudo monasterios medievales, se continuó velando por el trabajo del ladrillo y la cerámica para la producción de materiales como la teja. No obstante, de manera generalizada se retornó a la construcción de tejados cubiertos con paja y madera. A partir del siglo XII-XIII ya observamos cómo el uso de las tejas de arcilla cocida retorna al panorama constructivo, sobretudo en la zona de Inglaterra. A comienzos del siglo XIII el rey Juan emitió una orden por el que los tejados de los edificios londinenses fabricados en materiales combustibles debían ser sustituidos por cubiertas de teja. También se sabe de qué, en esas mismas fechas, el arzobispo de Canterbury prohibió el uso de techos de paja en edificios cercanos a la catedral. También en el norte de Europa, hacia el siglo XIV, se dictaron normas en la misma dirección. En la época medieval la mayoría de edificios se construían en madera y se cubrían con tejados de paja.

El beneficio del uso de cubiertas de tejas residía principalmente en evitar la propagación de incendios, muy habituales en la época; además su poder impermeable era mucho mayor que el de otro tipo de materiales y tenían una larga vida. Poco a poco el uso de la teja se fue extendiendo por toda Europa. La fabricación de tejas se adaptó a las necesidades de cada uno de los territorios que las producían, además en cada zona se elaboraba un tipo distinto de acuerdo a diferentes influencias. Dependiendo si eran terrenos fríos, cálidos, húmedos o secos se empleaban diferentes materiales como tejas de cerámica, tejas de pizarra o tejas de roca laja, entre otros tipos. También la morfología de la teja variaba, por ejemplo, si se colocaban en zonas de lluvia, éstas solían ser planas para adaptarse a las cubiertas de vertientes más acusadas.

Nuevos avances en la elaboración de tejas llegaron hasta territorio europeo de manos de la cultura islámica, cuya presencia fue muy notable en la Península Ibérica desde el siglo VIII hasta el siglo XIII d.C. En este momento se desarrolló la teja denominada de tipo árabe (ver imagen 1.3), con forma acanalada. La teja árabe no fue inventada por la cultura que le da nombre, sino que se le atribuye un origen romano. Sin embargo, fueron los árabes quienes la perfeccionaron y le dieron un uso más intensivo. En la actualidad la mayoría de edificaciones usan este tipo de teja perfeccionada. A partir del siglo XV, con el inicio de la época de los descubridores europeos, el uso la teja se expandió a territorio americano.



Imagen N° 1.3: Teja árabe.

Con la llegada del desarrollo industrial (ss. XVIII – XIX) la actividad productiva de la teja se automatizó. Se introdujeron nuevos sistemas mecánicos para su producción, además de emplearse nuevos materiales como el hormigón así como nuevos sistemas de encaje.

Según la tradición algunos de estos avances vinieron de mano de diferentes personalidades como los hermanos Gilardoni, de Lartigue y Dumas o de los señores Royaux y Beghin.

A lo largo del siglo XIX y comienzos del XX, en muchas ciudades y pueblos europeos se fundaron fábricas de tejas, denominadas tejar o tejerías. Se puede seguir la pista a este tipo de industrias a través de la toponimia que se ha conservado. En muchas localidades aparece el nombre de tejerías en el plano de la ciudad, a pesar de que actualmente en la zona no existe resto alguno, por lo que parece indicar que antiguamente cada ciudad debió contar con una fábrica de tejas. Como paradigma de este caso podemos citar el palacio francés de las Tullerías, cuyo nombre tiene origen en las fábricas de tejas que se hallaban en la zona en la que posteriormente se elevó el palacio parisino.

Realmente en los últimos doscientos años el avance y la innovación en el ámbito de la construcción han sido espectaculares. Una de las últimas aportaciones al mercado ha sido la elaboración de tejas de microcemento. Las ventajas de este tipo de material son múltiples respecto al sistema de tejas tradicional. Los costes son menores (ahorra material), además el tiempo que requiere la construcción del tejado es menor, algo que acaba repercutiendo en el ahorro de mano de obra. Asimismo se cuenta con una amplia variedad de tejas de microcemento en diferentes colores. El material con el que se elaboran estas tejas tiene gran resistencia tanto a los golpes como a los cambios de temperatura (a diferencia de lo que puede suceder con tejas de otro tipo de materiales que pueden fracturarse con el cambio de temperatura). Además un tejado de teja de microcemento requiere poco mantenimiento y son totalmente impermeables. En definitiva estos tipos de tejas contribuyen a nuestro ahorro y por ello, están ganando terreno a otro tipo de materiales en la industria de la teja.

Las tejas en el Perú existían ya desde antes de la llegada de los españoles, culturas preincaicas como lauricocha (Huánuco), Chachapoyas (Amazonas), Chavín (Ancash); ya usaban tejas de roca laja para la protección de edificios de importancia, claro que era rudimentario. Con la llegada de los españoles se instalaron pequeñas fábricas de tejas de arcilla a un principio, y al colonizar la sierra se dio en mayor medida. Actualmente en el país existen varios fabricantes de tejas, tantas empresas formales, informales e ilegales, y de distintos tipos, formas y materiales.

Las tejas son la forma más barata de proteger sus viviendas para la gente más pobre, esto se demuestra al visitar las zonas de la costa, sierra y selva; es tanto así que ver una casa techada con tejas es típico de una localidad provinciana del país. Los arquitectos en su mayoría usan tejas en sus diseños cuando se trata de una casa de campo, y también de casas importantes de recreación, clubes etc.

Todo esto ha hecho que la teja en el país ocupe un lugar de vital importancia para la gente de todas las clases sociales; debido a la fácil fabricación, poco costo, y fácil colocación, han hecho que este elemento de cobertura se haya expandido tanto. Pero a pesar de ello no existe un estudio serio sobre las tejas, sus propiedades que debe tener y las normas que lo regulan; las grandes empresas que fabrican este elemento no ven la necesidad de mejorar sus productos y garantizar buenos elementos; muy aparte esto va de la mano con la falta de una normativa en el país.

La forma de las piezas y los materiales de elaboración son muy variables: las formas pueden ser regulares o irregulares, planas o curvas, lisas o con acanaladuras y salientes; respecto a los materiales pueden ser cerámicas (elaborada con barro cocido), plásticas y bituminosas (fabricadas con polímeros plásticos derivados del petróleo u otra materia prima), de madera, de piedra (como la pizarra), de fibrocemento, etc.

## 1.2 TIPOS DE TEJA

La forma de las piezas varía según las épocas, culturas y regiones, aunque su uso fue similar, evolucionando a lo largo de los siglos. Las tejas se pueden clasificar, por la forma, en curvas, mixtas y planas. Las curvas son las más comunes, tienen forma acanalada y troncocónica. La teja mixta incluye una 'aleta' en uno de los lados, con ranuras destinadas a la correcta unión con las piezas contiguas. Las planas presentan también un sistema de encaje. Ahora estos tipos se pueden fabricar de distintos estilos como:

### 1.2.1 Tejas según estilo:

- Teja romana, tiene la pieza canal plana, con los bordes laterales levantados y la cobija curva. Se fabricaban de roca laja y de alfarería; ver imagen N° 1.2.
- Teja árabe, con una sola pieza, con la forma un tronco de cono, cortado por la mitad longitudinalmente. Tiene la gran ventaja sobre todas las demás de que con esa pieza se resuelven todos los problemas de una cubierta: canales, cobijas, cumbreras y limas. Aunque se denomine teja árabe, por su uso

extensivo por los árabes en la Península Ibérica, el origen de esta teja es romano; ver imagen N° 1.3.

- Teja plana, de forma más compleja, dispone de acanaladuras y resaltes para su encaje y solape, que solamente fue posible cuando se pudieron fabricar por moldeo, de alfarería o de mortero de cemento. Necesita piezas especiales para resolver las limas; ver imagen N° 1.4.

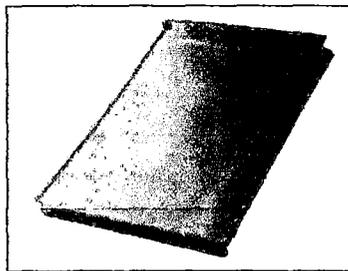


Imagen N° 1.4: Teja plana.

- Teja mixta que suele tener el canal y la cobija, juntas en una pieza, lo que da apariencia similar a la árabe o a la romana; como la anterior, requiere piezas especiales para resolver las limas; ver imagen N° 1.5.

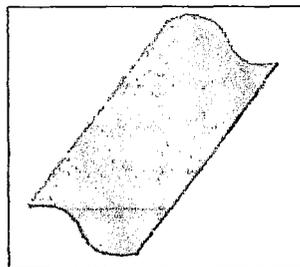


Imagen N° 1.5: Teja mixta.

- Teja Francesa: similar a la teja plana pero con pequeños canales; como la anterior, requiere piezas especiales para resolver las limas; ver imagen N° 1.6.

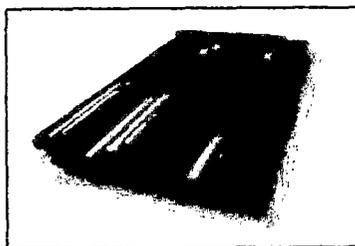


Imagen N° 1.6: Teja francesa.

- **Teja Portuguesa:** similar a la teja mixta, formado por una parte plana con solape en el borde; como la anterior, requiere piezas especiales para resolver las limas; ver imagen N° 1.7.

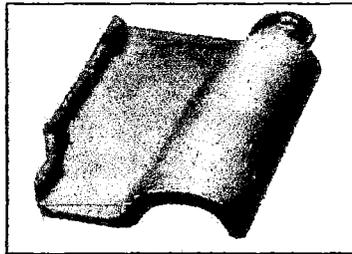


Imagen N° 1.7: Teja portuguesa.

- **Teja Colonial:** pequeñas planchas similar a las de calamina, donde su forma plana es más holgado; como la anterior, requiere piezas especiales para resolver las limas; ver imagen N° 1.8.

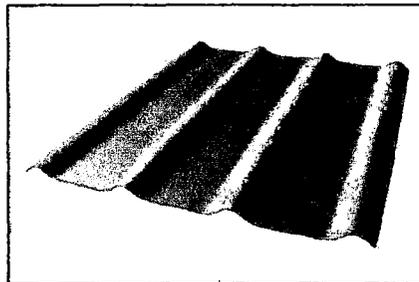


Imagen N° 1.8: Teja colonial.

- **Teja Normanda:** similar a la teja plana con encajes tipo pernos, hechos mayormente de madera; como la anterior, requiere piezas especiales para resolver las limas; ver imagen N° 1.9.

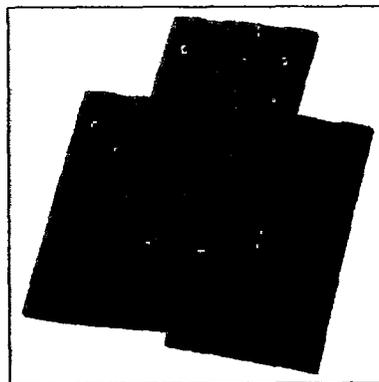


Imagen N° 1.9: Teja normanda.

### 1.2.2 Según el material de fabricación.

- Las Tejas metálicas, muy usada en los países del Norte debido en gran parte a su resistencia al granizo.
- Las tejas de acero gavillado Decra, se componen de un alma de acero estructural ultraliviano, revestido de fina gravilla de roca y sellado con recubrimiento acrílico. El color está incorporado a la gravilla de la roca por lo que se garantiza un mantenimiento al paso del tiempo. Soportan grandes amplitudes térmicas y están garantizadas contra la corrosión. El peso es de 7 kg/m<sup>2</sup> por lo que no necesita una gran estructura de soporte.
- Cobre: las tejas de este material le brindan a la cubierta un aspecto excelente debido a las diversas tonalidades que adquiere el material por el paso del tiempo, o por la aplicación de productos específicos que le confieren la pátina característica del material, que va variando de un rosa salmón, pasando por el marrón chocolate y adquiriendo luego el característico color verde claro de las viejas cubiertas de cobre.
- Teja de vidrio: su utilización es aconsejada para dar luz a habitaciones, galerías, talleres, reproduce la teja francesa de barro, y puede utilizarse como complemento en un techo de tejas. El índice de transmisión luminosa es del 87%. El peso varía entre los 40 y 60 kg el m<sup>2</sup>.
- Tejas asfálticas: son fáciles de instalar sobre cualquier superficie, se adhieren con llama a gas y vienen en gran variedad de colores. Las "shingles" tejas asfálticas fabricadas por Owens Corning son elaboradas en base a asfalto modificado, alma reforzada con fibra de vidrio y cubiertas con gránulos de cerámica. Son livianas, durables, resistentes al desgaste, vienen provistas de una cinta autoadhesiva que le otorga gran resistencia a los vientos, su potente adhesivo se funde uniendo las tejas bajo el calor del sol.
- La Teja de Hormigón, con resistencia a la flexión y al impacto, es muy compacta debido a la fabricación, extrusada y comprimida. Se logra que el techo mantenga un mismo tono debido a que el cemento a ser teñido en su masa adquiere un color uniforme. Tienen la ventaja sobre las cerámicas y arcilla por ser más resistentes, y más económicas. También tienen la posibilidad de que se fabrican de cualquier color y al no tener encastre superior son más fáciles de colocar.
- Tejas Fotovoltaica; una solución original, pero no muy económica y apta para el ahorro de energía, se consigue mediante la colocación de Tejas Fotovoltaicas que producen electricidad. La teja fotovoltaica de Silicio mono cristalino permite

instalar desde potencias mínimas de 6 W (1 teja) y hasta más de 15 W; como ejemplo 6.8 m<sup>2</sup> de tejas (88 tejas solares) producen más de 500 Wp o más de 2 kw/día.

- Las tejas de fibrocemento son muy económicas y de poco peso; además, requieren de menor cantidad de madera para su instalación. Actualmente son mucho más resistentes que en otros tiempos, debido a los materiales usados para su fabricación: cemento y fibras mineralizadas. En realidad, más que de tejas como las conocemos, se trata de planchas onduladas. Podemos elegir entre diversos modelos, colores y texturas de planchas de fibrocemento, algunos de los cuales imitan en forma y color a las tejas tradicionales.
- Las tejas de madera son muy estéticas y livianas, aunque tienen una contra: en casi todos los países se ha prohibido su tratamiento con conservantes que las protegía de insectos y moho, por lo que pueden tener mayor necesidad de reemplazo que las de otros materiales. Por ese mismo motivo, debemos elegir las fabricadas en maderas duras y resistentes, como cedro, roble, castaño o acacia, protegidas por sus taninos naturales. El corte también influye en su resistencia a la humedad. Las tejas de madera son de 3 tipos: Shake, Shingle y Tapersawnshake.
- Las tejas de arcilla son resistentes (aunque el granizo puede romperlas), impermeables (cada vez más, a medida que pasa el tiempo, pues sus poros se van cerrando), ignífugas, casi no necesitan mantenimiento y son de fácil colocación y reemplazo. Sus distintos modelos (mencionados más arriba) permiten dar a una cubierta distintos estilos. No tan económicas como las de fibrocemento, son, de todos modos, de las más accesibles entre los distintos materiales posibles.
- Las tejas de pizarra, si bien bastante más caras que las de arcilla, tienen una durabilidad mucho mayor y son estéticamente superiores a las de otros materiales. Las tejas de pizarra son siempre planas, pero pueden tener bordes curvos o rectos. Requieren de personal especializado para su colocación. Las hay de muchas calidades, por lo que conviene asesorarse bien antes de comprar.
- Tejas foto catalíticas; estas tejas funcionan absorbiendo el smog para mejoran la calidad del aire al neutralizar el óxido nítrico, que forma el smog liberado por la mayoría de autos. El material cerámico está recubierto de dióxido de titanio, un foto catalizador que puede oxidar los contaminantes dañinos del aire. Cuando es expuesto a la luz natural, el dióxido de titanio separa los óxidos de nitrógeno del aire y los convierte en un inocuo nitrato de calcio.

- Tejas de plástico. Usados mayormente como uso decorativo, al dejar pasar la luz, esta es aprovechada para iluminar ambientes; vienen en diferentes colores.

Las piezas especiales son de variadas formas, y están destinadas a solucionar los puntos singulares del tejado, como las "limas" (limatesas, aristas convexas, y limahoyas, aristas cóncavas), encuentros con otros elementos, y puntos singulares.

### 1.3 TECNOLOGÍA DEL MICROCEMENTO.

El microcemento como ya dice en su propia palabra "cemento", no deja de ser en cierta forma el cemento de siempre pero adaptado a la decoración y exigencias modernas. En forma general está compuesto de cemento mezclado con: resinas de alta calidad, fibras, aireadores, áridos extrafinos, acelerantes, pigmentos, polímeros; la mezcla es según sea el propósito para el que se fabrique. Una vez aplicado adquiere características de adhesión (jamás se desprenderá), de cohesión (jamás se fisurara), de solidez a la luz solar (los colores no se desagradaran), de impermeabilidad (casi no existe filtración) y contiene biocidas que inhiben la formación de bacterias u hongos.<sup>1</sup>

#### 1.3.1 Ventajas del microcemento.

Como ya se mencionó anteriormente, el microcemento tiene varias características que lo hacen un material muy bueno para distintas obras como: adhesión, cohesión, solidez a la luz solar, impermeabilidad y biocida; además es un material que se caracteriza por su alta resistencia y capacidad de adherirse a cualquier superficie sin necesidad de retirar el material existente, ahorrando mucho tiempo de ejecución de obra. Es de fácil aplicación, una vez mezclado el producto se puede esparcir sobre la superficie e inclusive puede extenderse obteniendo un recocado de hasta 3 mm de espesor. Es un material que gracias a su sellado adquiere gran resistencia al impacto y ralladuras, muy resistente al tránsito y desgaste por fricción, de fácil limpieza y poco mantenimiento

Con respecto a la industria, este producto es la mejor opción para realizar una reforma o renovación en grandes paredes, suelos o techos. Es una opción muy atractiva debido al acabado elegante y moderno. Por otro lado, tiene la enorme ventaja de ser resistente al agua y a las altas temperaturas. Es útil tanto para obra nueva como para renovar por completo suelos, paredes o revestimientos del hogar.

---

<sup>1</sup> DEKORCEM. QUE ES EL MICROCEMENTO. <http://www.dekorcem.com/index.php/es/microcemento>.

El ahorro económico y de tiempo es muy importante, ya que no se debe remover el material existente, de forma tal que este material ofrece una solución práctica y económica de fácil aplicación, y con los mejores resultados a la vista. El tiempo de realización es mínimo, y la tendencia a utilizar microcemento va en aumento debido a su estética vanguardista de calidad, a su larga duración y vida útil.

Resumiendo las principales características del microcemento son:

- El grosor de 2 a 3 mm permite que se aplique el producto sin necesidad de retirar la superficie existente.
- Se puede aplicar tanto en hogares, locales comerciales, oficinas o naves industriales.
- Al combinar todos los pigmentos se pueden crear diversos colores.
- No interfiere en cotas ni altimetrías.
- El incremento de peso para el cálculo de estructuras es marginal.
- Alta resistencia mecánica en compresión, flexión y resistente a la abrasión.
- Es ideal para zonas húmedas o de altas temperaturas debido a su impermeabilidad.
- Permite la combinación de componentes con el fin de colocar cualquier tipo de logotipo o grafismo de su empresa o negocio.
- Es una superficie que no requiere juntas. Se obtiene un aspecto homogéneo y uniforme.
- Es antideslizante. Muy resistente a los rayos UV, se puede aplicar a superficies al aire libre, ideal para piscinas.

### 1.3.2 Aplicaciones del microcemento.

La aplicación de este material abarca desde suelos, paredes, techos, zonas de estar, piscinas, baños, cocinas, muebles. El microcemento es utilizado por los decoradores gracias a su versatilidad, textura, acabado, y su capacidad de combinación con: madera, vidrio, metal, entre otros materiales; permitiendo lograr resultados muy creativos siguiendo la imaginación del decorador, arquitecto o particular.

El microcemento se ajusta a la necesidad del proyecto, dando un aspecto original, moderno, y de calidad. Este producto es ideal para cubrir superficies de toda clase como: hormigón, cemento, azulejos, baldosas, yeso, pladur, metal, plástico, mármol.

Y según el uso del ambiente como:

- Sobre obra nueva directamente en el cemento, paredes revocadas, techos, coberturas.
- Sobre cemento alisado, renovando la superficie por completo y cerrando el poro del cemento.
- Sobre azulejo, cerámico, mosaicos, porcelánicos, baldosas sin necesidad de retirar el material existente.
- Se utiliza en cocinas, incluyendo encimeras, hornos, lavabos, suelos y paredes.
- Se utiliza en placas de yeso como pladur, tanto en techos como en paredes.
- Sobre las superficies que resultan cuando se quita la tarima, moqueta, parqué.
- Se puede aplicar en obras de remodelación en armarios o puertas u otros muebles de madera.
- Sobre superficies de metal, como los portones de entrada o marcos de ventanas.
- Sobre aceras, baldosas, asfalto u otras superficies de alto tránsito que se encuentren al aire libre.
- En piscinas, Spas, bañeras, platos de duchas, encimeras de lavados y otras superficies húmedas.

### 1.3.3 Mantenimiento y limpieza del microcemento.

Las imperfecciones se hacen visibles (si las hubiera) durante las 2 primeras semanas. Tanto los rayones como la suciedad son habituales en estas semanas. Una vez que pasó este período ya se ha endurecido el material. Sin embargo aconsejamos esperar alrededor de 4 semanas para que consiga su completa firmeza y endurecimiento, ya que los productos al ser de óptima calidad, necesitan un período de curado y secado para garantizar la mejor durabilidad existente.

Después de 72 horas, el microcemento y su sellado adquieren entre el 65% y el 75% de sus propiedades resistentes e impermeables. Las condiciones óptimas de secado, resistencia y endurecimiento se obtienen entre 15 °C a 30 °C y a una humedad relativa de al menos el 30%. Con una temperatura más baja a la indicada, tardará aproximadamente 1 semana, más todo el proceso de curado y secado. Se debe tener en cuenta que durante el período de curado y secado, la combinación de frío y humedad diferentes a los parámetros mencionados, puede llegar a afectar la resistencia mecánica y acabado final, perdiendo brillo y blanqueando el color.

Para limpiar el material puede usarse cualquier detergente o jabón neutro y un paño húmedo de forma manual. Es aconsejable no usar productos abrasivos como cepillos o esponjas metálicas, lijas, discos abrasivos, disolventes, ácidos, etc.; ya que todos estos elementos podrían dañar la superficie, para evitar todo esto, se recomienda el uso de jabón neutro y agua.

#### 1.4 PRODUCCIÓN DE TEJAS DE MICROCEMENTO.

La aparición de la teja de microcemento permitió dar un gran paso adelante en la industria de la construcción, cambiando fundamentalmente el mercado para techos. Mientras que hace apenas unos 30 años las tejas de microcemento se utilizaban en un 10% de la industria de la construcción, hoy en día su participación en el mismo ha aumentado vertiginosamente.

Varias han sido las razones de este cambio espectacular hacia las tejas de microcemento:

- Cada vez hay menos acceso a las arcillas aptas para la fabricación de tejas y la destrucción simultánea de las tierras cultivables. En países como Egipto se prohíbe el uso de tierras arcillosas para la producción de ladrillos y tejas, lo que ha traído como consecuencia un aumento apreciable en la producción de elementos de microcemento para los mismos fines.
- Los costos crecientes del combustible utilizado en los hornos para la cocción de las tejas cerámicas. Esto queda demostrado por los menores costos de las tejas de microcemento.
- las tejas de microcemento tiene una baja absorción de agua, alta resistencia mecánica, de gran durabilidad y resistencia ante la acción de los agentes climáticos.

En el país se utilizan mayormente las tejas de arcilla, sobretodo en la sierra mayormente como forma tradicional de cobertura, en la costa y selva también son utilizados pero en menor cantidad, también son usadas las tejas de PVC prefabricados y de microcemento.

En la actualidad al no existir la normativa correspondiente, las empresas fabricantes de tejas las elaboran sin ningún control, el cual no garantiza ninguna calidad del producto.

Estudios demuestran que las tejas de microcemento son más fáciles de fabricar, más económicas, ecológicas, ya que no necesitan una quema en horno como las de arcilla cocida, más resistentes al intemperismo, durables, acústicas, térmicas y de fácil colocación; características adicionales que posee este producto son los mencionados anteriormente de la tecnología del microcemento y sus múltiples beneficios de uso.

“Si se compara el consumo energético de la teja de microcemento con el de otros materiales, resulta sumamente bajo. Como toda acción humana, se hace daño al medio ambiente, pero la teja de microcemento minimiza estos daños con respecto a los demás materiales de cubierta existentes en el mercado”.<sup>2</sup>

- “Un m<sup>2</sup> de teja de microcemento consume en su producción total (incluyendo la fabricación de cemento, maquinaria y teja) 30 mega joule de energía”.<sup>3</sup>
- “Un m<sup>2</sup> de teja de barro consume de 200 a 300 mega joule de energía, dependiendo de la eficiencia del horno”.<sup>4</sup>
- “Un m<sup>2</sup> de teja de zinc (hierro galvanizado), consume 350 mega-joule de energía”.<sup>5</sup>

“Por lo tanto, a la teja de microcemento se la puede declarar como un material ecológicamente viable y sus talleres pueden incluirse en un plan global de desarrollo sostenible”.<sup>6</sup>

Por las ventajas en la elaboración del producto, esta tecnología se puede transferir a otros lugares del país para su producción, e incluso de forma artesanal con asesoramiento técnico para los pobladores de bajos recursos, proporcionando trabajo y una mejor alternativa para la protección constructiva de sus viviendas, teniendo en cuenta que es un producto sostenible, sustentable y ecológico.

#### 1.4.1 Propiedades de la teja de microcemento.

- Sustituyeron a las tejas fabricadas con fibras naturales y arcilla, demostrando ser más duraderas y económicas.
- Sustituyen con ventajas, en términos ecológicos, a las láminas metálicas y de asbesto de cemento, así como a las tejas de arcilla cocida, dado su muy bajo consumo energético.

<sup>2</sup> EcoSur. Un Techo Que Cubre Al Mundo. Cap. 8, pág. 109.

<sup>3</sup> **Ibid.** Cap. 8, pág. 109.

<sup>4</sup> **Ibid.** Cap. 8, pág. 109.

<sup>5</sup> **Ibid.** Cap. 8, pág. 109.

<sup>6</sup> **Ibid.** Cap. 8, pág. 109.

- Se producen tejas de diferentes estilos y dimensiones, con espesores entre 6 y 10 mm. Para los puntos singulares se producen piezas complementarias.
- Para su producción se requiere de una pequeña mesa vibratoria manual o movida por electricidad y moldes preferentemente de producción industrial.
- Consumen menos cemento por metro cuadrado que las láminas de asbesto de cemento.
- Resisten bien el almacenaje y el transporte.
- Admiten imprecisiones menores en la estructura de soporte y para resistir vientos de consideración deben estar bien fijadas a esta.
- Las tejas son además inoxidables, incombustibles, de gran durabilidad y buena apariencia.
- Acústica y térmica, en zonas frías mantiene el calor y en zonas cálidas mantiene fresco el ambiente,

#### 1.4.2 Producción de tejas de microcemento.

En el país pocos son las empresas que fabrican tejas de microcemento, una de ellas es la empresa Cesedem; la fábrica Eternit produce tejas de fibra de cemento, tecnología totalmente diferente a la del microcemento; la mayor parte de producción de tejas se da en las de arcilla por todo el país, tanto formal, informal y artesanal.

El desconocimiento de la tecnología del microcemento han hecho que aun siga prosperando la teja de arcilla en el país; pero poco a poco empresas como Cesedem están promocionando esta tecnología.

##### 1.4.2.1 Fases de fabricación de tejas de microcemento.

**Materiales necesarios:**

- **Cemento:** Se utiliza cemento portland ordinario, con una proporción de cemento arena optima y una relación agua/cemento que dé a la mezcla una fluidez necesaria para que se trabajable y moldeable. Cada teja utiliza cemento, en dependencia de su espesor y tipo.
- **Arena:** Preferentemente con partículas angulares y una buena distribución de granos, **libre de sales disueltas, arcilla y limo**; resumiendo arena para construcción, con todas las propiedades que las normas lo exigen.
- **Agua:** Debe usarse limpia, preferentemente potable Es muy importante garantizar su correcta dosificación para obtener buena resistencia en las tejas.

- **Aditivos:** Pueden utilizarse impermeabilizantes si las arenas no tienen buena granulometría y colorantes si se desea obtener otra apariencia; entre otros ya mencionados propios de la tecnología del microcemento.
- **Alambre:** Para la fijación de las tejas al soporte, es de manera opcional, pero si se usan, se necesitan por teja 10 cm de alambre de 1.4 mm.

“La adición de pigmentos modificara la granulometría del agregado global por lo que se deberá considerar en la determinación de la dosificación de las mezclas”.<sup>7</sup>

“La cantidad de colorante varía de acuerdo a la coloración que se desee entre el 3% y 10% del peso del cemento. Se recomienda elaborar tejas de prueba”.<sup>8</sup>

#### 1.4.2.2 Equipamiento necesario.

- **Mesa vibratoria:** Está formada por una superficie que vibra y marcos articulados a esta, intercambiables para producir diferentes tipos y espesores de tejas.
- **Los moldes de conformación:** En ellos se termina el proceso de dar forma a la teja. De la calidad de los moldes depende la de las tejas, tanto en términos de superficie como de precisión y similitud entre ellas, lo que repercute posteriormente en la precisión y uniformidad del montaje del techo y en su apariencia; se recomiendan los producidos industrialmente en plástico resistente al impacto, ligeros, acumulables, con marcas para la correcta ubicación de la lámina fresca en el molde, y poder acumularlos unos sobre otros, una cámara hermética de curado que garantiza la calidad inicial del mortero; cada molde permite producir una teja cada 24 horas como mínimo.
- **Láminas de plástico:** Sirven para la conformación inicial y vibrado junto con el mortero fresco, facilitar su traslado de la mesa vibradora al molde; se utilizan de igual modo que los moldes, deben tener un espesor lo suficiente para deslizar sin problemas, que no interrumpa con los bordes del molde y ser traslúcidos para que cumplan bien su función.
- **Equipamiento complementario:** Dispositivos para control de calidad, cuyas versiones más elementales pueden construirse en el taller y un set profesional para ensayos de flexión, durabilidad y control de impermeabilidad.

<sup>7</sup> Cotesu. **Proyecto Control De Calidad De Tejas De Fibra-Cemento.** Cap. 1. pág. 13. (paper)

<sup>8</sup> **Ibid.** Cap. 2. pág. 13. (paper)

### 1.4.2.3 Proceso de fabricación.

En el proceso de fabricación se debe tener cuidado en la dosificación y la trabajabilidad del mortero, que garanticen una mezcla homogénea y cuya resistencia final cumpla la norma usada; se debe tener bastante cuidado en los siguientes paso: el tiempo de vibrado, secado en molde por 24 horas, curado de 28 días y secado final de 7 días; cada paso se explica más ampliamente más adelante:

- una vez obtenido la dosificación arena, cemento y agua correctos, se mezcla manualmente la arena y el cemento, luego se agrega el agua poco a poco; con el mortero listo nos vamos a la mesa vibradora.
- Se coloca la lámina plástica sobre la mesa vibradora y se fija el marco a la mesa. Ver figura Nº 1.1.

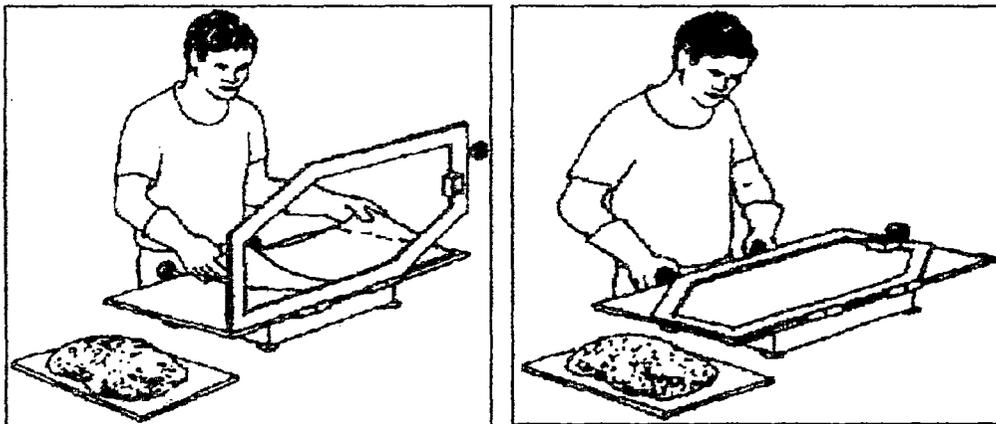


Figura Nº 1.1: Colocación de lámina plástica y fijado del marco metálico.

Fuente: Centre for Ecological Sciences.

- Se Coloca el mortero sobre la lámina, distribuimos y alisamos el mortero bajo vibración. Ver figura Nº 1.2.

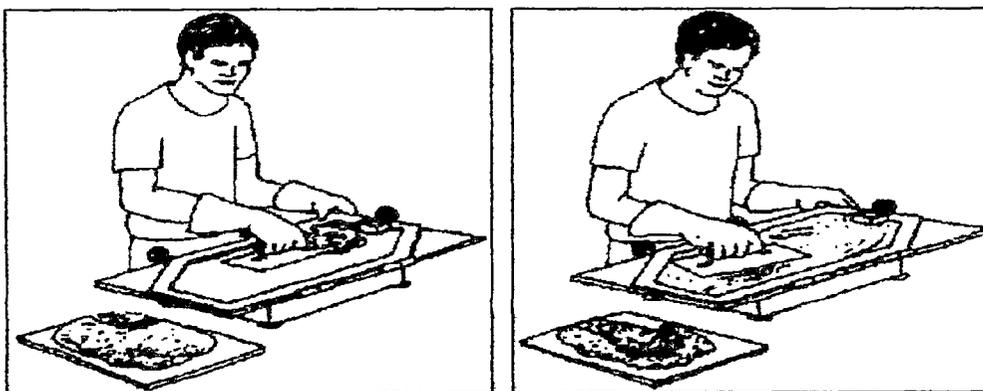


Figura Nº 1.2: Colocación de mortero y vibrado.

Fuente: Centre for Ecological Sciences.

- Se rellena la cajuela del tacón de fijación e insertamos el lazo del alambre (solo para producción, en el estudio no se realizara este paso). Ver figura N° 1.3.

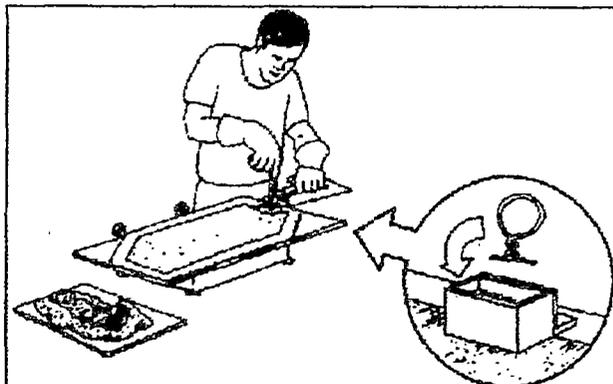


Figura N° 1.3: Relleno de cajón de sujeción.

Fuente: Centre for Ecological Sciences.

- Trasladamos la lámina con mortero fresco al molde y colocamos está en la estiba. Curamos las tejas en cualquier depósito con agua. Ver figura N° 1.4.

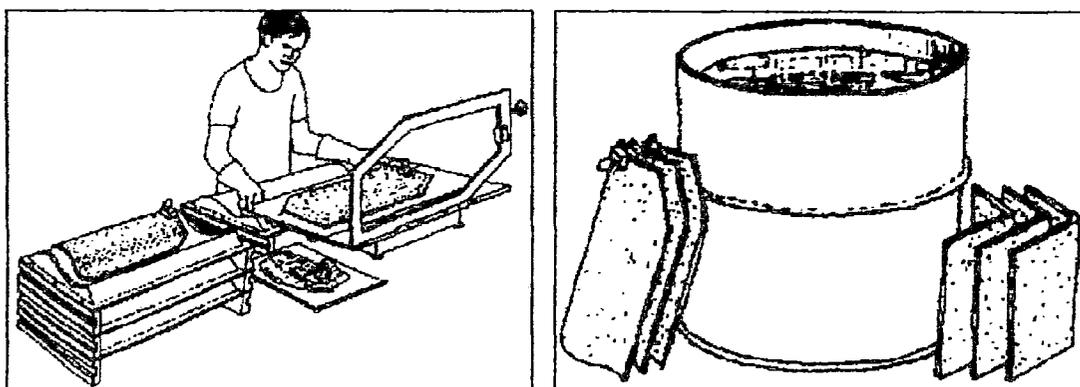


Figura N° 1.4: Moldeado y curado de las tejas.

Fuente: Centre for Ecological Sciences.

Ahora veremos en forma resumida el proceso de fabricación de la teja de arcilla cocida, esto con la finalidad de ver las distintas fases y poder compararlas.

- Extracción de arcillas. La extracción de arcillas se realiza en canteras.
- Molienda. Tras la primera mezcla, el proceso de la molienda permite obtener el tamaño deseado de la materia prima para que pueda ser trabajada a continuación; la molienda puede ser realizada por vía seca o vía húmeda, si se elige la primera opción, se fragmenta la arcilla a la vez que se mantienen los agregados y aglomerados de partículas, con un tamaño de partículas mayor al que resulta de utilizar la molienda por vía húmeda.

- Amasado. El proceso de amasado consiste en el mezclado de las materias primas con agua dando la composición de la pasta, para obtener una masa plástica moldeable por extrusión.
- Moldeo. Actualmente se realiza el moldeo con máquinas, llamadas galleteras, que permiten obtener productos cerámicos en serie con la mayor calidad y medidas perfectas; con este sistema, se reduce el consumo de agua en la industria y se puede trabajar con pastas cerámicas más secas.
- Cortar y apilar. Tras su paso por la galletera, el material cerámico se corta y apila, antes de su paso por los hornos de cocción, las cortadoras son las que dan forma a la pieza cerámica que se va a producir.
- Cocción. Las piezas cerámicas se han apilado en vagonetas que se introducen en los hornos de cocción cerámica.

Como vemos desde la deprecación de suelos hasta la cocción que implica emisión de gases tóxicos al ambiente, hace que la teja de arcilla en comparación con la teja de microcemento sea de un alto costo de producción y sobre todo dañino al medio ambiente.

#### 1.4.3 Costos de mercado.

Para verificar el costo de mercado y analizar muchos detalles que veremos más adelante en el capítulo V; verificaremos el precio final de venta de dos empresas, una que produce tejas de arcilla cocida y otra que produce tejas de microcemento.

Tejas de arcilla cocida (fabrica Eternit, precios a diciembre 2013).

- Teja plana (0.20x0.40) 39.90 S/. por m<sup>2</sup>, 2.20 S/. cada teja.
- Teja ondulada (0.36x0.15) 40.8 S/. por m<sup>2</sup>. 3.10 S/. cada teja.

Teja de microcemento (fabrica Cesedem, precios a diciembre 2013).

- Teja plana (0.20x0.40) 25.00 S/. por m<sup>2</sup>, 1.60 S/. cada teja.
- Teja ondulada (0.50x0.25) 27.20 S/. por m<sup>2</sup>, 2.00 S/. cada teja.

Como vemos el precio de las tejas de microcemento por m<sup>2</sup> es casi a la mitad en comparación a las de arcilla cocida, con esto comprobamos una de las ventajas de la teja de microcemento.

## 1.5 VENTAJAS DE LA TEJA DE MICROCEMENTO.

Las tejas son uno de los materiales para techar más durables en el mercado, y requieren muy poco mantenimiento; son resistentes al fuego y ofrecen un nivel relativamente alto de aislamiento térmico y acústico., además de ser ecológicos, resistentes; su fácil fabricación hace que este material sea una mejor elección que su similar de arcilla.

Cuando se trata de elegir entre la arcilla y tejas de concreto se debe tener en cuenta tanto las diferencias funcionales y estéticas entre estos dos materiales.

### 1.5.1 Diferencias entre las tejas de arcilla y las tejas de microcemento.

A pesar de que las tejas de arcilla y concreto son muy durables, pueden romperse o astillarse con un impacto y no deben utilizarse en áreas que requieran techados con alta resistencia al impacto.

- **Durabilidad de las tejas.** Ambos materiales son increíblemente fuertes y duraderos; las tejas de cemento duran muchos años, si bien esto es mucho más que muchos otros materiales para techos, todavía no se puede comparar con la durabilidad de la arcilla; Las tejas de arcilla natural pueden durar por siglos, y no se descomponen debido al viento, la humedad o la lluvia.
- **Manufactura.** Las tejas de barro son hechas de arcilla que se hornea en un horno para eliminar la humedad; las tejas de hormigón están hechas con cemento Portland, arena y agua, pueden tener pigmentos o colorantes o se pueden dejar con su acabado gris natural; debido a que está hecho de productos naturales, es amigable con el medio ambiente y se recicla fácilmente
- **Costo de las tejas.** Las tejas de concreto cuestan alrededor de la mitad de las tejas de barro, al evaluar los costos sin embargo, uno también debe considerar la vida útil de estos productos. el concreto puede fácilmente durar más décadas que la arcilla, y necesitan ser reemplazadas con menos frecuencia, lo que es mejor opción con el tiempo.
- **Color.** Las tejas de arcilla son conocidos por su rico colorido de terracota de color rojo, ellas pueden ser esmaltadas o semi esmaltadas para modificar su apariencia, este material mantendrá su color con el tiempo, independientemente de las condiciones meteorológicas; las tejas de concreto pueden ser terminadas en cualquier color deseado con pigmentos o colorantes.

- **Clima.** Uno de los mayores problemas con las tejas de barro es su tendencia a agrietarse o romperse debido a ciclos de congelación y descongelación, debido a esto es que normalmente se encuentran sólo en climas cálidos; las tejas de concreto no es tan susceptible a los daños debidos a la congelación, y se puede utilizar en casi cualquier clima.
- **Peso.** Ambas, las tejas de cemento y de arcilla son bastante fuertes en comparación con otros materiales para techos, pero la arcilla tiende a ser el más pesado de los dos, estas tejas no se recomienda su uso en edificios existentes a menos que la estructura del techo este reforzado para soportar el peso añadido; algunas tejas de concreto se puede fabricar utilizando pizarras de peso ligero en lugar de arena, disminuyendo aún más su peso, lo que les permite ser utilizado en edificios ya existentes.

## CAPÍTULO II: NORMATIVIDAD.

En la actualidad no existe una normatividad para el control de calidad de las tejas de microcemento, por lo cual el presente estudio tomara como referencia la normatividad española para tejas de microcemento: UNE EN-490 (especificaciones de producto), UNE EN 491 (métodos de ensayo). Así mismo para los ensayos de control de calidad de la arena y el mortero se utilizara las Normas Peruanas: NTP 339.046 (control de peso unitario), NTP 400.012 (Granulometría de agregados), NTP 339.085 (Ensayo de fluidez), NTP 334.051 (Ensayo de comprensión en morteros de cemento).

### 2.1 NORMATIVIDAD DE LAS ESPECIFICACIONES DE PRODUCTO, NORMA UNE EN 490.

"Esta norma UNE EN 490:2011 ha sido elaborada por el comité técnico CEN/TC 128 productos de colocación discontinua para cubiertas y recubrimientos de muros, cuya secretaria desempeña NBN".<sup>9</sup>

"Esta norma europea ha sido elaborada bajo un mandato dirigido a CEN por la Comisión Europea y por la Asociación Europea De Libre Comercio, y sirve de apoyo a los requisitos esenciales de las directivas europeas".<sup>10</sup>

"Esta norma específica los requisitos de las tejas y piezas de hormigón para tejados inclinados y revestimiento exterior e interior de muros".<sup>11</sup>

#### 2.1.1 Requisitos.

##### 2.1.1.1 Materiales.

"El hormigón empleado en la fabricación de tejas y piezas debe estar formado por una mezcla de cemento, áridos y agua, producido como consecuencia del endurecimiento de la pasta de cemento (cemento y agua)".<sup>12</sup>

<sup>9</sup> AENOR. UNE EN 490 Tejas y Piezas de Hormigón – Especificaciones de Producto. Pág. 5.

<sup>10</sup> Ibid., pág. 5.

<sup>11</sup> Ibid., pág. 5.

<sup>12</sup> Ibid., pág. 8.

### 2.1.1.2 Dimensiones.

“El fabricante debe declarar en las especificaciones técnicas la longitud de cuelgue de las tejas. Para las tejas con frente regular, los valores de  $l_1$  deben estar comprendidos en la tolerancia de  $\pm 4$  mm respecto al valor declarado por el fabricante, cuando se ensayen según el apartado 5.2 de la norma UNE EN 491:2011”.<sup>13</sup>

“La perpendicularidad de las tejas con longitud de cuelgue nominalmente constante, cuando se ensayen según el apartado 5.2.2.1 de la norma UNE EN 491; debe calcularse como la diferencia entre los valores  $l_2$  y  $l_3$  y no debe superar los 4 mm”.<sup>14</sup>

“La anchura efectiva (o de cubrición) de las tejas  $C_w$ , debe declararse en las especificaciones técnicas del fabricante”.<sup>15</sup>

“Cuando las tejas con holguras en la anchura efectiva declaradas por el fabricante, se ensayen según el apartado 5.3.3.1 de la norma UNE EN 491:2011, la anchura efectiva debe cumplir los requisitos siguientes.”<sup>16</sup>

- $\frac{C_{wd}}{10} \geq C_w + \text{holgura máxima declarada}$ .<sup>17</sup>
- $\frac{C_{wd}}{10} \leq C_w - \text{holgura mínima declarada}$ .<sup>18</sup>

“Cuando las tejas con ensamble sin holguras en la anchura efectiva y las tejas con holgura en su anchura efectiva pero no declaradas por el fabricante, se ensayen según el apartado 2.3.3.1 de la norma UNE EN 491, la anchura efectiva media debe estar dentro de una tolerancia de  $\pm 5$  mm respecto a la anchura efectiva declarada por el fabricante”.<sup>19</sup>

“cuando las tejas sin ensamble se ensayen según el apartado 5.3.3.2 de la norma UNE EN 491, la anchura efectiva media debe estar dentro de una tolerancia de  $\pm 3$  mm respecto al valor declarado por el fabricante”.<sup>20</sup>

<sup>13</sup> *ibid.* pág. 8.

<sup>14</sup> *ibid.* pág. 8.

<sup>15</sup> *ibid.* pág. 8.

<sup>16</sup> *ibid.* pág. 8.

<sup>17</sup> *ibid.* pág. 8.

<sup>18</sup> *ibid.* pág. 8.

<sup>19</sup> *ibid.* pág. 8.

<sup>20</sup> *ibid.* pág. 9.

2.1.1.3 Resistencia mecánica (resistencia a flexión transversal).

“Cuando las tejas se ensayen según el apartado 5.6 de la norma UNE EN 491:2011.”<sup>21</sup>

- a) “El valor de  $F_{min}$  no debe ser menor que el valor indicado en el cuadro 2.1.”<sup>22</sup>
- b) “El número de tejas individuales cuya resistencia a flexión transversal ( $F_i$ ) sea menor que el valor indicado en el cuadro 2.1, no debe ser mayor que el valor de aceptación indicado en la tabla 2.2”.<sup>23</sup>

“Las tejas ensayadas con menos de 28 días después de su fabricación se deben considerar conformes si alcanzan valores iguales o mayores que el 80% de los indicados en el cuadro 2.1 y si el fabricante puede demostrar estadísticamente que los valores indicados en el cuadro 2.1 se consiguen transcurridos 28 días”.<sup>24</sup>

Cuadro N° 2.1: Resistencia transversal mínima de las tejas  $F_{min}$ .

PROPIEDAD	TEJAS CON ENSAMBLE						TEJAS SIN ENSAMBLE
	PERFILADAS				PLANAS		
ALTURA DE ONDA	d > 20 mm		20 mm ≥ d ≥ 5 mm		d ≤ 5 mm		-----
$C_w$ (mm)	≥ 300	≤ 200	≥ 300	≤ 200	≥ 300	≤ 200	
$F_{min}$ (N)	2000	1400	1400	1000	1200	800	550
$F_{min}$ (kg)	200	140	140	100	120	80	55

Fuente: Norma UNE EN 490 Especificaciones de Producto.

“El fabricante debe declarar la altura de onda (d) y, si  $d < 20$  mm, debe medirse según el apartado 5.6.4.1 de la norma UNE EN 491:2011”.<sup>25</sup>

“La resistencia transversal mínima de las tejas con ensamble cuya anchura efectiva este comprendido entre 200 mm y 300 mm debe determinarse mediante la interpolación lineal de los valores indicados en el cuadro 2.1”.<sup>26</sup>

<sup>21</sup> *ibid.* pág. 9.  
<sup>22</sup> *ibid.* pág. 9.  
<sup>23</sup> *ibid.* pág. 9.  
<sup>24</sup> *ibid.* pág. 9.  
<sup>25</sup> *ibid.* pág. 10.  
<sup>26</sup> *ibid.* pág. 10.

#### 2.1.1.4 Impermeabilidad.

"Cuando las tejas se ensayen según el apartado 5.7 de la norma UNE EN 491:2011, la parte inferior de las tejas y/o piezas puede presentarse gotas de agua pero no puede desprenderse ninguna gota durante el tiempo de duración del ensayo (20h)".<sup>27</sup>

#### 2.1.1.5 Durabilidad (resistencia al hielo y deshielo).

"Cuando las tejas y/o piezas se ensayen según el apartado 5.8 de la norma UNE EN 491:2011, deben satisfacer los requisitos de impermeabilidad y resistencia mecánica".<sup>28</sup>

"Cuando las piezas se ensayen según el apartado 5.8 de la norma UNE EN 491:2011, no deben romperse, separarse en trozos ni rajarse".<sup>29</sup>

#### 2.1.2 evaluación de la conformidad.

"La conformidad de las tejas y piezas de hormigón con los requisitos de esta norma europea debe demostrarse mediante:".<sup>30</sup>

- ensayos iniciales de tipo (EIT); y.<sup>31</sup>
- control de producción en fábrica (CPF).<sup>32</sup>

"A efectos del ensayo, las tejas y/o piezas pueden agruparse en familias cuando se considere que una determinada característica o un conjunto de características dadas son comunes a todas las tejas y/o piezas dentro de la familia".<sup>33</sup>

#### 2.1.2.1 Ensayos de tipo (eit).

"Los ensayos iniciales de tipo deben llevarse a cabo para demostrar la conformidad con esta norma. Cuando proceda, todas las características del cuadro 2.3 deben ser objeto de ensayos iniciales de tipo".<sup>34</sup>

"Pueden tomarse en consideración los ensayos realizados previamente para demostrar la conformidad con las disposiciones de esta norma europea (siempre que sean sobre un mismo producto, misma característica, igual régimen de muestreo e idéntico sistema de verificación de la conformidad)".<sup>35</sup>

<sup>27</sup> *Ibid.* pág. 10.

<sup>28</sup> *Ibid.* pág. 10.

<sup>29</sup> *Ibid.* pág. 10.

<sup>30</sup> *Ibid.* pág. 13.

<sup>31</sup> *Ibid.* pág. 13.

<sup>32</sup> *Ibid.* pág. 13.

<sup>33</sup> *Ibid.* pág. 13.

<sup>34</sup> *Ibid.* pág. 13.

<sup>35</sup> *Ibid.* pág. 13.

“Siempre que se produzca un cambio en el diseño del producto, en las materias primas o en el proceso de producción, que pueda cambiar significativamente una o más de las características señaladas, el ensayo de tipo se debe repetir para las características afectadas”.<sup>36</sup>

#### 2.1.2.2 Control de producción de fábrica (cpf).

El fabricante debe establecer, documentar y mantener un sistema de control de producción en fábrica para asegurar que los productos puestos en el mercado satisfacen los requisitos de esta norma europea. El sistema de control de producción puestos en el mercado satisfacen los requisitos de esta norma europea. El sistema de control de producción en fábrica debe constar de los procedimientos, las inspecciones regulares y los ensayos y/o evaluaciones necesarios para controlar las materias primas u otros materiales, los componentes, los equipos, el proceso de producción y el producto. El sistema de control de producción en fábrica debe ser lo suficientemente detallado para asegurar la evidencia de la conformidad del producto.<sup>37</sup>

“El sistema de control de producción en fábrica debe incluir los ensayos identificados en la columna pertinente del cuadro 2.2”.<sup>38</sup>

“Deben registrarse los resultados de las inspecciones, ensayos o evaluaciones que hubieran exigido actuaciones y las acciones tomadas. También deben registrarse las acciones que deben tomarse cuando no se consiguen los valores o criterios de control”.<sup>39</sup>

#### 2.1.3 Muestreo.

##### 2.1.3.1 Ensayos iniciales de tipo (eit).

“Las muestras de tejas y piezas utilizadas para los ensayos de tipo deben tomarse de acuerdo con el plan indicando en el cuadro 2.2 y con el procedimiento de muestreo descrito en el anexo A”.<sup>40</sup>

---

<sup>36</sup> *Ibid.*, pág. 13.

<sup>37</sup> *Ibid.*, pág. 13.

<sup>38</sup> *Ibid.*, pág. 13.

<sup>39</sup> *Ibid.*, pág. 13.

<sup>40</sup> *Ibid.*, pág. 13.

**2.1.3.2 Control de producción de fábrica (cpf).**

Las muestras de las tejas y piezas utilizadas para el control de producción de fábrica deben tomarse de acuerdo con el plan indicando en el cuadro 2.3, o bien, mediante muestras de tamaños y frecuencias que deben determinarse empleando métodos de control estadístico de proceso y/o niveles de aceptación de tal modo que, al menos un 95% de los productos cumplan con los requisitos de cada ensayo de control de producción.<sup>41</sup>

“Cuando se evalúen los productos de acuerdo con esta norma europea, cada ensayo debe considerarse por separado”.<sup>42</sup>

Si una teja o pieza no satisface los requisitos, deben tomarse una segunda muestra de 10 tejas o piezas (11 tejas en el caso de la anchura efectiva). Todas las tejas y/o piezas de la segunda muestra deben cumplir con los requisitos. Si es más de una teja o pieza de la primera muestra falla o si una teja o pieza de la segunda muestra falla, entonces debe considerarse que los productos que se están evaluando no satisfacen los requisitos de esta norma europea.<sup>43</sup>

Cuadro N° 2.2: Planes de muestreo.

ENSAYO	ENSAYO INICIAL TIPO	ENSAYOS DE CONTROL DE PRODUCCION EN FABRICA	
	TAMAÑO DE MUESTRA	TAMAÑO DE MUESTRA	FRECUENCIA MINIMA
Anchura efectiva.	11	11	1 de cada 7 días producido
Ensayo de resistencia a la flexión.	3	3	1 de cada 7 días producido
Ensayo de impermeabilidad.	3	1	1 de cada 7 días producido
Ensayo de hielo y deshielo.	3	No ensayar	-----

Fuente: Norma UNE EN 490 Especificaciones de Producto.

<sup>41</sup> *Ibid.*, pág. 14.

<sup>42</sup> *Ibid.*, pág. 14.

<sup>43</sup> *Ibid.*, pág. 14.

## 2.2 NORMATIVIDAD DE MÉTODOS DE ENSAYO, NORMA UNE EN 491.

“Esta norma UNE EN 491:2011 tejas y piezas de hormigón para tejados y revestimientos de muros ha sido elaborada por el comité técnico CEN/TC 128 productos de colocación discontinua para cubiertas y recubrimientos de muros”.<sup>44</sup>

“Esta norma europea especifica los métodos de ensayo para las tejas y piezas de hormigón para tejados que cumplen con la norma UNE EN 490, para montaje en tejados inclinados o revestimiento exterior e interior de muros”.<sup>45</sup>

### 2.2.1 Anchura efectiva.

“Las tejas se cuelgan o se extienden sobre una varilla de acero para determinar su anchura efectiva”.<sup>46</sup>

Se usa una superficie para soportar y extender 11 tejas, puede ser horizontal o inclinado como máximo 70°.

“Para las tejas con ensamble se cuelgan o extienden 11 tejas con igual anchura efectiva, ensamblándolas tal y como recomienda el fabricante”.<sup>47</sup>

“Se estiran las tejas hasta llegar a su recubrimiento máximo, cuidando que los ensambles ni se levanten ni se desenganchen. Se mide la anchura efectiva en posición estirada  $C_{wd}$  sobre 10 tejas redondeando al milímetro más cercano (figura 2.1 a)”.<sup>48</sup>

“Se juntan las tejas hasta llegar a su recubrimiento mínimo, cuidando que los ensambles ni se levanten ni se desenganchen. Se mide la anchura efectiva en posición cerrada  $C_{wc}$  sobre 10 tejas redondeando al milímetro más cercano (figura 2.1 b)”.<sup>49</sup>

<sup>44</sup> AENOR. UNE EN 491 Tejas y Piezas de Hormigón – Métodos de Ensayo. pág. 6.

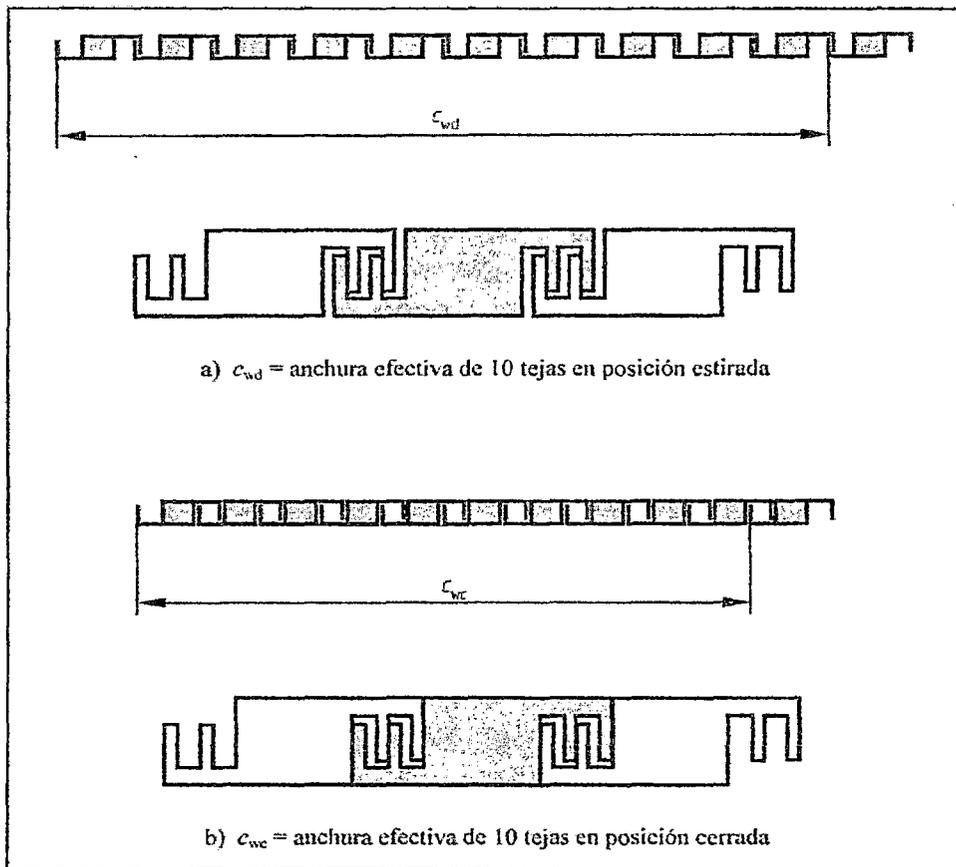
<sup>45</sup> Ibid., pág. 6.

<sup>46</sup> Ibid., pág. 9.

<sup>47</sup> Ibid., pág. 10.

<sup>48</sup> Ibid., pág. 10.

<sup>49</sup> Ibid., pág. 10.



Fuente: Norma UNE EN 491 Métodos de Ensayo.

FIGURA 2.1: Ensayo de anchura efectiva para tejas con ensamble.

“Para las tejas sin ensamble se cuelgan o extienden 10 tejas con igual anchura efectiva, ensamblándolas tal y como recomienda el fabricante”.<sup>50</sup>

“Se juntan las tejas, se mide la anchura de las 10 tejas, redondeando al milímetro más cercano”.<sup>51</sup>

<sup>50</sup> *ibid.* pág. 10.

<sup>51</sup> *ibid.* pág. 10.

“Para las tejas con ensamble se calcula redondeando al milímetro más cercano los siguientes valores:”<sup>52</sup>

- “El valor medio en posición estirada  $C_{wd}/10$  y el valor medio en posición cerrada  $C_{wc}/10$ ; o bien”.<sup>53</sup>
- “El valor medio de la anchura efectiva  $(C_{wd} + C_{wc})/20$ ”.<sup>54</sup>

“Para las tejas sin ensamble se calcula redondeando al milímetro más cercano, la anchura efectiva media  $C_{wc}/10$ ”.<sup>55</sup>

El informe de ensayo debe incluir lo siguiente:

Para tejas con ensamble:

- “El valor medio en posición estirada  $C_{wd}/10$  y el valor medio en posición cerrada  $C_{wc}/10$  redondeados al milímetro más cercano o bien”.<sup>56</sup>
- “El valor medio de la anchura efectiva  $(C_{wd} + C_{wc})/20$  redondeado al milímetro más cercano”.<sup>57</sup>
- “Referencia a esta norma UNE EN 491”.<sup>58</sup>

Para tejas sin ensamblados:

- “El valor medio en posición estirada  $C_{wd}/10$  redondeado al milímetro más cercano”.<sup>59</sup>
- “Referencia a esta norma UNE EN 491”.<sup>60</sup>

### 2.2.2 Ensayo de resistencia a la flexión.

“Las tejas se colocan en una máquina de ensayo y se les aplica una carga con objeto de determinar su resistencia mecánica”.<sup>61</sup>

<sup>52</sup> *Ibid.*, pág. 11.

<sup>53</sup> *Ibid.*, pág. 11.

<sup>54</sup> *Ibid.*, pág. 11.

<sup>55</sup> *Ibid.*, pág. 11.

<sup>56</sup> *Ibid.*, pág. 11.

<sup>57</sup> *Ibid.*, pág. 11.

<sup>58</sup> *Ibid.*, pág. 11.

<sup>59</sup> *Ibid.*, pág. 11.

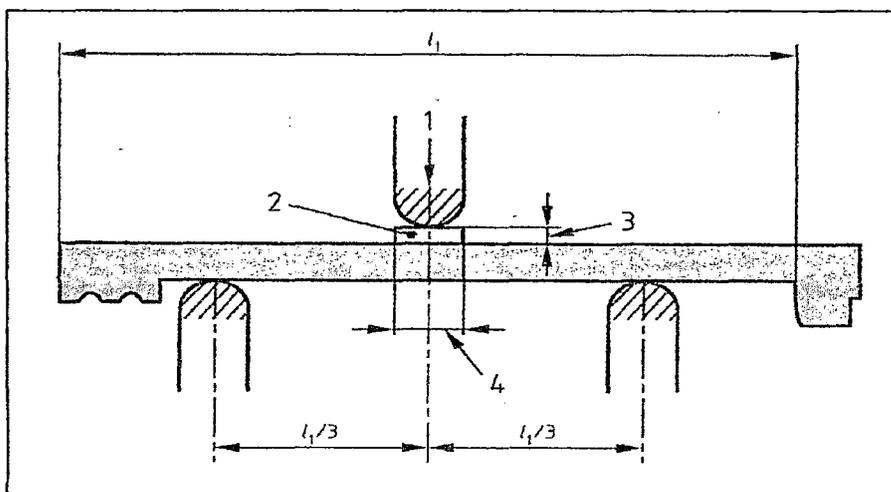
<sup>60</sup> *Ibid.*, pág. 11.

<sup>61</sup> *Ibid.*, pág. 13.

“Se necesita una máquina de ensayo con dos apoyos inferiores metálicos redondeados, situados en un plano horizontal, cuya distancia entre ejes es  $2/3$  de la longitud de cuelgue de las tejas a ensayar y un único apoyo metálico redondeado situado en posición superior centrado respecto de los dos apoyos inferiores”.<sup>62</sup>

Los apoyos deben tener sección circular o rectangular con un lado redondeado. La parte redondeada de los apoyos debe tener un radio comprendido entre 10 mm y 20 mm. La anchura mínima de los apoyos debe ser 20 mm. Tanto el apoyo superior como el más próximo al frente de la teja deben pivotar libremente alrededor de un plano perpendicular a su eje longitudinal. La longitud de los apoyos debe ser igual o mayor que la anchura de la teja que se va ensayar.<sup>63</sup>

“La máquina de ensayo debe estar calibrada de tal manera que el valor indicado sea un  $\pm 3\%$  del valor real. Ver figura 2.2”.<sup>64</sup>



Fuente: Norma UNE EN 491 Métodos de Ensayo.

1. Carga.
2. Almohadilla de elastómero.
3.  $(10 \pm 5)$  mm.
4.  $\geq 20$  mm.

FIGURA 2.2: Máquina de ensayo de flexión.

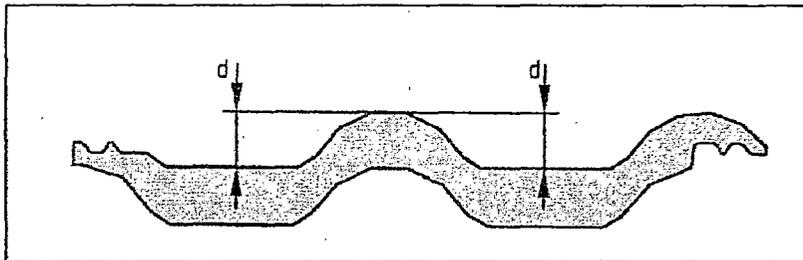
<sup>62</sup> *Ibid.*, pág. 14.

<sup>63</sup> *Ibid.*, pág. 14.

<sup>64</sup> *Ibid.*, pág. 14.

- Medida de la altura de onda  $d$ .

“Si el valor de la altura de onda declarado por el fabricante  $d$  es menor a 20 mm, se mide la altura de onda de cada teja de la muestra y se calcula el valor medio para la muestra. Ver imagen 2.3”.<sup>65</sup>



Fuente: Norma UNE EN 491 Métodos de Ensayo.

FIGURA 2.3: Medida de la altura de la onda  $d$ .

“La teja que se va ensayar se coloca sobre los apoyos inferiores de la máquina, con la cara vista hacia arriba, de tal manera que la línea central de la longitud de cuelgue sea equidistante de los apoyos inferiores. Si la teja no es estable en esta posición, se desplaza longitudinalmente la teja aproximando los tacones al apoyo fijo, de tal manera que este se situé en la posición del rastrel de soporte del tejado”.<sup>66</sup>

El ángulo del apoyo superior no debe ser mayor que  $10^\circ$  con respecto al apoyo fijo inferior. Para lograrlo pueden utilizarse piezas de ajuste, si fuese necesario. Con las tejas planas, se coloca una almohadilla de elastómero entre el apoyo superior y la teja. Con las tejas onduladas, se coloca una pieza contorneada entre el apoyo superior y la teja. Si la pieza contorneada está hecha de madera dura o metal, se coloca una almohadilla de elastómero entre ella y la teja. Ver imagen 2.4.<sup>67</sup>

“La teja se sitúa de modo que la carga no afecte al ensamble (si existe) y de tal forma que la carga pueda aplicarse centrada sobre la anchura efectiva de la teja (Ver imagen 2.4)”.<sup>68</sup>

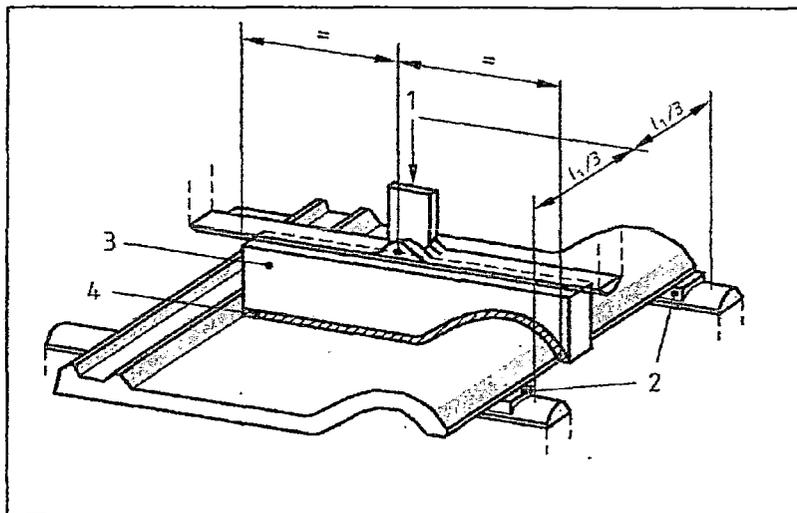
<sup>65</sup> *ibid.* pág. 15.

<sup>66</sup> *ibid.* pág. 15.

<sup>67</sup> *ibid.* pág. 15.

<sup>68</sup> *ibid.* pág. 15.

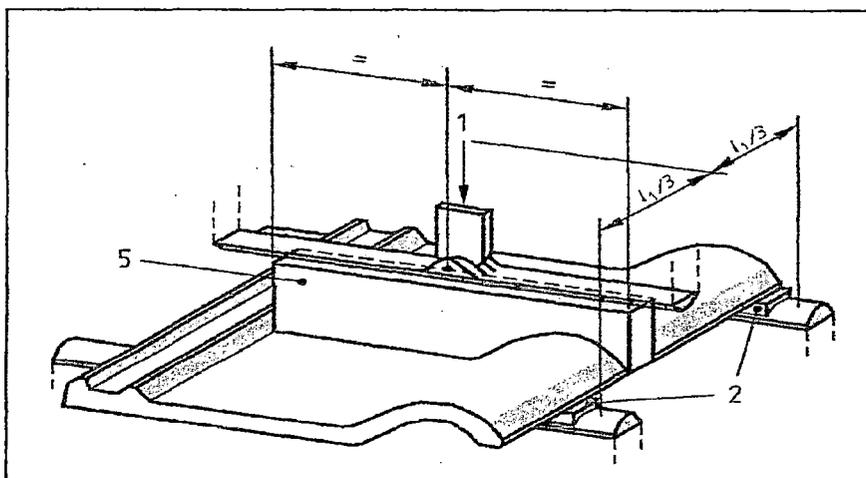
- Colocación de la teja para la aplicación de la carga.



Fuente: Norma UNE EN 491 Métodos de Ensayo.

- 1. Carga.
- 2. Pieza de ajuste.
- 3. Pieza contorneada de madera dura o metal.
- 4. Almohadilla de elastómetro.

FIGURA 2.4 a: Utilizando una pieza de madera dura contorneada o metal.



Fuente: Norma UNE EN 491 Métodos de Ensayo.

- 1. Carga.
- 2. Pieza de ajuste.
- 5. Pieza contorneada de yeso moldeado.

FIGURA 2.4 b: Utilizando una pieza contorneada de yeso moldeado.

“La carga se aplica por medio del apoyo superior a una velocidad de entre 1500 N/min y 6500 N/min, hasta que se produzca la rotura”.<sup>69</sup>

“Se anota la carga máxima de cada teja redondeada a los 10 N más cercanos. Para calcular la carga total se añade el peso de las piezas colocadas sobre la teja, si este es mayor que 5 N”.<sup>70</sup>

El informe de ensayo debe incluir lo siguiente:

- “Carga máxima de cada teja, redondeando a los 10 N más cercanos”.<sup>71</sup>
- “Referencia a esta norma, es decir UNE EN 491”.<sup>72</sup>

### 2.2.3 Ensayo de Impermeabilidad.

“Se aplica agua sobre las tejas para determinar su impermeabilidad al agua”.<sup>73</sup>

Se necesitan los siguientes aparatos: según la figura 2.5.

- “Marco estanco, sobre o alrededor de la teja o pieza, si esta tiene una plataforma o soporte, estos no deben ser de anchura mayor que 15 mm”.<sup>74</sup>
- “Masilla impermeable o sellante, para sellar herméticamente la junta entre el marco estanco y la teja o pieza”.<sup>75</sup>
- “Detector de caída de gotas de agua valido”.<sup>76</sup>

---

<sup>69</sup> *ibid.*, pág. 17.

<sup>70</sup> *ibid.*, pág. 17.

<sup>71</sup> *ibid.*, pág. 17.

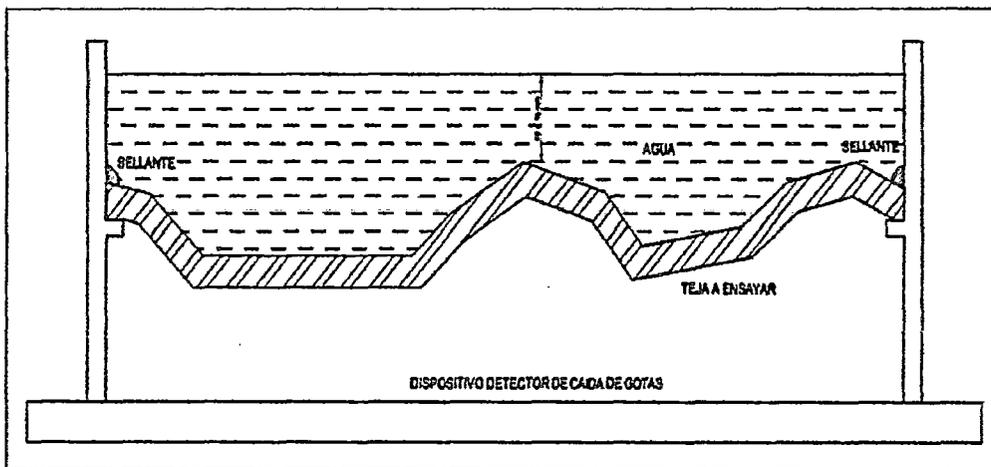
<sup>72</sup> *ibid.*, pág. 17.

<sup>73</sup> *ibid.*, pág. 17.

<sup>74</sup> *ibid.*, pág. 17.

<sup>75</sup> *ibid.*, pág. 17.

<sup>76</sup> *ibid.*, pág. 17.



Fuente: Norma UNE EN 491 Métodos de Ensayo.

FIGURA 2.5: Aparato para ensayo de impermeabilidad.

El sellante tendrá una anchura máxima de 15 mm.

“Las tejas o piezas que se van a ensayar se mantiene durante, al menos 20 h a una temperatura entre 15 °C y 30 °C, con una humedad relativa de como mínimo el 30%, de tal manera que el aire pueda circular libremente a su alrededor”.<sup>77</sup>

“Se sella el marco estanco sobre o alrededor de la teja de tal modo que no se cubra más de 15 mm de su perímetro. En el caso de tejas con ensamble inferior de anchura  $\leq 30$  mm, la anchura cubierta por el sellante no debe ser mayor que la mitad de la anchura del ensamble en ese lado”.<sup>78</sup>

“Si existen aperturas funcionales, tales como agujeros de fijación, se sellan con masilla impermeable o sellante. Si la teja tiene un acabado decorativo, para lograr un sellado impermeable entre la teja y el marco estanco, se retira el acabado decorativo de la superficie en el perímetro de la teja”.<sup>79</sup>

“Se mantiene la teja o pieza con una inclinación menor que 10° sobre la horizontal. Se vierte agua sobre la teja o pieza hasta un nivel de 10 mm a 15 mm sobre el punto más alto, se coloca la probeta sobre un dispositivo adecuado que detecte la caída de las gotas de agua, y se mantiene a una temperatura entre 15 °C y 30 °C y con una humedad relativa de al menos 30% durante 20 h  $\pm$  5 minutos”.<sup>80</sup>

<sup>77</sup> *Ibid.*, pág. 19.

<sup>78</sup> *Ibid.*, pág. 19.

<sup>79</sup> *Ibid.*, pág. 19.

<sup>80</sup> *Ibid.*, pág. 19.

“Se anotan si caen gotas o no de la parte inferior de la teja o de la pieza durante el periodo de tiempo de 20 h ± 5 minutos”.<sup>81</sup>

El informe debe incluir lo siguiente:

- “Si han caído gotas de la parte inferior de la teja”.<sup>82</sup>
- “Referencia a esta norma, es decir UNE EN-491”.<sup>83</sup>

#### 2.2.4 Ensayo de hielo y deshielo

“Las tejas se someten a ciclos de hielo – deshielo para determinar cambios posteriores en su impermeabilidad y su resistencia a flexión transversal”.<sup>84</sup>

Simulando de esta forma toda su vida útil y la pérdida de resistencia e impermeabilidad que pueda sufrir frente a climas extremos desde 20 °C a -20 °C.

Se necesitan los siguientes equipos:

- “Cámara frigorífica dotada de un dispositivo de mezcla de aire capaz de lograr las características de hielo y deshielo expresadas más adelante”.<sup>85</sup>
- “Tanque de inmersión que contiene agua”.<sup>86</sup>

“Se ensayan tejas o piezas enteras con, al menos 28 días de edad”.<sup>87</sup>

“Las tejas o piezas se sumergen en agua a (20±5) °C en el tanque de inmersión durante 3 días. Se sacan las tejas y se quita el exceso de agua superficial con un paño húmedo”.<sup>88</sup>

---

<sup>81</sup> **ibid.** pág. 19.

<sup>82</sup> **ibid.** pág. 19.

<sup>83</sup> **ibid.** pág. 19.

<sup>84</sup> **ibid.** pág. 19.

<sup>85</sup> **ibid.** pág. 19.

<sup>86</sup> **ibid.** pág. 19.

<sup>87</sup> **ibid.** pág. 19.

<sup>88</sup> **ibid.** pág. 20.

“Inmediatamente después del acondicionamiento, las tejas o piezas se colocan verticalmente en la cámara frigorífica. Para permitir la libre circulación de aire, las tejas se colocan de manera que:”.<sup>89</sup>

- “La separación entre dos tejas o piezas sea  $\geq 40$  mm”.<sup>90</sup>
- “La distancia entre las paredes verticales de la cámara y la cara de las tejas o piezas sea  $\geq 100$  mm”.<sup>91</sup>
- “La distancia entre el fondo de la cámara y la parte inferior de las tejas o piezas sea  $\geq 30$  mm”.<sup>92</sup>
- “La distancia entre el techo de la cámara y la parte superior de las tejas o piezas sea  $\geq 100$  mm”.<sup>93</sup>

“Si se emplea un soporte para mantener las tejas o piezas en posición vertical durante el ensayo, se construye de tal modo que no impida la libre circulación de aire”.<sup>94</sup>

“Se llevan a cabo 25 ciclos completos de hielo y deshielo, cada uno de los cuales consiste en una fase de enfriamiento, una fase de congelación y una fase de descongelación”.<sup>95</sup>

“Para enfriar las tejas o piezas se reduce la temperatura del aire de la cámara frigorífica hasta  $(-20 \pm 5)$  °C durante  $2h \pm 30$  minutos”.<sup>96</sup>

“Para congelar las tejas o piezas, se mantiene el aire a una temperatura de  $(-20 \pm 5)$  °C durante  $1h 15$  minutos  $\pm 15$  minutos”.<sup>97</sup>

“Para descongelar las tejas o piezas, se sumerge en agua durante 1h a 2h, inmediatamente después de la fase de congelación. Se mantiene la temperatura final del agua a  $(20 \pm 5)$  °C”.<sup>98</sup>

---

<sup>89</sup> **ibid.**, pág. 20.  
<sup>90</sup> **ibid.**, pág. 20.  
<sup>91</sup> **ibid.**, pág. 20.  
<sup>92</sup> **ibid.**, pág. 20.  
<sup>93</sup> **ibid.**, pág. 20.  
<sup>94</sup> **ibid.**, pág. 20.  
<sup>95</sup> **ibid.**, pág. 20.  
<sup>96</sup> **ibid.**, pág. 20.  
<sup>97</sup> **ibid.**, pág. 20.  
<sup>98</sup> **ibid.**, pág. 20.

“La interrupción de los ciclos solo puede tener lugar al final de la fase de descongelación”.<sup>99</sup>

“Las tejas o piezas se mantienen sumergidas durante cualquier interrupción de los ciclos. Cada interrupción no debe superar 96 h, se anota toda interrupción mayor que 24 h”.<sup>100</sup>

“Una vez completados los 25 ciclos de hielo-deshielo, se procede con las tejas o piezas como se indica a continuación. Para las tejas se siguen los siguientes pasos.”.<sup>101</sup>

- “Se conservan las tejas durante 7 días entre 15 °C y 30 °C y a humedad relativa de al menos el 30%”.<sup>102</sup>
- “Una vez completado este paso se ensayan a impermeabilidad de acuerdo con lo descrito más adelante”.<sup>103</sup>
- “Luego se conservan las tejas durante 7 días entre 15 °C y 30 °C y a humedad relativa de al menos 30%”.<sup>104</sup>
- “Luego se ensaya la resistencia a flexión transversal de acuerdo a lo descrito más adelante”.<sup>105</sup>

“Se anotan los resultados de los ensayos de impermeabilidad y de resistencia transversal, de acuerdo con los procedimientos descritos anteriormente”.<sup>106</sup>

El informe debe incluir lo siguiente:

- “Resultado de los ensayos anteriores”.<sup>107</sup>
- “Referencia a esta norma, es decir UNE EN-491”.<sup>108</sup>

---

<sup>99</sup> **ibid.** pág. 20.

<sup>100</sup> **ibid.** pág. 20.

<sup>101</sup> **ibid.** pág. 20.

<sup>102</sup> **ibid.** pág. 20.

<sup>103</sup> **ibid.** pág. 20.

<sup>104</sup> **ibid.** pág. 20.

<sup>105</sup> **ibid.** pág. 20.

<sup>106</sup> **ibid.** pág. 21.

<sup>107</sup> **ibid.** pág. 21.

<sup>108</sup> **ibid.** pág. 21.

### **CAPÍTULO III: PROPIEDADES DEL MICROCEMENTO.**

El microcemento como ya se mencionó anteriormente, es el mortero de siempre pero mezclado con otros elementos distintos al agregado grueso; esta mezcla puede ser con resinas de alta calidad, fibras, aireadores, áridos extrafinos, acelerantes, pigmentos, polímeros; la mezcla es según sea el propósito para el que se fabrique, y según sea este propósito es la dosificación de sus componentes.

Si esta mezcla se le vibra, adquiere propiedades superiores al mortero normal; adquiere características de adhesión (jamás se desprenderá), de cohesión (jamás se fisurara), de solidez a la luz solar (los colores no se desagradaran), de impermeabilidad (casi no existe filtración) y biocida, inhiben la formación de bacterias u hongos.

#### **3.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS COMPONENTES DEL MICROCEMENTO.**

Para la investigación el microcemento a usar se compone de agregados, cemento y agua; en nuestro caso el único agregado es la arena, por tanto es importante conocer sus propiedades físicas, mecánicas y la dosificación de sus componentes, con la finalidad de verificar los requisitos establecidos por la norma técnica.

##### **3.1.1 Cemento.**

Es una sustancia de polvo fino hecha de argamasa de yeso capaz de formar una pasta blanda al mezclarse con el agua y que se endurece espontáneamente en contacto con el aire. Para el estudio se utilizó el cemento portland Andino tipo I; el cual es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker, compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulico.

El cemento cumple las normas que a continuación se indican:

- NTP 334.001: Definiciones y nomenclatura.
- NTP 334.002: Método para determinar la finura.
- NTP 334.006: Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico utilizando la aguja Vicat.
- NTP 334.042: Método para ensayos de resistencia a flexión y compresión del mortero plástico.
- ASTM C 150: Cementos portland.

### 3.1.2 Agregado fino.

Se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, producto resultante de la desintegración de las rocas, con propiedades que la hagan aptas para su uso en la construcción.

Para el trabajo de investigación se ha utilizado arena de la cantera San Martín - Lima, una sola cantera con el propósito de tener el material disponible con las mismas propiedades para el tiempo que dure la investigación. Los ensayos realizados para conocer las principales características de esta arena son:

- NTP 400.012: Análisis granulométrico.
- NTP 400.022: Peso específico y absorción de Agregado fino.
- NTP 400 017: Peso unitario.

#### 3.1.2.1 Análisis granulométrico NTP 400.012.

Se define como granulometría a la distribución por tamaños de las partículas del agregado. Ello se logra separando el material por procedimiento mecánico. El módulo de finura recomendado para morteros se encuentra entre 2.3 y 3 gr/cm<sup>3</sup>.

El resultado del tamizado se expresa en porcentaje retenido en cada tamiz según el cuadro N° 3.1.

Cuadro N° 3.1: Granulometría agregado fino.

Long (mm)	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4.7498	N° 4	6.1	1.219	1.219	98.781
2.381	N° 8	60.4	12.068	13.287	86.713
1.191	N° 16	133.3	26.633	39.920	60.080
0.595	N° 30	137.3	27.433	67.353	32.647
0.296	N° 50	90	17.982	85.335	14.665
0.149	N° 100	42.4	8.472	93.806	6.194
FONDO		31	6.194	100.00	0.000
SUMA		500.5	100		
Módulo de Finura:		3.01			

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro Nº 3.2: Huso granulométrico del agregado fino.

TAMIZ	HUSOSS					
	GRUESO (C)		MEDIO (M)		FINO (F)	
Nº 4	100	95	100	85	100	89
Nº 8	100	80	100	65	100	80
Nº 16	85	50	100	45	100	70
Nº 30	60	25	80	25	100	55
Nº 50	30	10	48	5	70	5
Nº 100	10	2	12	0	12	0

Fuente: Norma NTP 400.037.

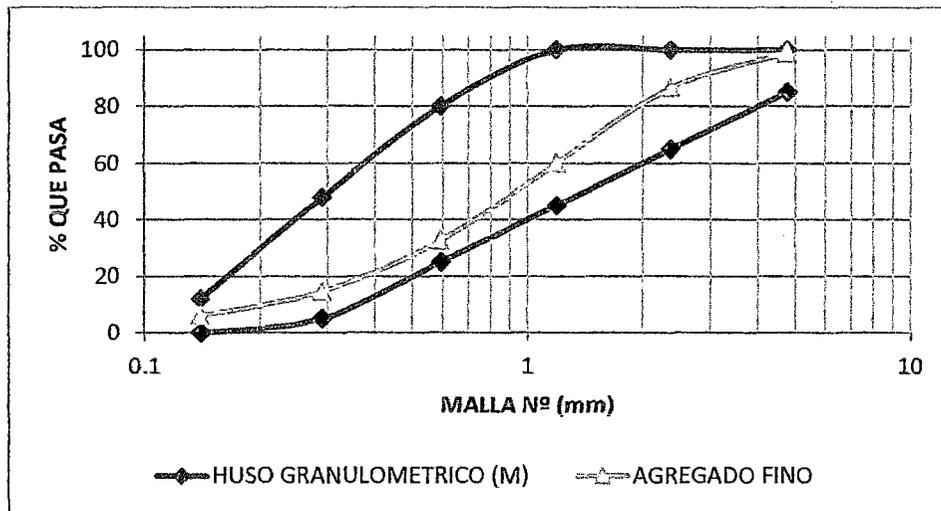


Gráfico 3.1: Curva granulométrica agregado fino tipo M. Fuente: Elaboración propia.

El agregado resultante del ensayo de granulometría se encuentra en el huso granulométrico del cuadro Nº 3.2, vemos que la arena a usar es tipo M (ver gráfico 3.1); para la fabricación de las tejas se eliminara agregados que se encuentra en los tamices Nº 4 y Nº 8, debido al espesor de la teja; entonces para la investigación se usara este agregado para la fabricación de la teja de microcemento.

### 3.1.2.2 Peso específico y absorción NTP 400.022.

El peso específico de masa de la mayoría de los agregados comunes empleados está comprendido dentro de los límites de 2.6 a 3.00. Se entiende por absorción al contenido de humedad total interna de un agregado que está en la condición de saturado superficialmente seco.

La capacidad de absorción del agregado se determina por el incremento de peso de una muestra secada al horno, luego de 24 horas de inmersión en agua y secada superficialmente.

Esta condición se supone representa la que adquiere el agregado en el interior de una mezcla de concreto. La determinación del contenido de absorción es importante en la medida que permiten conocer el volumen de agua que absorberá el agregado en una mezcla de concreto.

Peso de la arena superficialmente seca = 500.9 gr

Peso de la arena superficialmente seca + peso del balón + peso de agua = 996.1 gr

Peso del balón = 184.0 gr

Peso del agua = 311.2 gr

Peso de la arena seca al horno = 493.5 gr

Volumen del balón = 500.0 cm<sup>3</sup>

Peso específico de masa = 2.61 gr/cm<sup>3</sup>

Peso específico de masa superficialmente seco = 2.64 gr/cm<sup>3</sup>

Peso específico aparente = 2.70 gr/cm<sup>3</sup>

Porcentaje de absorción = 1.31%

### 3.1.2.3 Peso unitario y contenido de humedad NTP 400.017.

Se denomina peso volumétrico o peso unitario del agregado, ya sea suelto o compactado, al peso que alcanza un determinado volumen unitario. Generalmente se expresa en kilos por metro cúbico del material. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados y en el caso de dosificar el concreto por volumen. Los resultados del ensayo se muestran en el cuadro N° 3.3.

Cuadro N° 3.3: Ensayo de laboratorio del peso unitario.

PESO UNITARIO SUELTO	PESO UNITARIO COMPACTADO
Peso del balde = 1558.8 gr	Peso del balde = 1558.8 gr
Peso del balde + agregado = 6066.5 gr	Peso del balde + agregado = 6557.9 gr
Peso del agregado = 4507.7 gr	Peso del agregado = 4999.1 gr
Volumen del balde = 0.002831 m <sup>3</sup>	Volumen del balde = 0.002831 m <sup>3</sup>
Peso unitario suelto = 1.592 kg/m <sup>3</sup>	Peso unitario compactado = 1.765 kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia.

La determinación del contenido de humedad es importante en la medida que permiten conocer el volumen de agua que contiene el agregado y la que aportara en una mezcla de concreto.

Los resultados del ensayo se muestran a continuación:

Peso de la muestra en estado ambiental = 500.4 gr

Peso de la muestra seca al horno = 494.1 gr

Peso del agua perdida = 6.3 gr

Contenido de humedad = 1.27%

### 3.1.3 Agua.

El agua por emplear en las mezclas de concreto deberá estar limpia y libre de impurezas perjudiciales, tales como aceite, ácidos, álcalis y materia orgánica (ver cuadro N° 3.4). Se considera adecuada el agua a usar en esta investigación puesto que se usara agua potable de la red pública, la empresa encargada de vender el agua al público se encarga de garantizar y cumplir la norma MTC E 716, norma que rige la calidad del agua potable apta para consumo humano.

Cuadro N° 3.4: Ensayo de laboratorio para el agua.

Ensayos	Tolerancias
Sólidos en Suspensión (ppm)	5000 máx.
Materia Orgánica (ppm)	3,00 máx.
Alcalinidad NaHCO <sub>3</sub> (ppm)	1000 máx.
Sulfatos como ión Cl (ppm)	1000 máx.
PH	5,5 a 8

Fuente: Norma MTC E 716

## 3.2 DISEÑO DE MEZCLA Y PROPIEDADES DEL MORTERO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO.

De las experiencias de las empresas fabricantes de tejas de microcemento sabemos que las proporciones recomendadas para elaborarlas van desde 1:1 hasta 1:3; así con la finalidad de encontrar una dosificación optima se realizara diseños iniciales de proporciones cemento arena: 1:2.5 y 1:3 con el objetivo de encontrar los parámetros básicos que requiere la teja de microcemento para su adecuada fabricación.

Las mezclas de prueba se hicieron con distintos valores de fluidez para las dosificaciones indicadas. Las mezclas hechas con una fluidez de 70% y 120% no arrojo datos, ya que no se pudieron fabricar dichas tejas.

La mezcla de 70% de fluidez no pudo moldearse, la teja se fisuraba al momento de moldearla; por otro lado la mezcla de 120% sí se pudo moldear pero pasado unos minutos, la mezcla se asentó en más de la mitad del espesor inicial, y luego comenzó a perder su forma inicial, la mezcla era muy fluida.

Luego se procedió a variar el agua, observándose que las tejas hechas con una fluidez promedio del 100%, pudieron ser moldeadas y mantuvieron su forma inicial de teja.

Las tejas hechas con una fluidez de 103%, de la proporción cemento arena: 1:2.5, tiene los pesos mostrados en el cuadro N° 3.5.

Cuadro N° 3.5: Ensayo de fluidez en tanda inicial proporción 1:2.5.

PROPORCION	MATERIALES		Di (cm)	FLUIDEZ (%)
1:2.5	CEMENTO (kg):	0.50	20.8	103.0
	AGUA (kg):	0.28	20.7	
	ARENA (kg):	1.25	20.7	
	a/c	0.56	20.5	

Fuente: Elaboración propia.

Las tejas fabricadas con una fluidez de 98%, de la proporción cemento arena: 1:3, tiene los pesos mostrados en el cuadro N° 3.6.

Cuadro N° 3.6: Ensayo de fluidez en tanda inicial proporción 1:3.

PROPORCION	MATERIALES		Di (cm)	FLUIDEZ (%)
1:3	CEMENTO (kg):	0.50	20.1	98.0
	AGUA (kg):	0.27	20.1	
	ARENA (kg):	1.50	20.2	
	a/c	0.54	20.1	

Fuente: Elaboración propia.

De esta experiencia ganada en las primeras tandas se concluye que la fluidez optima que garantiza el moldeado y la constante forma de la teja, es en promedio del 100%; para fines de la investigación para fabricar tejas de microcemento se aceptara una fluidez que pertenezca a un rango entre el 95% y 105%; a este rango se le llamara rango óptimo de fluidez.

Las tejas de la proporción cemento arena 1:2.5 se ensayaron a flexión, y cuyas resistencias se muestran en el cuadro N° 3.7; no pasaron lo pedido por la norma técnica.

Las tejas de la proporción cemento arena 1:3 se ensayaron a flexión, y cuyas resistencias se muestran en el cuadro N° 3.8, no pasaron la resistencia pedida por la norma técnica.

Cuadro N° 3.7: Ensayo de flexión en tanda inicial proporción 1:2.5.

<b>MATERIALES</b>		<b>RELACIONES</b>		<b>FLUIDEZ: 103%</b>
CEMENTO (kg):	2.29	AGUA/CEMENTO:	0.56	
AGUA (kg):	1.28	CEMENTO/ARENA:	1:2.5	
ARENA (kg):	5.72			

ESPECIMEN	MODELO	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
T1:2.5-1	ONDULADA	19/11/2013	10/12/2013	14	49.5	24.8	1.1	77.89	77.89	----
T1:2.5-2		19/11/2013	27/12/2013	28	49.0	24.2	0.7	127.89	127.89	140
T1:2.5-3	PLANA	19/11/2013	10/12/2013	14	39.8	20.3	1.0	37.44	37.44	----
T1:2.5-4		19/11/2013	27/12/2013	28	40.2	20.0	0.8	42.44	42.44	55

Fuente: Elaboración propia.

NOTA: En las cargas de rotura está incluida el peso del accesorio de flexión respectivo: 2.89 kg para teja ondulada y 2.44 kg para teja plana.

La norma no indica la carga de rotura para antes de 28 días.

Resultados antes de realizar el ensayo de hielo y deshielo.

Cuadro N° 3.8: Ensayo de flexión en tanda inicial proporción 1:3.

**MATERIALES**

CEMENTO (kg): 2.67  
AGUA (kg): 1.44  
ARENA (kg): 8.00

**RELACIONES**

AGUA/CEMENTO: 0.54  
CEMENTO/ARENA: 1:3.00

**FLUIDEZ: 98%**

ESPECIMEN	MODELO	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
T1:3.0-1	ONDULADA	18/11/2013	09/12/2013	14	49.4	24.1	0.8	53	53	----
T1:3.0-2		18/11/2013	23/12/2013	28	49.0	24.6	0.9	78	79	140
T1:3.0-3		18/11/2013	23/12/2013	28	49.1	24.0	1.0	78		
T1:3.0-4		18/11/2013	23/12/2013	28	49.4	24.0	1.0	80		
T1:3.0-5	PLANA	18/11/2013	09/12/2013	14	40.3	20.4	0.9	23	23	----
T1:3.0-6		18/11/2013	23/12/2013	28	40.4	20.7	1.8	33	34	55
T1:3.0-7		18/11/2013	23/12/2013	28	40.1	20.3	1.1	33		
T1:3.0-8		18/11/2013	23/12/2013	28	40.4	20.4	1.4	35		

Fuente: Elaboración propia.

NOTA: En las cargas de rotura está incluida el peso del accesorio de flexión respectivo: 2.89 kg para teja ondulada y 2.44 kg para teja plana.

La norma no indica la carga de rotura para antes de 28 días.

Resultados antes de realizar el ensayo de hielo y deshielo.

De estas tandas iniciales se observó que en el caso de las tejas de microcemento la relación agua cemento no es un parámetro principal ya que la trabajabilidad es de mucha importancia, cambiar la relación agua cemento para encontrar la resistencia necesaria afectaría la fluidez; por tanto los parámetros principales a medir son proporción cemento arena y resistencia; la fluidez nos dará el agua necesaria para cada proporción cemento arena diferente.

También se observó que las tejas vibradas hasta unos segundos antes que se presenta la segregación tenían más resistencia que las que vibraban por menos tiempo; se observó que mientras más se vibraba, más afloraba burbujas de aire, estas burbujas hacen que la teja sea más compacta.

Entonces de lo observado se encontró la fluidez optima y el tiempo de vibrado optimo, con estos descubrimiento hechos se realizara tandas para encontrar la proporción cemento arena adecuada, que nos de la resistencia requerida según el cuadro 2.1 del capítulo II; entonces prepararemos los morteros en proporciones cemento arena: 1:1.5, 1.2, 1:2.5 y 1:2.75; para encontrar el agua necesaria para las proporciones se sacara del ensayo de fluidez respectivo para cada proporción, los morteros de cada proporción deben alcanzar una fluidez que pertenezca al rango optimo de fluidez.

Una vez encontrado el agua necesaria para cada proporción indicadas anteriormente se fabricaran las tejas, teniendo en cuenta el tiempo de vibrado hasta el instante que comience la segregación.

Las tejas fabricadas presentan las siguientes características: para las tejas planas ( $C_{wp} = 200$  mm,  $d_p = 0$  mm) y tejas onduladas ( $C_{wo} = 170$  mm,  $d_o = 45$  mm), estas mediciones se realizaron según lo estipulado en el capítulo II para medir el ancho afectivo y altura de onda. Entonces verificando estas características y comparando con el cuadro 2.1 del capítulo II, las resistencia a cumplir son de 55 kg y 140 kg, para la teja plana y ondulada respectivamente.

Satisfaciendo las dimensiones estándares de mercado para tejas, se fabricaron principalmente los siguientes tipos: Ver cuadro N° 3.9.

Cuadro N° 3.9: Clasificación de las tejas a fabricar según tipo.

TIPO	Dimensión (cm)
PLANA	40 X 20 X 1
ONDULADA	50 X 25 X 1

Fuente: Elaboración propia.

Los diseños de las tejas que se fabrican son los mismos diseños que las tejas comerciales, esto con el fin de poder comparar sus distintas propiedades físicas, mecánicas y costos de venta final.

En la actualidad existe una empresa comercial que fabrica tejas de microcemento plana y ondulada de color rojizo, del cual se tomó las mismas dimensiones y diseños para las tejas fabricadas en el estudio. Entonces durante la investigación las tejas a fabricar y las tejas comerciales se someterán a los mismos ensayos de calidad descrita por la norma; pero no se fabricaron de color, ya que la investigación no se centra en esa característica de la teja, sino en las propiedades físicas y mecánicas que debe tener para cumplir lo exigido por la norma usada.

### 3.2.1 Elaboración del mortero en proporción 1:1.5.

Según la norma NTP 334.051 se prepara las proporciones en peso para realizar el ensayo, ver imagen N° 3.1.

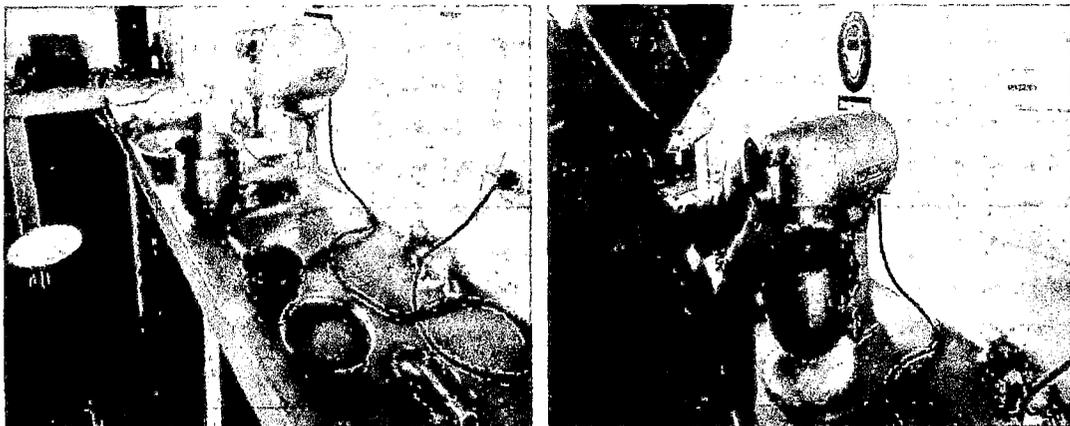


Imagen N° 3.1: Preparación del mortero.

Se realiza un diseño previo de tal forma que rinda 6 cubos para ensayar 2 a los: 7, 14 y 28 días; luego procedemos agregar el agua hasta alcanzar una fluidez promedio del  $100\% \pm 5\%$  (ver imagen N° 3.2), los resultados del ensayo de fluidez se muestran en el cuadro N° 3.10.

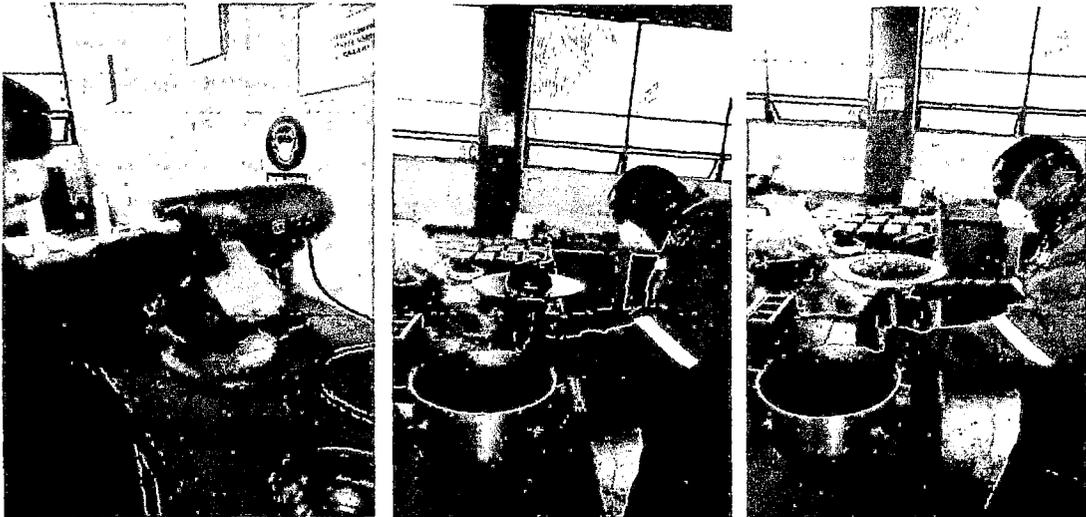


Imagen N° 3.2: Ensayo de fluidez.

Cuadro N° 3.10: Ensayo de fluidez en proporción 1:1.5.

PROPORCION	MATERIALES		Di (cm)	FLUIDEZ (%)
1:1.5	CEMENTO (kg):	0.50	19.8	95.9
	AGUA (kg):	0.24	19.9	
	ARENA (kg):	0.75	20.0	
	a/c	0.47	19.9	

Fuente: Elaboración propia.

Luego preparamos los cubos para realizar el ensayo de compresión respectivo, ver imagen N° 3.3.



Imagen N° 3.3: Preparación de muestras para ensayo de compresión.

Se realizó el ensayo de compresión de las muestras a los: 7, 14 y 28 días (ver imagen N° 3.4), obteniéndose los resultados mostrados en el cuadro N° 3.11 y la evolución en el grafico 3.2.

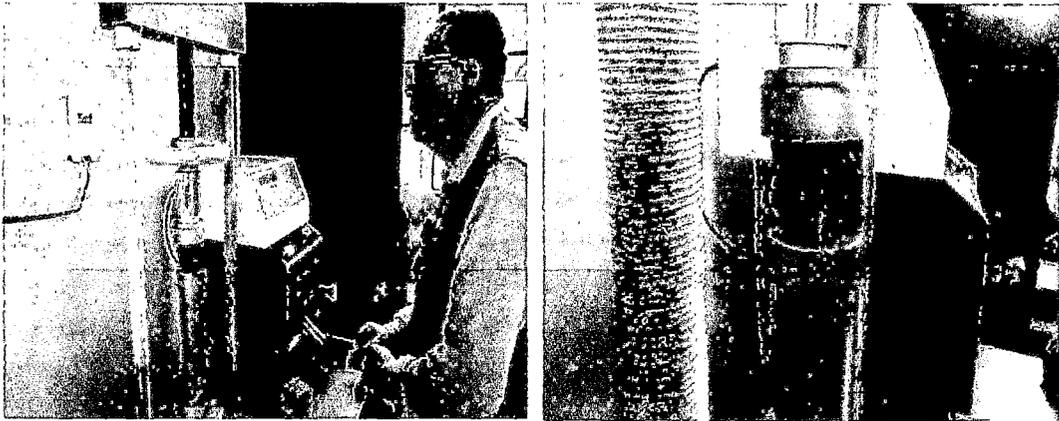


Imagen N° 3.4: ensayo de compresión del mortero endurecido.

Cuadro N° 3.11: Ensayo de compresión en mortero 1:1.5.

PROPORCION	DIAS	F. (kN)	FACTOR	F. (kgF)	AREA (cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
1:1.5	7	105.5	101.94	10753.2	25	430.1	428.0
		104.4		10646.8		425.9	
	14	113.1	101.94	11525.4	25	461.0	458.7
		111.9		11411.2		456.4	
	28	119.3	101.94	12158.5	25	486.3	483.9
		118.1		12038.1		481.5	

Fuente: Elaboración propia.

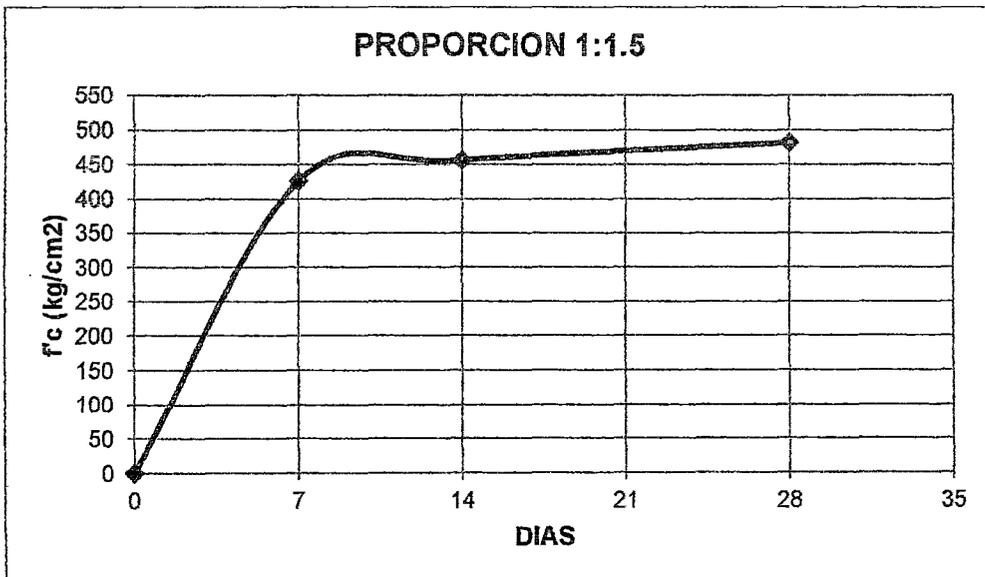


Gráfico 3.2: Resistencia vs edad (días) de la proporción 1:1.5. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Elaboración del mortero en proporción 1:2.

Siguiendo el procedimiento anterior se preparan muestras para el ensayo de fluidez, ver cuadro N° 3.12; para luego preparar la mezcla para el ensayo de compresión en morteros.

Cuadro N° 3.12: Ensayo de fluidez en proporción 1:2.

PROPORCION	MATERIALES		Di (cm)	FLUIDEZ (%)
1:2	CEMENTO (kg):	0.50	20.6	102.4
	AGUA (kg):	0.27	20.7	
	ARENA (kg):	1.00	20.4	
	a/c	0.55	20.5	

Fuente: Elaboración propia.

Se preparan cubos para ensayo de compresión a los: 7, 14 y 28 días, de los cuales obtuvimos los siguientes resultados según el cuadro N° 3.13 y su respectiva evolución en el grafico 3.3.

Cuadro N° 3.13: Ensayo de compresión en mortero 1:2.

PROPORCION	DIAS	F. (kN)	FACTOR	F. (kgF)	AREA (cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
1:2	7	98.3	101.94	10022.8	25	400.9	398.9
		97.3		9923.6		396.9	
	14	108.1	101.94	11019.7	25	440.8	438.6
		107.0		10910.6		436.4	
	28	117.1	101.94	11934.6	25	477.4	475.0
		115.9		11816.5		472.7	

Fuente: Elaboración propia.

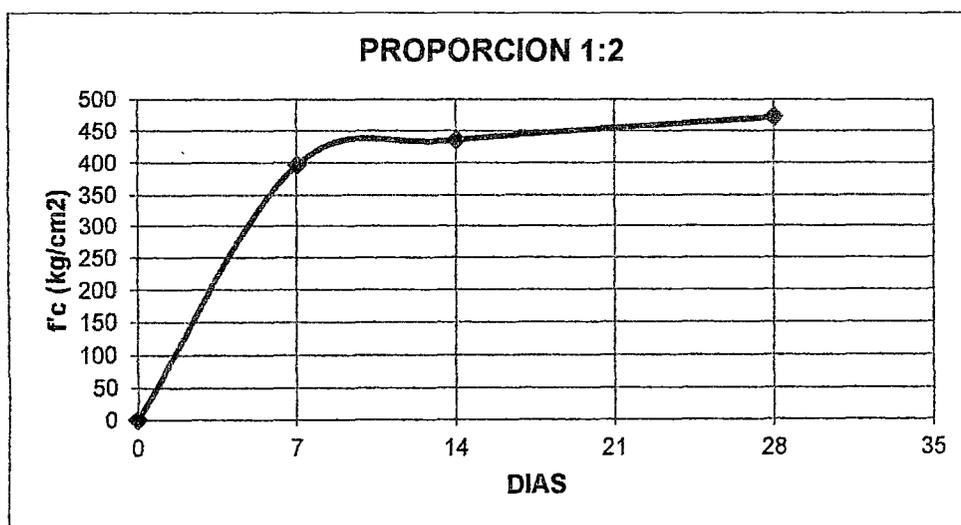


Gráfico 3.3: Resistencia vs edad (días) de la proporción 1:2. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.3 Elaboración del mortero en proporción 1:2.5.

Siguiendo el procedimiento anterior se preparan muestras para el ensayo de fluidez, ver cuadro N° 3.14; para luego preparar la mezcla para el ensayo de compresión en morteros.

Cuadro N° 3.14: Ensayo de fluidez en proporción 1:2.5.

PROPORCION	MATERIALES		Di (cm)	FLUIDEZ (%)
1:2.5	CEMENTO (kg):	0.50	20.2	98.5
	AGUA (kg):	0.30	20.0	
	ARENA (kg):	1.25	20.3	
	a/c	0.61	20.3	

Fuente: Elaboración propia.

Se preparan cubos para ensayo de compresión a los: 7, 14 y 28 días, de los cuales obtuvimos los siguientes resultados según el cuadro N° 3.15 y su respectiva evolución en el grafico 3.4.

Cuadro N° 3.15: Ensayo de compresión en mortero 1:2.5.

PROPORCION	DIAS	F. (kN)	FACTOR	F. (kgF)	AREA (cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
1:2.5	7	87.1	101.94	8883.3	25	355.3	353.6
		86.3		8795.4		351.8	
	14	96.5	101.94	9834.7	25	393.4	391.4
		95.5		9737.3		389.5	
	28	106.7	101.94	10876.6	25	435.1	432.9
		105.6		10768.9		430.8	

Fuente: Elaboración propia.

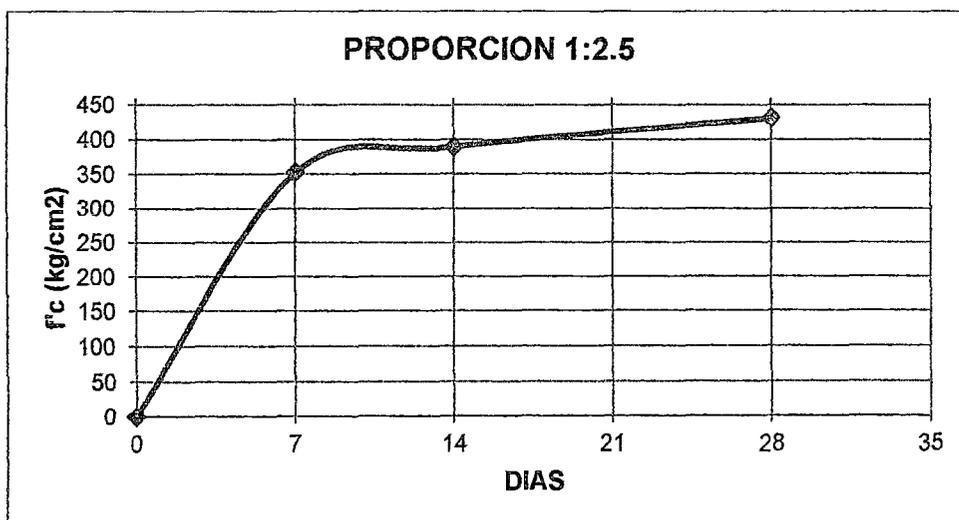


Gráfico 3.4: Resistencia vs edad (días) de la proporción 1:2.5. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4 Elaboración del mortero en proporción 1:2.75.

Siguiendo el procedimiento anterior se preparan muestras para el ensayo de fluidez, ver cuadro N° 3.16; para luego preparar la mezcla para el ensayo de compresión en morteros.

Cuadro N° 3.16: Ensayo de fluidez en proporción 1:2.75.

PROPORCION	MATERIALES		Di (cm)	FLUIDEZ (%)
1:2.75	CEMENTO (kg):	0.50	20.8	104.7
	AGUA (kg):	0.32	20.9	
	ARENA (kg):	1.38	20.7	
	a/c	0.64	20.8	

Fuente: Elaboración propia.

Se preparan cubos para ensayo de compresión a los: 7, 14 y 28 días, de los cuales obtuvimos los siguientes resultados según el cuadro N° 3.17 y su respectiva evolución en el grafico 3.5.

Cuadro N° 3.17: Ensayo de compresión en mortero 1:2.75.

PROPORCION	DIAS	F. (kN)	FACTOR	F. (kgF)	AREA (cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
1:2.75	7	79.3	101.94	8082.1	25	323.3	321.7
		78.5		8002.1		320.1	
	14	91.8	101.94	9354.5	25	374.2	372.3
		90.9		9261.9		370.5	
	28	101.5	101.94	10351.3	25	414.1	412.0
		100.5		10248.8		410.0	

Fuente: Elaboración propia.

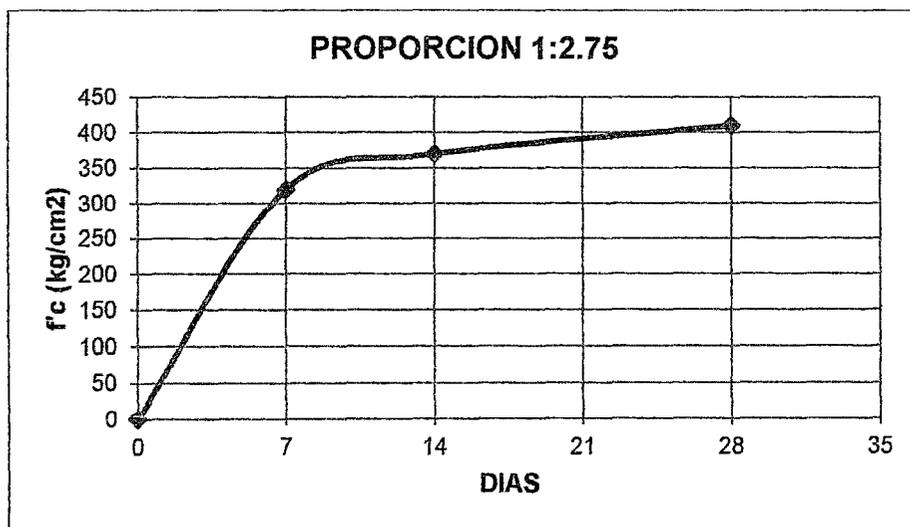


Gráfico 3.5: Resistencia vs edad (días) de la proporción 1:2.75. Fuente: Elaboración propia.

De los ensayos realizados en morteros de las distintas proporciones cemento arena, todas con una fluidez promedio del  $100\% \pm 5\%$ , se obtiene los resultados de resistencias promedios, mostrados en el cuadro N° 3.18.

Cuadro N° 3.18: Resistencias promedios de ensayo de comprensión en mortero.

PROPORCION		f'c prom. (kg/cm <sup>2</sup> )			
		1:1.50	1:2.00	1:2.50	1:2.75
DIAS	7	428.0	398.9	353.6	321.7
	14	458.7	438.6	391.4	372.3
	28	483.9	475.0	432.9	412.0

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos ya podemos comenzar a fabricar las tejas de microcemento, obtener sus resistencias y así poder determinar la mezcla optima que necesitan las tejas.

Según lo indicado por la norma el tamaño de muestra de tejas necesaria para los ensayos está mencionado en el cuadro 2.2; por tanto se fabricaran para cada proporción lo necesario para el ensayo de flexión (14 y 28 días), para las muestras de 28 días se harán ensayo de flexión antes del ensayo de durabilidad e impermeabilidad, y después de dichos ensayos se volverá hacer el ensayo de flexión a las tejas planas y onduladas.

Entonces lo necesario por cada proporción es de 9 tejas planas y 9 onduladas; por tanto se fabricaran en total 36 tejas planas y 36 tejas onduladas.

También es importante indicar que todas las mezclas pierden su fluidez según pase el tiempo. Este tiempo promedio es de 30 minutos  $\pm$  3 minutos aproximadamente, entonces se fabricara las tejas onduladas al inicio, ya que necesitan más la fluidez óptima.

También es importante señalar que por el tiempo de fraguado y el tiempo que toma fabricar las tejas, la mezclas dura lo suficiente como para fabricar 3 tejas planas y 3 tejas onduladas, después de esta cantidad la mezcla pierde su fluidez, y al no contar con dicha fluidez la mezcla restante ya no se puede usar y se pierde.

Entonces los pesos necesarios para fabricar 3 tejas y 3 onduladas para las diferentes proporciones cemento arena están indicados en el cuadro N° 3.19.

Cuadro N° 3.19: pesos según proporción para fabricar 3 tejas planas y 3 onduladas

PROPORCION	CEMENTO (kg)	ARENA (kg)	AGUA (kg)	a/c
1/1.50	4.80	7.20	2.256	0.470
1/2.00	4.00	8.00	2.183	0.546
1/2.50	3.43	8.57	2.085	0.608
1/2.75	3.20	8.80	2.039	0.637

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en el cuadro N° 3.19, la relación agua cemento es distinta para diferentes proporciones, lo que más influye es la fluidez de la proporción cemento arena; estas proporciones distintas se comparara con su resistencia final para ver la óptima proporción.

## CAPÍTULO IV: ELABORACIÓN DE LAS TEJAS DE MICROCEMENTO

A continuación se presenta el proceso de elaboración de las tejas de microcemento, indicando previamente: el equipamiento usado, los implementos, accesorios y materiales de construcción.

De acuerdo a la fluidez obtenida y los pesos indicados en el cuadro N° 3.13 del capítulo III, se procede a fabricar las tejas de microcemento en las proporciones cemento arena: 1:1.5, 1:2, 1:2.5 y 1:2.75; con el fin de obtener la dosificación óptima del mortero que de una resistencia, de tal manera, que cumpla las especificaciones técnicas de la norma, mencionada en el cuadro 2.1 del capítulo II.

### 4.1 EQUIPAMIENTO Y MATERIALES.

El equipamiento necesario para la elaboración de las tejas de microcemento y los implementos para el control de calidad de las mismas, son las que se detallan a continuación:

- Una congeladora de 1 m<sup>3</sup> de capacidad, con un dispositivo para el control de temperatura digital de hasta -35° C, usada para el ensayo de durabilidad de las tejas. Este equipo se compró en parte con apoyo del IIFIC – UNI y lo restante con recursos propios. Ver imagen N° 4.1

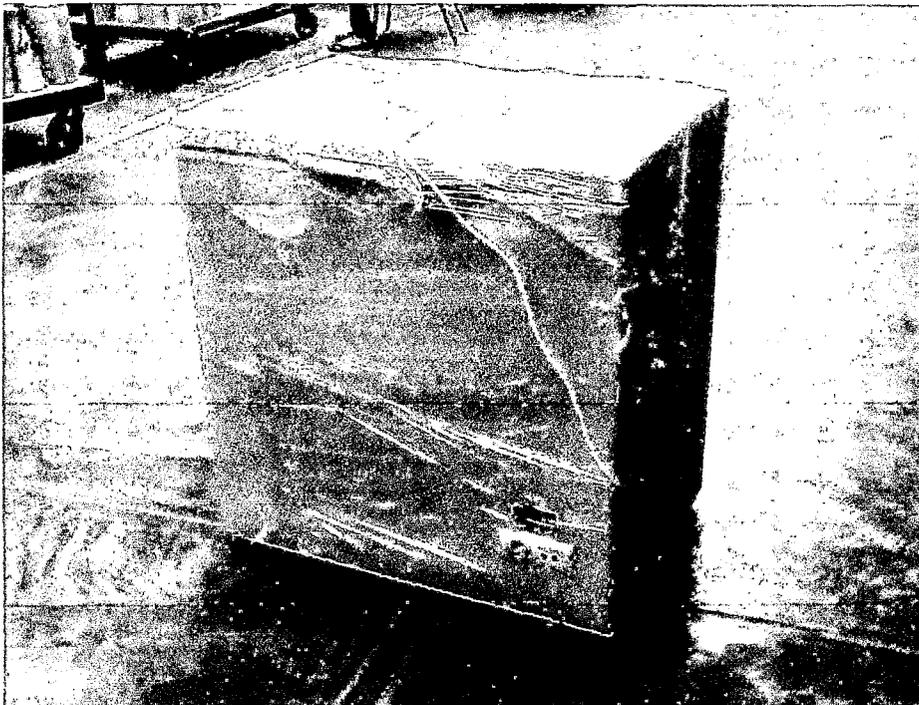


Imagen N° 4.1: Congeladora digital de 1m<sup>3</sup> de capacidad.

- Una mesa vibradora metálica de 0.70 m x 0.70 m x 1.00 m, provisto de un motor eléctrico monofásico de 0.5 Hp (Ver imagen N° 4.2), mesa vibradora de propiedad del laboratorio N° 1 de ensayo de materiales LEM; este equipo se encontró inoperativo, para la investigación se hizo un mantenimiento con recursos propios.

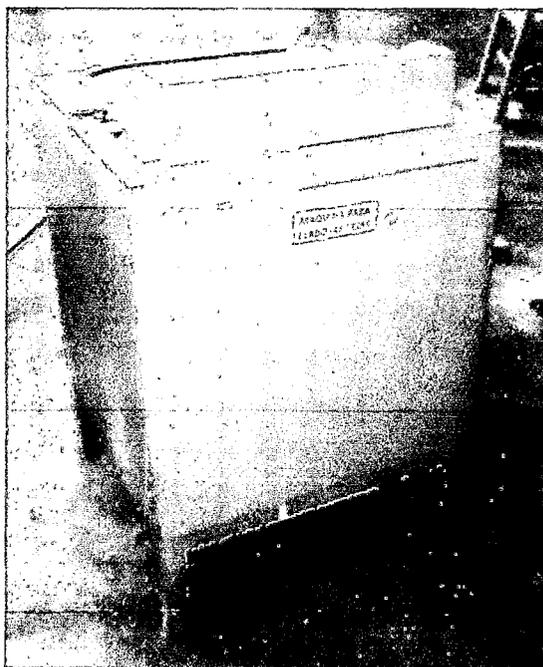


Imagen N° 4.2: Mesa vibradora metálica.

- Se adquirió nueve moldes metálicos de teja plana y nueve moldes metálicos de teja ondulada. Ver imagen N° 4.3.

Los moldes se usaron para fabricar tejas cuyas características se muestran a continuación: para los moldes planos ( $C_{wp} = 200 \text{ mm}$ ,  $d_p = 0 \text{ mm}$ ) y moldes ondulados ( $C_{wo} = 170 \text{ mm}$ ,  $d_o = 45 \text{ mm}$ ),

De los distintos diseños de tejas que existe en el mercado se escogió estos dos tipos para la investigación (Ver cuadro 4.1); por tanto se fabricaron los siguientes tipos de tejas, con sus respectivas dimensiones:

Cuadro N° 4.1: Clasificación de las tejas a fabricar según tipo.

TIPO	Dimensión (cm)
PLANA	40 X 20 X 1
ONDULADA	50 X 25 X 1

Fuente: Elaboración propia.

Los diseños de las tejas que se fabrican son los mismos diseños que las tejas comerciales, esto con el fin de estudiar ambas y poder comparar sus distintas propiedades físicas, mecánicas, costos de producción y venta final.

Estos moldes fueron adquiridos con recursos propios y con el apoyo del laboratorio N° 1 de ensayo de materiales LEM.



Imagen N° 4.3: Moldes metálicos de teja plana y ondulada respectivamente.

- Se adquirió cuatro cubetas de plástico de 50 litros (ver imagen 4.4), estas cubetas se usaron para el proceso de curado de las tejas y también para el ensayo de durabilidad de las tejas, estas cubetas de plástico fueron adquiridos con recursos propios.

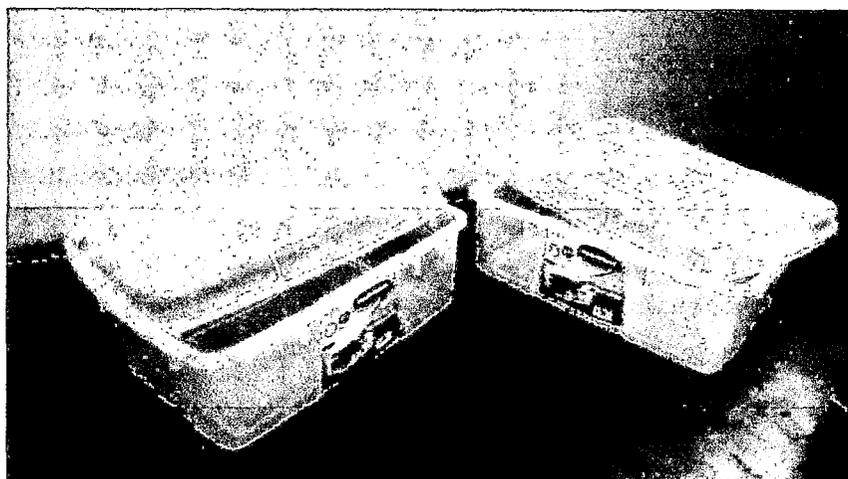


Imagen N° 4.4: Cubos de plástico de 50 litros para el proceso de curado.

- Se fabricaron dos accesorios para el ensayo de flexión (ver imagen 4.5), una para teja ondulada y la otra para teja plana, de metal y soportes de madera con la forma geométrica de la teja y bordeada con una tira de jebe para adecuarse a la forma de la teja; estos accesorio se usaron como complemento de la prensa hidráulica de 30 toneladas de capacidad TINIUS OLSEN, equipo que se encuentra en el laboratorio N° 1 de ensayo de materiales LEM, y que en la actualidad se encuentra calibrada; los accesorios fueron adquiridos con recursos propios.

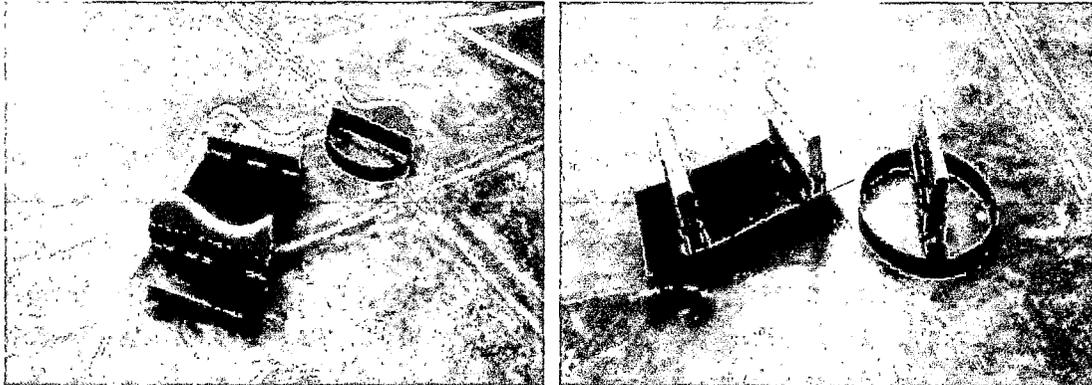


Imagen N° 4.5: Accesorios para ensayo de flexión en tejas onduladas y planas respectivamente.

- Se adquirió dos estructuras de vidrio prismáticas, de estanco, para el ensayo de impermeabilidad (ver imagen 4.6), una para teja plana y la otra para teja ondulada; estas estructuras de vidrio estancos se consiguieron con recursos propios.

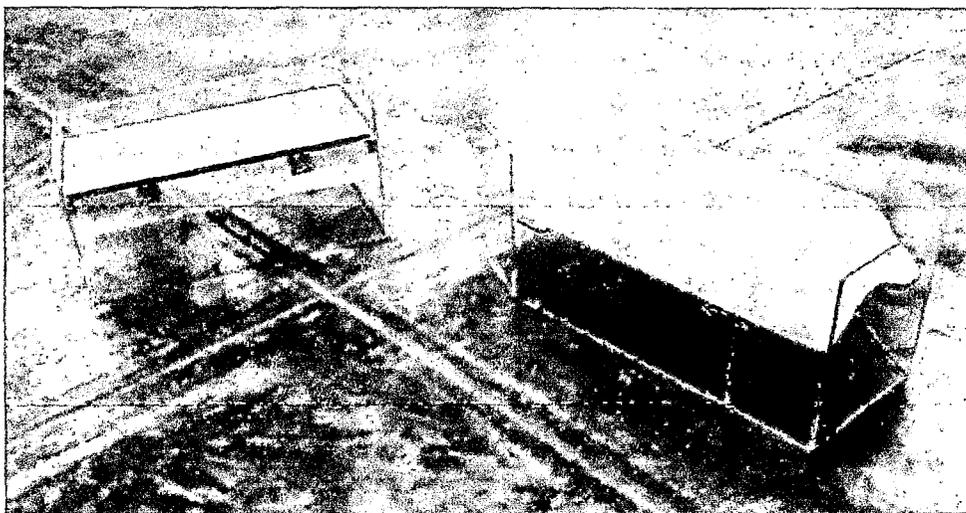


Imagen N° 4.6: Estructuras de vidrio estanco para teja plana y ondulada respectivamente.

- Lamina plástica para los moldes, estas laminas se usan en el proceso de fabricación de la teja, impide que el mortero se pegue a la mesa vibradora, facilita el traslado del mortero vibrado al molde e impide que dicho mortero se pegue al molde metálico, cada lamina es de la medida del molde más un 10% de longitud en sus 4 lados; las tejas onduladas requieren una lámina de mayor espesor que las que se usa en la teja plana. La lamina plástica para la teja plana es del espesor que se usa en el forrado de cuadernos y para la teja ondulada es el doble de espesor, estas láminas se consiguieron con recursos propios.
- Respecto a los materiales se utilizó; el cemento portland Andino tipo I y arena de granulometría media proveniente de la cantera San Martín; estos materiales se consiguieron con recursos propios.

Todos estos equipos, accesorios y materiales se encuentran en laboratorio N° 1 de ensayo de materiales LEM; lugar donde se destinó un área de fabricación, curado y ensayos para el proyecto de investigación. Las distintas herramientas a usarse son de propiedad del laboratorio.

#### 4.2 PROCESO DE LA ELABORACIÓN DE LA TEJA DE MICROCEMENTO.

Para la elaboración de las tejas de microcemento, se tiene como base el procedimiento descrito en el capítulo I, las dimensiones a usar serán según lo descrito en el cuadro 3.6 del capítulo III.

Como ya se indicó anteriormente, las dimensiones y diseños de las tejas fabricadas, son las mismas que dos de los tipos de tejas que existe en el mercado, plana y ondulada; y que presentan las siguientes características: para las tejas planas ( $C_{wp} = 200$  mm,  $d_p = 0$  mm) y tejas onduladas ( $C_{wo} = 170$  mm,  $d_o = 45$  mm), estas mediciones se realizaron según lo estipulado en el capítulo II para medir el ancho afectivo y altura de onda.

A continuación se indica detalladamente el procedimiento seguido en la fabricación de las tejas de microcemento.

##### 4.2.1 Dosificación y pesado de los componentes.

La dosificación de los materiales se realizó según lo indicado en el cuadro N° 3.13 del capítulo III, utilizando una balanza electrónica de 20 kg de capacidad. Ver imagen N° 4.7.



Imagen N° 4.7: Pesado de arena con balanza electrónica.

#### 4.2.2 Mezclado de los componentes.

La mezcla se realizó manualmente, primero humedecemos la bandeja de mezclado, luego agregamos la arena, posteriormente el cemento, mezclamos y agregamos agua poco a poco. Ver imagen N° 4.8.



Imagen N° 4.8: Mortero mezclado manualmente.

Cada dosificación o tanda nos permite fabricar seis tejas, tres planas y tres onduladas; esta es la máxima cantidad de tejas a fabricar por tanda con esta combinación debido al tiempo de fraguado.

#### 4.2.3 Proceso de vibrado y moldeado.

Utilizando la mesa vibradora, se procede a vibrar el mortero, esto con el fin de lograr una adecuada compactación de la mezcla y reducir considerablemente los espacios vacíos y disminuir los poros del material.

Primero se coloca la lámina plástica debajo del marco metálico, luego aseguramos el marco y proseguimos a echar el mortero de tal forma que llene todo el interior del marco metálico, todo esto mientras la mesa vibre. Ver imagen N° 4.9.



Imagen N° 4.9: Mortero vibrando dentro del marco metálico.

Durante el proceso de vibrado, se ha observado que en el tiempo aproximado de 2 a 3 minutos desde que se comienza a echar el mortero; se presenta burbujas de aire que afloran a la superficie, a causa del acomodo de las partículas (ver imagen N° 4.10). Este acomodo garantiza la máxima impermeabilidad del material, además de compactarlo; este vibrado va a la par con la segregación, mucho vibrado produce segregación, pero también se necesita un tiempo de vibrado para que las burbujas afloren a la superficie; entonces se realiza el vibrado hasta antes de la segregación, que se presenta a los 3 minutos aproximadamente.

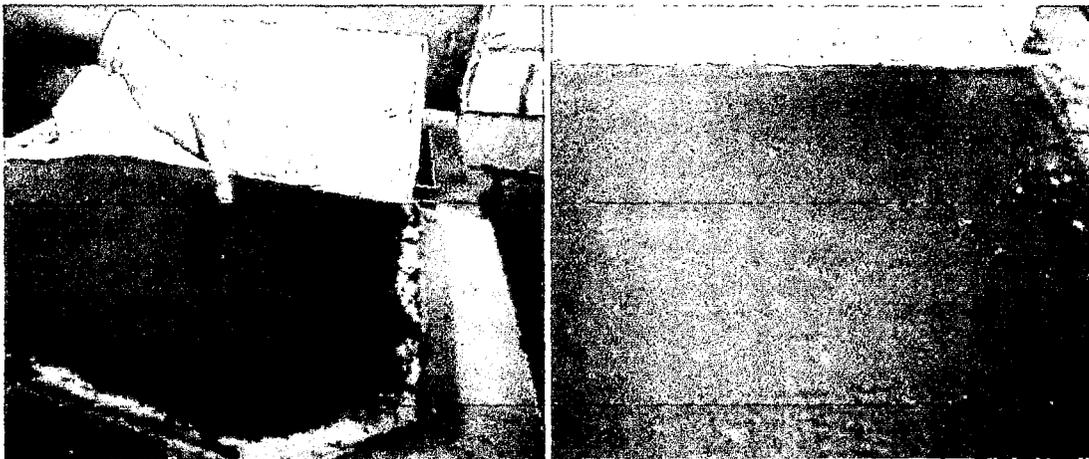


Imagen N° 4.10: Presencia de burbujas debido al reacomodo de las partículas.

Como se ve en la imagen N° 4.10, las burbujas de aire afloran en la parte posterior a la cara de la teja; la cara de la teja es la parte que más se reacomoda dejando un mínimo de vacíos, esto ayudara que la teja al momento del uso, la parte más impermeable de toda la teja sea la cara. Luego de vibrar 3 minutos aproximadamente se apaga la mesa vibradora, se levanta el marco metálico y tirando de lámina plástica desde los extremos, se coloca en el molde metálico dando la forma final de la teja. Ver imagen N° 4.11 y 4.12.



Imagen N° 4.11: Tirando de la lámina plástica al molde.



Imagen N° 4.12: Dando la forma ondulada de la teja con ayuda del molde.

Para la elaboración de las tejas planas se sigue el mismo procedimiento, pero en este caso no se usa el marco metálico, el molde junto con la lámina plástica respectiva se coloca en la mesa vibradora, se echa la mezcla y se vibra, aquí el vibrado y el moldeado se realizan al mismo tiempo. Ver imagen N° 4.13.

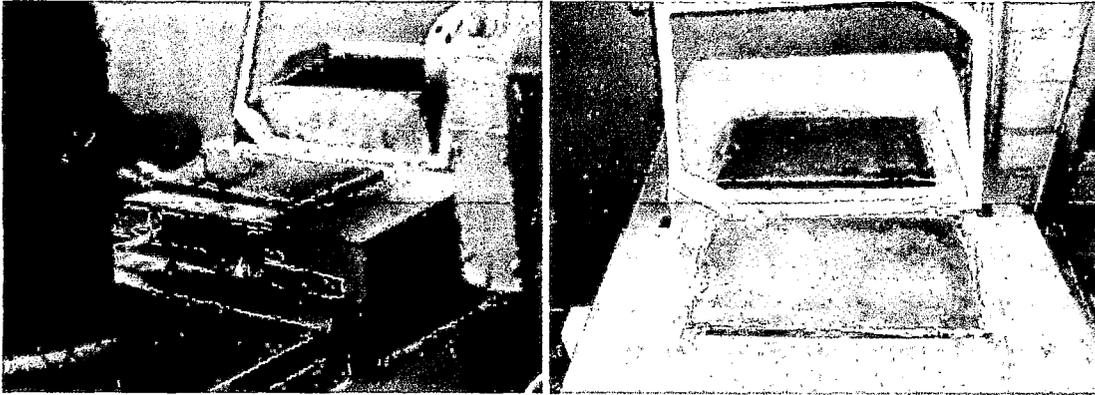


Imagen N° 4.13: Vibrado y moldeado de teja plana.

Terminando el proceso de vibrado y moldeado, las tejas permanecen con el molde por un periodo mínimo de 24 horas secando al aire libre a temperatura ambiente, se ha comprobado que desmoldarse antes del tiempo indicado provocan que la teja se resquebraje.

También se ha verificado que si la temperatura ambiente es alta como en épocas de verano, se recomienda que las tejas sequen en un ambiente fresco y húmedo; ya que sino comienza a presentar fisuras.

#### 4.2.4 Proceso de curado y almacenado.

Luego del proceso de secado de un mínimo de 24 horas, las tejas pasan a ser desmoldadas y puestas en las cubetas de plástico para el proceso de curado (ver imagen N° 4.14).

La lamina plástica usada ayuda a que el mortero no se pegue al molde metálico facilitando el proceso de desmoldado.

Al momento de trasladar las tejas hacia la poza de curado, se puede llevar como máximo 3 tejas por viaje, llevar más cantidad provocaría que las tejas se quiebren.

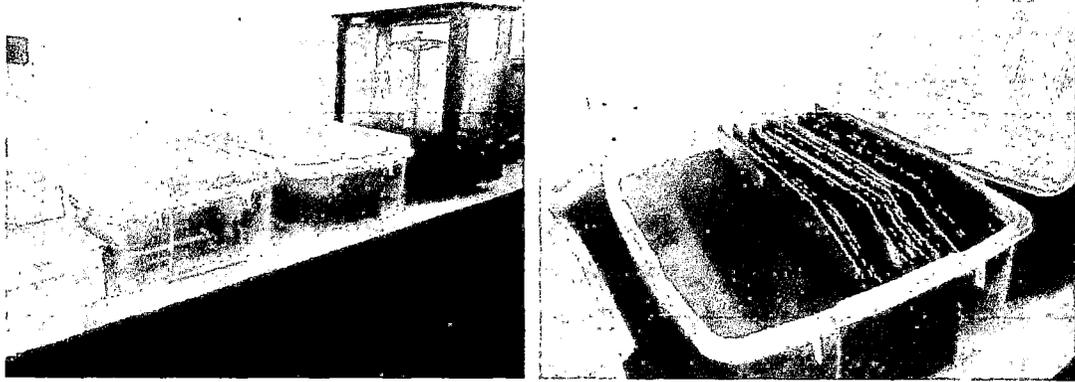


Imagen N° 4.14: Curado de tejas.

En el laboratorio contamos con un área especial destinado a la ubicación de materiales, fabricación, curado y almacenado de las tejas, el tiempo de curado es de 28 días, cumplido este tiempo la teja se seca a temperatura ambiente por un periodo mínimo de 7 días (ver imagen N° 4.15); una vez secado las tejas están listas para usarse.



Imagen N° 4.15: Almacenado de tejas.

Cuando las tejas permanecen almacenadas secando, se realiza las mediciones de anchura efectiva y altura de onda, según lo especificado en el capítulo II. Ver imagen N° 4.16.



Imagen N° 4.16: Medición de dimensiones, anchura efectiva y altura de onda.

#### 4.3 ENSAYOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS TEJAS.

Los ensayos realizados simula las inclemencias y esfuerzos que la teja pueda soportar en su vida útil, la norma europea UNE EN 490 especificaciones de producto y 491 métodos de ensayo, visto en capítulo II describe los ensayos para la evaluación de calidad de las tejas; ensayos que se simulan en el laboratorio, considerando todos estos factores para garantizar su buen funcionamiento.

La norma europea establece de manera general que las tejas deben pasar primero por el ensayo de durabilidad, luego el ensayo de impermeabilidad y finalmente el ensayo de flexión; donde finalmente la resistencia obtenida en este último ensayo debe ser igual o superior a lo indicado en el cuadro 2.1 del capítulo II.

Para fines de la investigación se seguirá el proceso indicado, pero también se ensayara a flexión las tejas antes del ensayo de durabilidad e impermeabilidad para poder comparar la incidencia de estos ensayos en la resistencia de las tejas.

Las tejas comerciales adquiridas también se someterán a los ensayos de calidad con la finalidad de poder compararlas con las del estudio y verificar si cumplen con la norma técnica.

#### 4.3.1 evaluación de flexión para encontrar dosificación óptima inicial.

Para el ensayo de flexión se utiliza una prensa hidráulica de 30 toneladas de capacidad TINIUS OLSEN, equipo que en la actualidad se encuentra calibrada. Ver imagen N° 4.17.

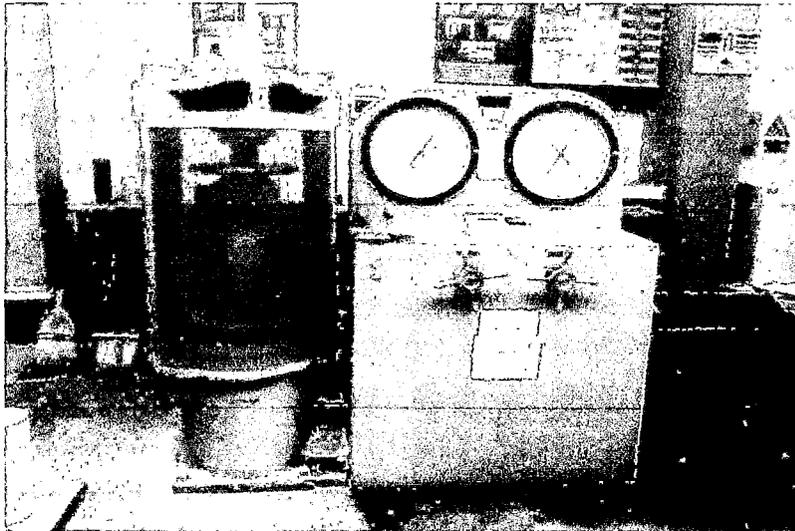


Imagen N° 4.17: Prensa hidráulica de compresión.

Para el ensayo de flexión se utiliza los accesorios fabricados para ese fin (ver imagen N° 4.17), según las especificaciones indicadas en el capítulo II, Accesorios que se colocan en la prensa hidráulica de tal forma como lo indica la norma

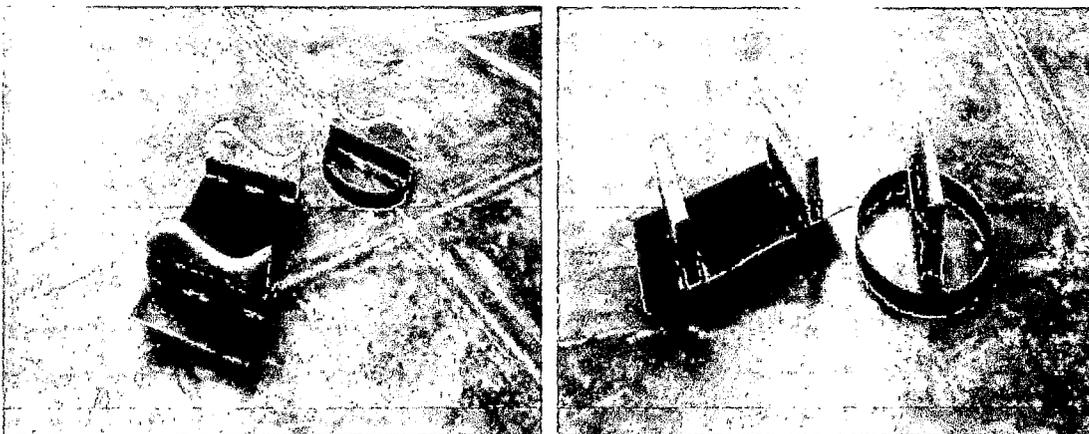


Imagen N° 4.18: Accesorios para ensayo de flexión en tejas onduladas y planas respectivamente.

Estos accesorios una vez ubicados en la prensa hidráulica se procede al ensayo de la tejas, siguiendo el procedimiento indicado en el capítulo II (ver imagen N° 4.19 y 4.20),

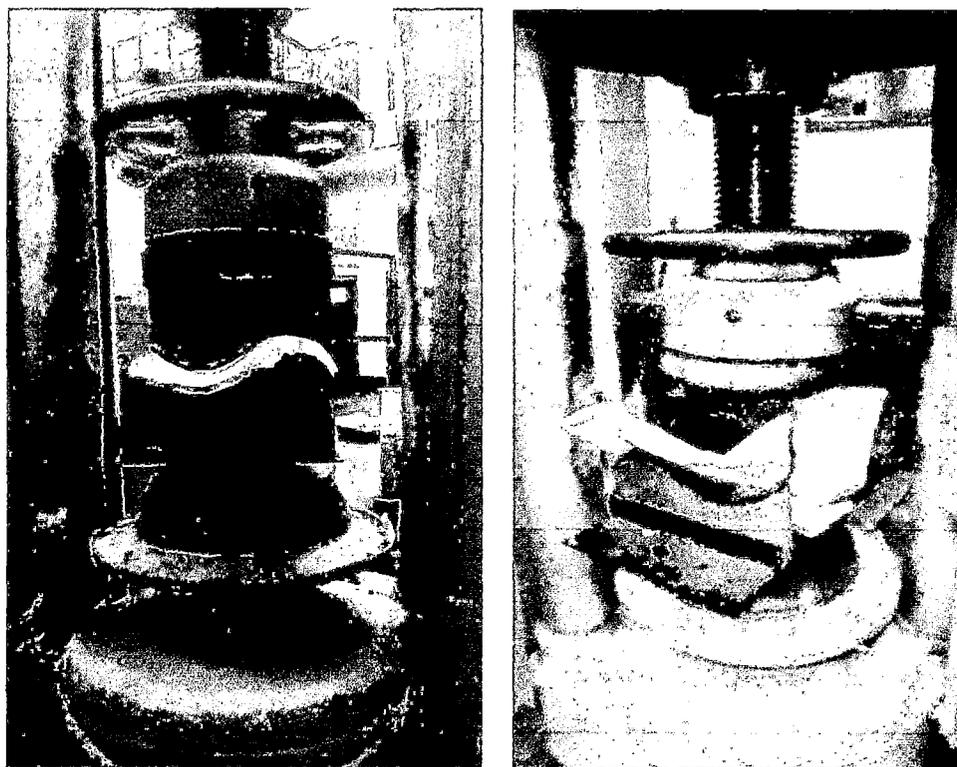


Imagen N° 4.19: Ensayo de flexión en teja ondulada.

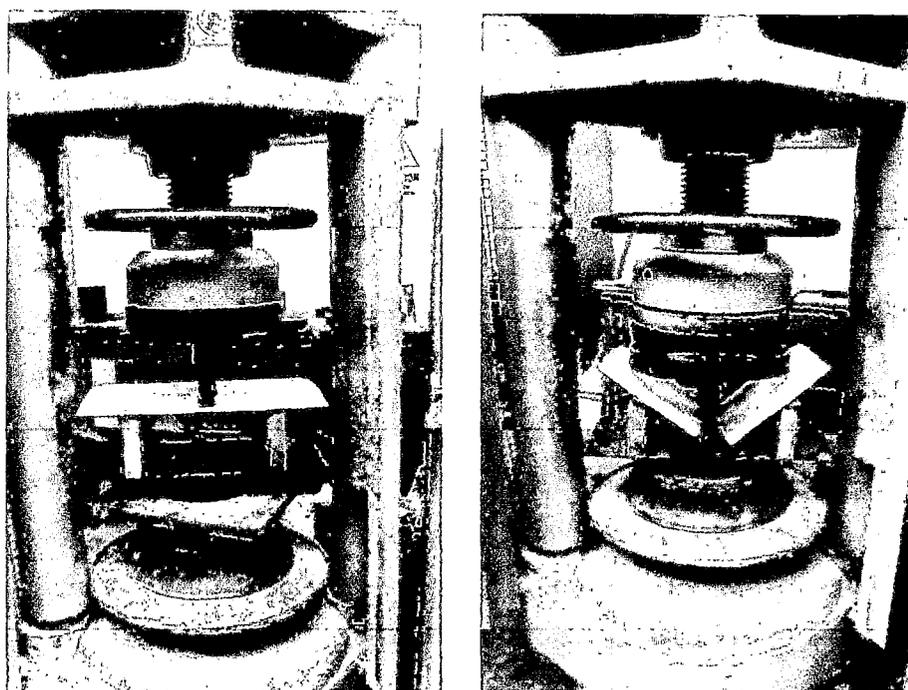


Imagen N° 4.20: Ensayo de flexión en teja plana.

Siguiendo los pasos antes mencionados se procedió a ensayar las tejas de acuerdo a su proporción cemento arena en las fechas de 14 y 28 días. Así mismo también se ensayaron las tejas comerciales.

#### *4.3.1.1. Ensayo de flexión en la proporción cemento arena 1:1.5:*

Para el ensayo de flexión de las tejas de proporción cemento arena 1:1.5 se procedió de acuerdo a los procedimientos indicados anteriormente, tanto para las tejas planas, como para las onduladas. Los resultados se muestran en el cuadro N° 4.2.

Se puede observar del cuadro N° 4.2, que las resistencias de las tejas sobrepasan el valor requerido por la norma europea, las tejas planas dieron como resultado la resistencia promedio de 86 kg y las tejas onduladas 181 kg. Estos resultados cumplen con la especificación técnica y pasara a evaluarse con los ensayos de durabilidad e impermeabilidad.

#### *4.3.1.2. Ensayo de flexión en la proporción cemento arena 1:2:*

Para el ensayo de flexión de las tejas de proporción 1:2 se procedió de acuerdo a los procedimientos indicados anteriormente, tanto para las tejas planas, como para las onduladas. Los resultados se muestran en el cuadro N° 4.3.

Se puede observar del cuadro N° 4.3, que las resistencias de las tejas planas y onduladas sobrepasan los valores requerido por la norma europea, las tejas planas dieron como resultado la resistencia promedio de 67 kg y las tejas onduladas 141 kg siendo estos valores muy próximos a lo pedido, casi al límite de lo especificado. Esta proporción pasara a evaluarse con los ensayos de durabilidad e impermeabilidad.

#### *4.3.1.3. Ensayo de flexión en la proporción cemento arena 1:2.5:*

Para el ensayo de flexión de las tejas de proporción 1:2.5 se procedió de acuerdo a los procedimientos indicados anteriormente, tanto para las tejas planas, como para las onduladas. Los resultados se muestran en el cuadro N° 4.4.

Se puede observar del cuadro N° 4.4, que las resistencias de las tejas no pasan lo pedido por la norma europea, las tejas planas dieron como resultado la resistencia promedio de 48 kg y las tejas onduladas 130 kg. Esta proporción no pasara a evaluarse con los ensayos de durabilidad e impermeabilidad.

#### 4.3.1.4. *Ensayo de flexión en la proporción cemento arena 1:2.75:*

Para el ensayo de flexión de las tejas de proporción 1:2.75 se procedió de acuerdo a los procedimientos indicados anteriormente, tanto para las tejas planas, como para las onduladas. Los resultados se muestran en el cuadro N° 4.5.

Se puede observar del cuadro N° 4.5, que las resistencias de las tejas no pasan lo pedido por la norma europea, las tejas planas dieron como resultado la resistencia promedio de 36 kg y las tejas onduladas 86 kg. Esta proporción no pasara a evaluarse con los ensayos de durabilidad e impermeabilidad.

#### 4.3.1.5. *Ensayo de flexión en tejas comerciales:*

Para el ensayo de flexión de las tejas comerciales se procedió de acuerdo a los procedimientos indicados anteriormente, tanto para las tejas planas, como las onduladas. Los resultados se muestran en el cuadro N° 4.6.

Se puede observar del cuadro N° 4.6, que las resistencias de las tejas onduladas si pasan lo pedido por la norma europea, dando como resultado la resistencia promedio de 156 kg; en cambio las tejas planas no pasan, dieron como resultado la resistencia promedio de 46 kg; sin embargo las tejas planas y onduladas se evaluarán con los ensayos de durabilidad e impermeabilidad, para finalmente ensayarse a flexión, cumpliendo así las indicaciones de la norma europea.

Cuadro N° 4.2: Ensayo de flexión en tejas proporción 1:1.5.

**MATERIALES**

CEMENTO (kg): 4.80  
AGUA (kg): 2.26  
ARENA (kg): 7.20

**RELACIONES**

AGUA/CEMENTO: 0.47  
CEMENTO/ARENA: 1:1.5

FLUIDEZ: 95.9%

ESPECIMEN	MODELO	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
T1:1.5-1	ONDULADA	28/01/2014	18/02/2014	14	49.0	24.0	1.0	143	140	-----
T1:1.5-2		28/01/2014	18/02/2014	14	49.0	24.0	1.0	133		
T1:1.5-3		28/01/2014	18/02/2014	14	49.0	24.0	1.0	143		
T1:1.5-4		29/01/2014	05/03/2014	28	49.0	24.0	1.0	183	181	140
T1:1.5-5		29/01/2014	05/03/2014	28	49.0	24.0	1.0	178		
T1:1.5-6		29/01/2014	05/03/2014	28	49.0	24.0	1.0	183		
T1:1.5-1	PLANA	28/01/2014	18/02/2014	14	40.0	20.0	1.0	62	59	-----
T1:1.5-2		28/01/2014	18/02/2014	14	40.0	20.0	1.0	62		
T1:1.5-3		28/01/2014	18/02/2014	14	40.0	20.0	1.0	52		
T1:1.5-4		29/01/2014	05/03/2014	28	40.0	20.0	1.0	82	86	55
T1:1.5-5		29/01/2014	05/03/2014	28	40.0	20.0	1.0	82		
T1:1.5-6		29/01/2014	05/03/2014	28	40.0	20.0	1.0	92		

Fuente: Elaboración propia

NOTA: En las cargas de rotura está incluida el peso del accesorio de flexión respectivo: 2.89 kg para teja ondulada y 2.44 kg para teja plana.

La norma no indica la carga de rotura para antes de 28 días.

Resultados antes de realizar el ensayo de hielo y deshielo.

Cuadro N° 4.3: Ensayo de flexión en tejas proporción 1:2.

**MATERIALES**

CEMENTO (kg): 4.00  
 AGUA (kg): 2.18  
 ARENA (kg): 8.00

**RELACIONES**

AGUA/CEMENTO: 0.55  
 CEMENTO/ARENA: 1:2

FLUIDEZ: 102.4%

ESPECIMEN	MODELO	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
T1:2.0-1	ONDULADA	10/01/2014	31/01/2014	14	49.0	24.0	1.0	103	103	-----
T1:2.0-2		10/01/2014	31/01/2014	14	49.0	24.0	1.0	103		
T1:2.0-3		10/01/2014	31/01/2014	14	49.0	24.0	1.0	103		
T1:2.0-4		13/01/2014	17/02/2014	28	49.0	24.0	1.0	143	141	140
T1:2.0-5		13/01/2014	17/02/2014	28	49.0	24.0	1.0	133		
T1:2.0-6		13/01/2014	17/02/2014	28	49.0	24.0	1.0	148		
T1:2.0-1	PLANA	10/01/2014	31/01/2014	14	40.0	20.0	1.0	42	44	-----
T1:2.0-2		10/01/2014	31/01/2014	14	40.0	20.0	1.0	47		
T1:2.0-3		10/01/2014	31/01/2014	14	40.0	20.0	1.0	42		
T1:2.0-4		13/01/2014	17/02/2014	28	40.0	20.0	1.0	62	67	55
T1:2.0-5		13/01/2014	17/02/2014	28	40.0	20.0	1.0	62		
T1:2.0-6		13/01/2014	17/02/2014	28	40.0	20.0	1.0	77		

Fuente: Elaboración propia

NOTA: En las cargas de rotura está incluida el peso del accesorio de flexión respectivo: 2.89 kg para teja ondulada y 2.44 kg para teja plana.

La norma no indica la carga de rotura para antes de 28 días.

Resultados antes de realizar el ensayo de hielo y deshielo.

Cuadro N° 4.4: Ensayo de flexión en tejas proporción 1:2.5.

**MATERIALES**

CEMENTO (kg): 3.43  
 AGUA (kg): 2.09  
 ARENA (kg): 8.57

**RELACIONES**

AGUA/CEMENTO: 0.61  
 CEMENTO/ARENA: 1:2.5

FLUIDEZ: 98.5%

ESPECIMEN	MODELO	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
T1:2.5-1	ONDULADA	15/01/2014	05/02/2014	14	49.0	24.0	1.0	83	81	-----
T1:2.5-2		15/01/2014	05/02/2014	14	49.0	24.0	1.0	83		
T1:2.5-3		15/01/2014	05/02/2014	14	49.0	24.0	1.0	78		
T1:2.5-4		17/01/2014	21/02/2014	28	49.0	24.0	1.0	133	130	
T1:2.5-5		17/01/2014	21/02/2014	28	49.0	24.0	1.0	128		
T1:2.5-6		17/01/2014	21/02/2014	28	49.0	24.0	1.0	128		
T1:2.5-1	PLANA	15/01/2014	05/02/2014	14	40.0	20.0	1.0	30	33	-----
T1:2.5-2		15/01/2014	05/02/2014	14	40.0	20.0	1.0	40		
T1:2.5-3		15/01/2014	05/02/2014	14	40.0	20.0	1.0	30		
T1:2.5-4		17/01/2014	21/02/2014	28	40.0	20.0	1.0	50	48	
T1:2.5-5		17/01/2014	21/02/2014	28	40.0	20.0	1.0	45		
T1:2.5-6		17/01/2014	21/02/2014	28	40.0	20.0	1.0	50		

Fuente: Elaboración propia

NOTA: En las cargas de rotura está incluida el peso del accesorio de flexión respectivo: 2.89 kg para teja ondulada y 2.44 kg para teja plana.

La norma no indica la carga de rotura para antes de 28 días.

Resultados antes de realizar el ensayo de hielo y deshielo.

Cuadro Nº 4.5: Ensayo de flexión en tejas proporción 1:2.75.

**MATERIALES**

CEMENTO (kg): 3.20  
 AGUA (kg): 2.04  
 ARENA (kg): 8.80

**RELACIONES**

AGUA/CEMENTO: 0.64  
 CEMENTO/ARENA: 1:2.75

FLUIDEZ: 104.7%

ESPECIMEN	MODELO	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
T1:2.75-1	ONDULADA	23/01/2014	13/02/2014	14	49.0	24.0	1.0	53	56	-----
T1:2.75-2		23/01/2014	13/02/2014	14	49.0	24.0	1.0	63		
T1:2.75-3		23/01/2014	13/02/2014	14	49.0	24.0	1.0	53		
T1:2.75-4		24/01/2014	28/02/2014	28	49.0	24.0	1.0	83	86	
T1:2.75-5		24/01/2014	28/02/2014	28	49.0	24.0	1.0	83		
T1:2.75-6		24/01/2014	28/02/2014	28	49.0	24.0	1.0	93		
T1:2.75-1	PLANA	23/01/2014	13/02/2014	14	40.0	20.0	1.0	22	24	-----
T1:2.75-2		23/01/2014	13/02/2014	14	40.0	20.0	1.0	22		
T1:2.75-3		23/01/2014	13/02/2014	14	40.0	20.0	1.0	27		
T1:2.75-4		24/01/2014	28/02/2014	28	40.0	20.0	1.0	32	36	
T1:2.75-5		24/01/2014	28/02/2014	28	40.0	20.0	1.0	32		
T1:2.75-6		24/01/2014	28/02/2014	28	40.0	20.0	1.0	42		

Fuente: Elaboración propia

NOTA: En las cargas de rotura está incluida el peso del accesorio de flexión respectivo: 2.89 kg para teja ondulada y 2.44 kg para teja plana.

La norma no indica la carga de rotura para antes de 28 días.

Resultados antes de realizar el ensayo de hielo y deshielo.

Cuadro Nº 4.6: Ensayo de flexión en teja Ensayo de flexión en tejas comerciales.

**MATERIALES**  
CEMENTO (kg): -  
AGUA (kg): -  
ARENA (kg): -

**RELACIONES**  
AGUA/CEMENTO:  
CEMENTO/ARENA:

**TEJA COMECIAL**  
NO INDICA  
NO INDICA

**FLUIDEZ:** NO INDICA

ESPECIMEN	MODELO	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
TC-1	ONDULADA	-	31/01/2014	28	50.0	25.0	1.0	153	156	140
TC-2		-	31/01/2014	28	50.0	25.0	1.0	163		
TC-3		-	31/01/2014	28	50.0	25.0	1.0	153		
TC-1	PLANA	-	31/01/2014	28	40.0	20.0	1.0	42	46	55
TC-2		-	31/01/2014	28	40.0	20.0	1.0	42		
TC-3		-	31/01/2014	28	40.0	20.0	1.0	52		

Fuente: Elaboración propia

NOTA: En las cargas de rotura está incluida el peso del accesorio de flexión respectivo: 2.89 kg para teja ondulada y 2.44 kg para teja plana.

La norma no indica la carga de rotura para antes de 28 días.

Resultados antes de realizar el ensayo de hielo y deshielo.

De los resultados obtenidos de las diferentes proporciones cemento arena realizados, se observa que solo cumplen los parámetros de resistencia a flexión las proporciones cemento arena: 1:1.5 y 1:2, tanto las tejas planas como las onduladas. Pero para que cumpla los requerimientos de la norma europea deben pasar por los ensayos de durabilidad e impermeabilidad.

Por lo tanto con estas proporciones se elaboraran nuevas tejas planas y onduladas para ensayarlas a durabilidad e impermeabilidad, para finalmente ensayarlas nuevamente a flexión, para encontrar la proporción cemento arena óptimo que cumpla la norma europea.

Uno de los parámetros descubiertos en el capítulo anterior que define la resistencia en las tejas de microcemento es la proporción cemento arena; de los resultados obtenidos se comprueba lo que se dijo anteriormente, como se aprecia en el cuadro N° 4.7.

Cuadro N° 4.7: Resultados de ensayo de flexión.

PROPORCION			CARGA MAX. PROMEDIO A 14 DIAS (kg)		CARGA MAX. PROMEDIO A 28 DIAS (kg)	
PROPORCION	ARENA/ CEMENTO	AGUA/ CEMENTO	TEJA ONDULADA	TEJA PLANA	TEJA ONDULADA	TEJA PLANA
1:1.50	0.67	0.47	139.6	59.1	181.2	85.8
1:2.00	0.50	0.55	102.9	42.4	146.2	65.8
1:2.50	0.40	0.61	81.2	32.4	129.6	52.4
1:2.75	0.36	0.64	56.2	24.1	89.6	35.8

Fuente: Elaboración propia

De estos datos elaboramos el gráfico 4.1, donde se observa que la resistencia va creciendo conforme la proporción cemento arena crece, esto quiere decir que hay más resistencia mientras la mezcla tenga más cemento y menos arena. Ver gráfico 4.1.

El grafico 4.1 también muestra el comportamiento de la arena usada, de la gráfica se ve una relación entre la resistencia y la dosificación deseada que se obtiene con esta arena, teniendo en cuenta que su fluidez este dentro de rango óptimo de fluidez, esta grafica muestra este comportamiento para tejas planas y onduladas para los días 14 y 28 días.

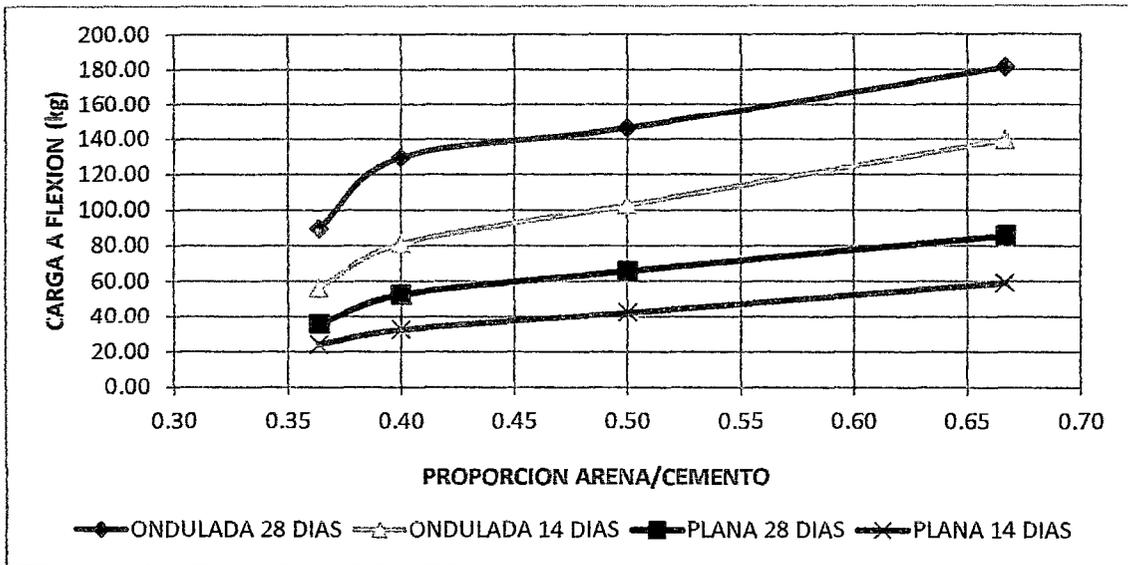


Gráfico 4.1: Curva de resistencia vs relación cemento/arena. Fuente: Elaboración propia.

La gráfica 4.2 muestra una relación agua cemento para una resistencia dada, según tipo de teja y según número de días.

Aunque la relación agua cemento no es un parámetro principal pero sigue siendo de importancia, al variar la proporción cemento arena y mantener la fluidez dentro del rango óptimo, se varió indirectamente la relación agua cemento y cuyos valores versus la resistencia define una curva propia de un elemento hecho de cemento. Ver gráfico 4.2.

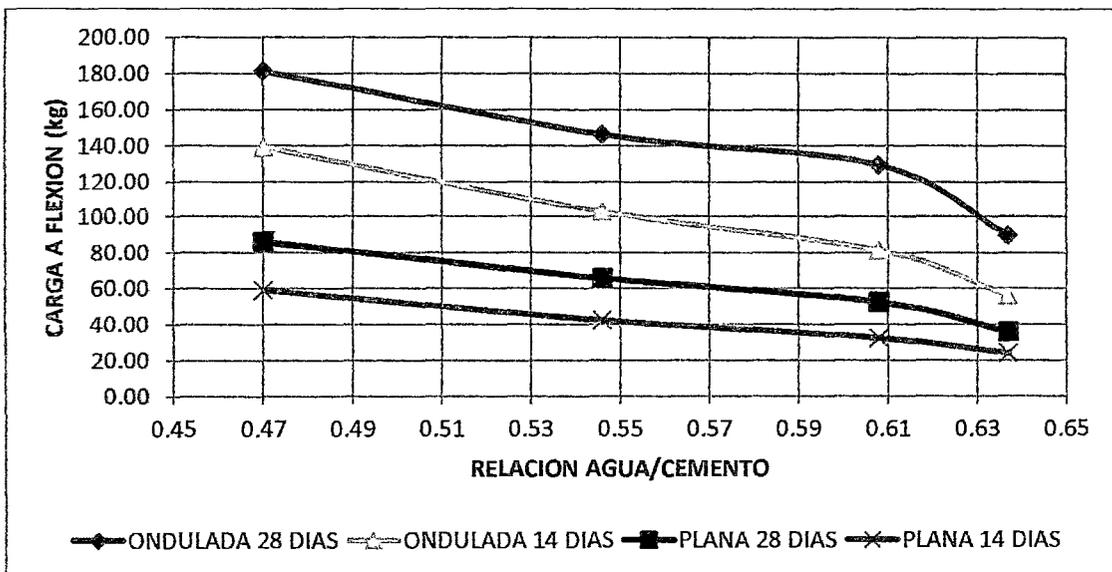


Gráfico 4.2: Curva de resistencia vs relación agua/cemento. Fuente: Elaboración propia.

En estos ensayos se pudo constatar los tipos de falla que presentan las tejas, estos tipos de fallas se manifiestan por la forma de colocar el accesorio de flexión.

En las tejas onduladas una correcta colocación produce fallas transversales y en el centro de la teja (ver imagen N° 4.21); una mala colocación produce: falla diagonal y mixta (ver imagen N° 4.22); estas últimas fallas no se presentaron en las tejas planas, independiente de la correcta colocación del accesorio de flexión.

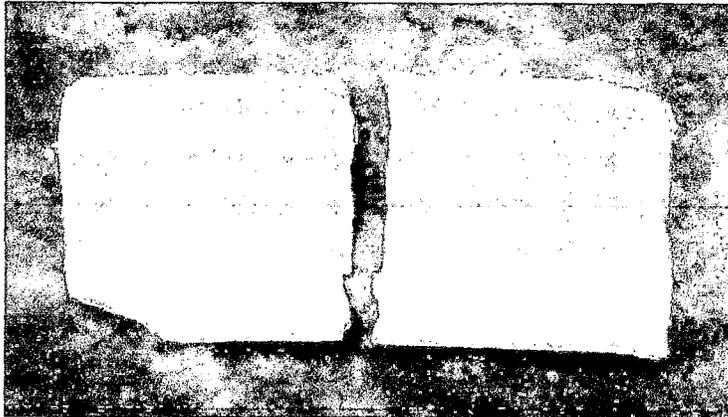


Imagen N° 4.21: Falla transversal en teja ondulada

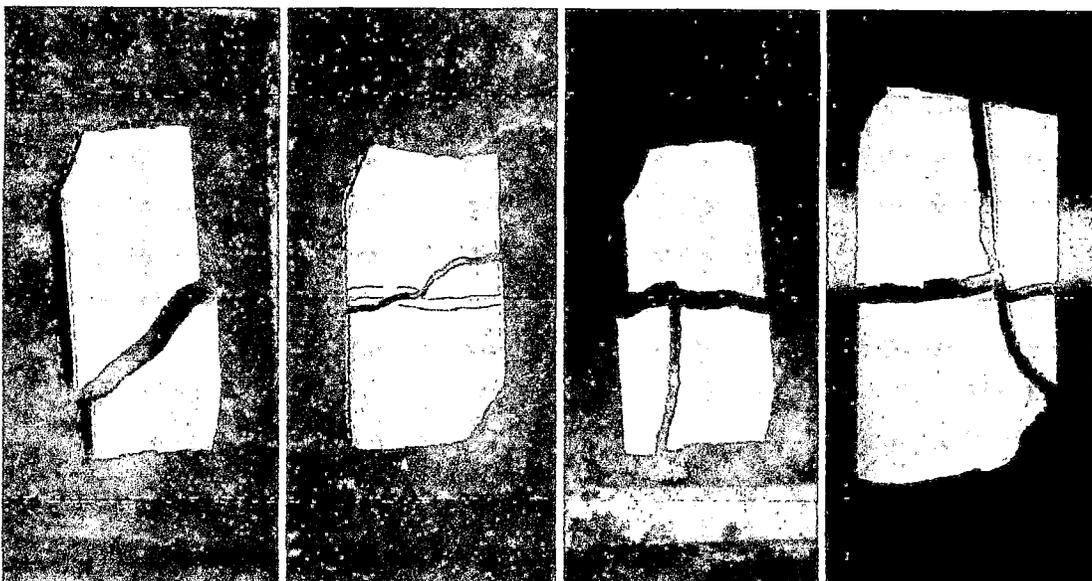


Imagen N° 4.22: Falla diagonal y mixta respectivamente en teja ondulada

En el caso de las tejas planas la falla que se presenta es la falla transversal, esta falla para una correcta medida se presenta al centro de la teja (ver imagen N° 4.23), caso contrario esta falla se presentara un poco desviada del centro de la teja (ver imagen N° 4.24).

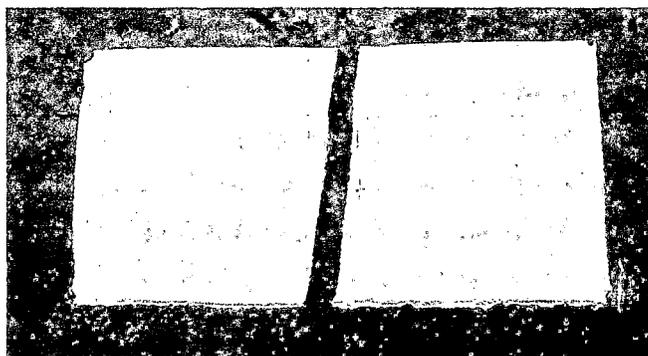


Imagen N° 4.23: Falla transversal centrada en teja plana



Imagen N° 4.24: Falla transversal fuera del centro en teja plana

La mala colocación del equipo de flexión abarca puntos como: los apoyos de la teja deben ser totalmente horizontal; no centrar bien la teja en los apoyos tanto en largo como en ancho; el incorrecto ángulo del rompiente, este rompiente debe estar completamente horizontal y caer al centro de la teja. En la correcta medida también influye la geometría de la teja, que por motivos del moldeado no se acopla bien al accesorio de flexión, entonces se debe tener cuidado en la homogeneidad de los moldes y en el proceso de fabricación para que la teja sea simétrica.

#### 4.3.2 evaluación de durabilidad.

Las tejas de proporción cemento arena: 1:1.5 y 1:2, se someterán al ensayo de durabilidad, entonces se acondicionan según lo estipula la norma vista en el capítulo II.

El ensayo busca ver si resisten los cambios bruscos de temperatura y verificar si aparecen pequeñas fisuras o puntos de falla en la teja que comprometa el normal funcionamiento de la misma, también la incidencia en la resistencia final de la teja, veremos cuanto es la resistencia que pierde cada teja.

#### 4.3.2.1 Acondicionamiento.

Se sumergen las tejas a ensayarse en agua a 20° C durante 3 días, luego del cual son secadas superficialmente e inmediatamente después comenzar con el primer ciclo de enfriamiento, procediendo según lo indica la norma vista en el capítulo II. Se lleva a cabo 25 ciclos, cada ciclo consta de 3 fases, enfriamiento, congelamiento y descongelamiento.

#### 4.3.2.2 Fase de enfriamiento.

Luego de acondicionar las tejas se procede con el primer ciclo de hielo y deshielo, fase de enfriamiento; el ciclo de enfriamiento comienza con poner las tejas en la congeladora y reducir la temperatura gradualmente en dos horas a -20 °C (ver imagen N° 4.25). Para garantizar la velocidad de enfriamiento se procedió de la siguiente forma: al comenzar esta fase se coloca las tejas y se programa la congeladora a -10 °C, luego de una hora se programa la congeladora a -15 °C, media hora después se programa la congeladora a -20 °C, y esperamos media hora que la congeladora baje la temperatura de -15 °C a -20 °C, que es la velocidad de la congeladora, -1 °C cada 6 minutos.



Imagen N° 4.25: Tejas congelándose hasta -20 °C.

#### 4.3.2.3 Fase de congelación.

Una vez terminado la fase de enfriamiento se procede con la fase de congelación, esta fase contempla el mantener la temperatura constante de las tejas a  $-20^{\circ}\text{C}$  por una hora quince minutos según lo indica la norma. Ver imagen N° 4.26.



Imagen N° 4.26: Tejas en congeladora a temperatura constante de  $-20^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.3.2.4 Fase de descongelación.

En esta fase siguiendo el procedimiento descrito por la norma, luego de la fase de congelación procedemos con la fase descongelación; se retiran las tejas de la congeladora y las colocamos en agua a una temperatura constante de  $20^{\circ}\text{C}$  durante dos horas (ver imagen N° 4.27); terminando así con el primer ciclo de hielo y deshielo; se repite estos pasos 25 veces según lo dicta la norma.

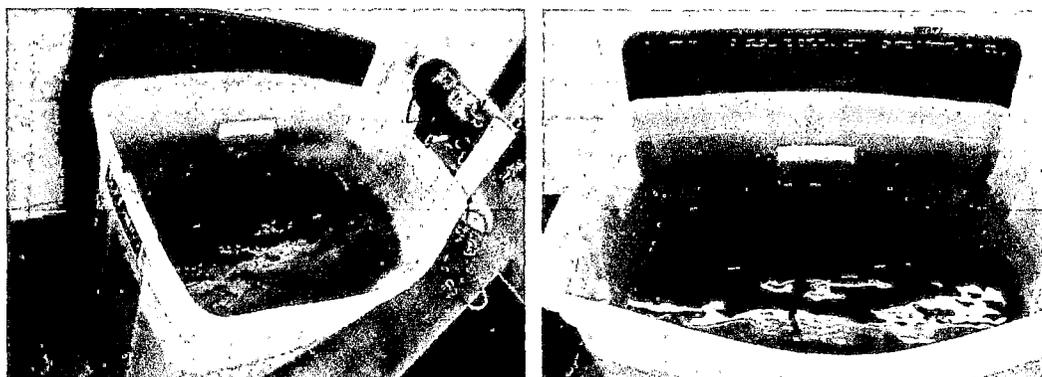


Imagen N° 4.27: Tejas en proceso de descongelación.

Para que las tejas pasen el ensayo de durabilidad no deben resquebrajarse ni presentar fisuras, puede presentar pérdida de coloración. En este proceso de repetición de congelación y descongelación pudimos observar que las tejas fabricadas en el laboratorio presentaron pérdida de coloración pero no fisuras. Ver imagen N° 4.28.

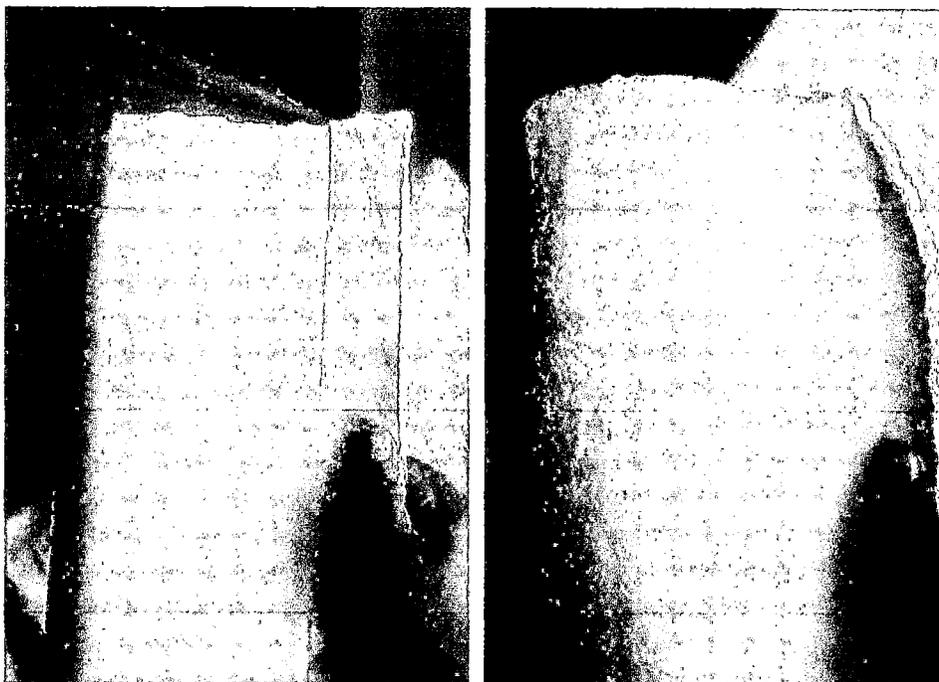


Imagen N° 4.28 a: Pérdida de coloración en teja ondulada fabricada.

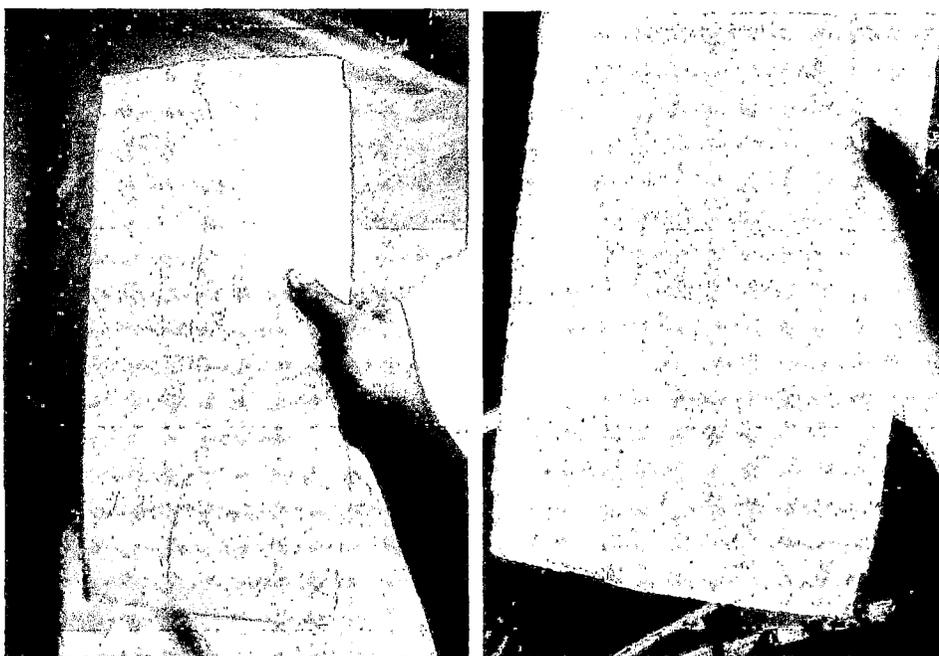


Imagen N° 4.28 b: Pérdida de coloración en teja plana fabricada.

Se pudo observar también que las tejas comerciales perdieron coloración, pero también algunas presentaron pequeñas fisuras. Ver imagen N° 4.29.



Imagen N° 4.29 a: Pérdida de coloración y pequeñas fisuras en teja ondulada comercial.



Imagen N° 4.29 b: Pérdida de coloración y pequeñas fisuras en teja plana comercial.

Teniendo siempre cuidado en pasar las tejas del agua a la congeladora y viceversa, ya que en ese momento las tejas están muy frágiles; también por el horario de trabajo del LEM solo se podía hacer 3 ciclos por día por lo que se tenía que interrumpir el ensayo, para interrumpir el ensayo según la norma se tiene que terminar el ciclo, cada interrupción de ciclo es a lo mucho 96 horas.

Para superar el ensayo de durabilidad las tejas no deben resquebrajarse ni presentar fisuras durante el proceso. Puede presentar decoloración.

Los resultados del ensayo de durabilidad para tejas onduladas se ven en el cuadro N° 4.8, donde se observa que las tejas de la proporción cemento arena 1:1.5 no presentaron fisuras ni resquebrajamientos, al igual que las tejas de la proporción cemento arena 1:2; en cambio de las tejas comerciales dos de ellas si presentaron fisuras y una no; por tanto se decide que en promedio las tejas comerciales onduladas no pasan el ensayo de durabilidad, esto demuestra que las tejas comerciales no son durables, ni soportan climas de frio extremo.

Las tejas que si pasaron el ensayo de durabilidad pasan para ser ensayadas por el ensayo de impermeabilidad según lo indica la norma europea.

Para las tejas planas los resultados del ensayo de durabilidad se muestra en el cuadro N° 4.9, en el cual se observa que las proporciones cemento arena 1:1.5 y 1:2, si pasaron el ensayo de durabilidad, ya que no presentaron fisuras ni resquebrajamientos; de las tejas comerciales en cambio, solo una de ellas presento fisura, por tanto las tejas comerciales planas en promedio si pasan el ensayo de durabilidad, a diferencia de su similar la teja ondulada, las tejas planas comerciales si están aptas para climas de frio extremo.

Las tejas que si pasaron el ensayo de durabilidad pasan para ser ensayadas por el ensayo de impermeabilidad según lo indica la norma europea.

Cuadro N° 4.8: Ensayo de durabilidad en tejas onduladas.

DOSIFICACION	ESPECIMEN	DIAS	FECHA DE FABRICACION	INICIO DE ENSAYO	FIN DE ENSAYO	DIMENSIONES (cm)			PRESENTA FISURAS	FISURAS SEGÚN NORMA UNE
						LARGO	ANCHO	ESPESOR		
1/1.5	T1:1.5-7	28	30/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	49.00	24.00	1.00	NO	NO
	T1:1.5-8	28	30/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	49.00	24.00	1.00	NO	
	T1:1.5-9	28	30/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	49.00	24.00	1.00	NO	
1/2	T1:2.0-7	28	14/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	49.00	24.00	1.00	NO	NO
	T1:2.0-8	28	14/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	49.00	24.00	1.00	NO	
	T1:2.0-9	28	14/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	49.00	24.00	1.00	NO	
COMERCIALES	TC-4	28	----	06/03/2014	16/03/2014	50.00	25.00	1.00	SI	NO
	TC-5	28	----	06/03/2014	16/03/2014	50.00	25.00	1.00	SI	
	TC-6	28	----	06/03/2014	16/03/2014	50.00	25.00	1.00	NO	

Fuente: Elaboración propia

Nota (----): No se tiene referencia de la fecha de fabricación de la teja comercial.

Cuadro N° 4.9: Ensayo de durabilidad en tejas planas.

DOSIFICACION	ESPECIMEN	DIAS	FECHA DE FABRICACION	INICIO DE ENSAYO	FIN DE ENSAYO	DIMENSIONES (cm)			PRESENTA FISURAS	FISURAS SEGÚN NORMA UNE
						LARGO	ANCHO	ESPESOR		
1/1.5	T1:1.5-7	28	30/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	40.00	20.00	1.00	NO	NO
	T1:1.5-8	28	30/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	40.00	20.00	1.00	NO	
	T1:1.5-9	28	30/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	40.00	20.00	1.00	NO	
1/2	T1:2.0-7	28	14/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	40.00	20.00	1.00	NO	NO
	T1:2.0-8	28	14/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	40.00	20.00	1.00	NO	
	T1:2.0-9	28	14/01/2014	06/03/2014	16/03/2014	40.00	20.00	1.00	NO	
COMERCIALES	TC-4	28	----	06/03/2014	16/03/2014	40.00	20.00	1.00	SI	NO
	TC-5	28	----	06/03/2014	16/03/2014	40.00	20.00	1.00	NO	
	TC-6	28	----	06/03/2014	16/03/2014	40.00	20.00	1.00	NO	

Fuente: Elaboración propia

Nota (----): No se tiene referencia de la fecha de fabricación de la teja comercial.

#### 4.3.3 Evaluación de impermeabilidad.

Una vez completado el ensayo de durabilidad, se procede con el ensayo de impermeabilidad según lo indicado por la norma, se somete a esta prueba tres tejas onduladas y tres tejas planas según indicaciones de la norma, mostrada en el cuadro 2.2 del capítulo II. Tres tejas planas y tres tejas onduladas para cada proporción cemento arena y de la misma manera para las tejas comerciales.

Este ensayo se realiza tanto a las tejas comerciales como también a las tejas fabricadas en el laboratorio.

Las tejas a ensayarse una vez completados el ensayo de durabilidad pasan a secarse por 7 días, luego serán puestas en el equipo de impermeabilidad según el tipo de teja (ver imagen N° 4.30), con la cara de la teja mirando hacia nosotros, se sellan las aberturas que hay en el borde de la teja con silicona simple o plastilina, y encima con silicona para vidrio; esto con la finalidad de sellar y obtener una especie de "pecera". Ver imagen 4.31.

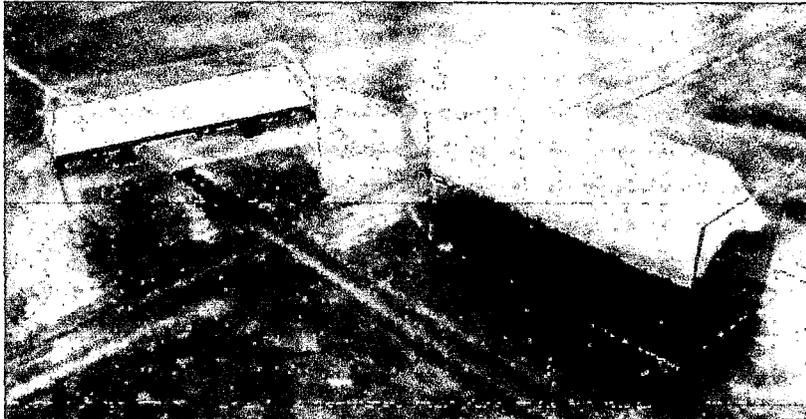


Imagen N° 4.30: tejas plana y ondulada en equipo de impermeabilidad.



Imagen N° 4.31: sellado de equipos de impermeabilidad

Luego de sellar los bordes se llena de agua con una altura de 10 cm sobre el punto más alto de la teja. Ver imagen 4.32.

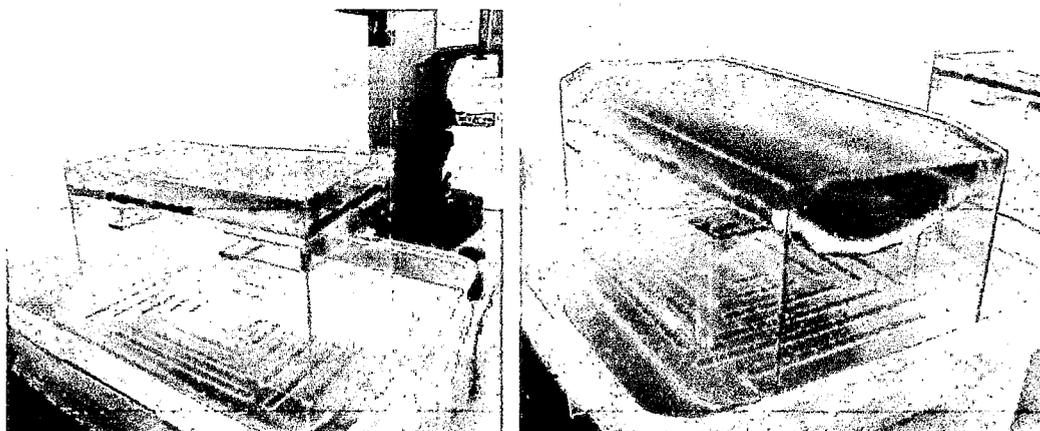


Imagen N° 4.32: ensayo de impermeabilidad en teja plana y ondulada respectivamente.

Permanece así por un periodo de 24 horas; para que las tejas pasen el ensayo de impermeabilidad, no debe caer ninguna gota de agua mientras dure el ensayo, en la parte inferior de la teja puede presentarse sudoración pero no debe desprenderse ninguna gota.

Los resultados del ensayo de impermeabilidad para tejas onduladas se muestran en el cuadro N° 4.10, donde se observa que las tejas de la proporción cemento arena: 1:1.5, 1:2 y tejas comerciales si pasaron el ensayo de impermeabilidad, todas estas tejas no dejaron caer ninguna gota de agua durante el tiempo del ensayo, pero si presentaron humedecimiento en la parte inferior de la teja; por tanto se concluye que las tejas onduladas de ambas proporciones cemento arena, y las tejas comerciales onduladas si pasan el ensayo de impermeabilidad; haciéndolas aptas para su uso en zonas de lluvias fuertes.

Los resultados del ensayo de impermeabilidad en tejas planas se muestra en el cuadro N° 4.11, y al igual que las tejas onduladas, las proporciones cemento arena: 1:1.5, 1:2, y las tejas comerciales pasaron el ensayo de impermeabilidad, todas estas tejas planas no dejaron pasar ninguna gota de agua durante el tiempo del ensayo, pero si presentaron humedecimiento en la parte inferior de la teja; por tanto las tejas planas de ambas proporciones cemento arena y las tejas comerciales, si pasan el ensayo de impermeabilidad, haciéndolas aptas para su uso en zonas de lluvias fuertes.

Cuadro Nº 4.10: Ensayo de impermeabilidad en tejas onduladas.

DOSIFICACION	ESPECIMEN	DIAS	FABRICACION	INICIO DE ENSAYO	FIN DE ENSAYO	PRESENTA		SEGÚN NORMA UNE	
						GOTEO	HUMEDECIMIENTO	GOTEOS	HUMEDECIMIENTO
1/1.50	T1:1.5-7	28	30/01/2014	24/03/2014	25/03/2014	NO	SI	NO	SI
	T1:1.5-8	28	30/01/2014	24/03/2014	25/03/2014	NO	SI		
	T1:1.5-9	28	30/01/2014	24/03/2014	25/03/2014	NO	SI		
1/2.00	T1:2.0-7	28	14/01/2014	25/03/2014	26/03/2014	NO	SI	NO	SI
	T1:2.0-8	28	14/01/2014	25/03/2014	26/03/2014	NO	SI		
	T1:2.0-9	28	14/01/2014	25/03/2014	26/03/2014	NO	SI		
COMERCIALES	TC-4	28	-----	26/03/2014	27/03/2014	NO	SI	NO	SI
	TC-5	28	-----	26/03/2014	27/03/2014	NO	SI		
	TC-6	28	-----	26/03/2014	27/03/2014	NO	SI		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro Nº 4.11: Ensayo de impermeabilidad en tejas planas.

DOSIFICACION	ESPECIMEN	DIAS	FABRICACION	INICIO DE ENSAYO	FIN DE ENSAYO	PRESENTA		SEGÚN NORMA UNE	
						GOTEO	HUMEDECIMIENTO	GOTEOS	HUMEDECIMIENTO
1/1.50	T1:1.5-7	28	30/01/2014	24/03/2014	25/03/2014	NO	SI	NO	SI
	T1:1.5-8	28	30/01/2014	24/03/2014	25/03/2014	NO	SI		
	T1:1.5-9	28	30/01/2014	24/03/2014	25/03/2014	NO	SI		
1/2.00	T1:2.0-7	28	14/01/2014	25/03/2014	26/03/2014	NO	SI	NO	SI
	T1:2.0-8	28	14/01/2014	25/03/2014	26/03/2014	NO	SI		
	T1:2.0-9	28	14/01/2014	25/03/2014	26/03/2014	NO	SI		
COMERCIALES	TC-4	28	-----	26/03/2014	27/03/2014	NO	SI	NO	SI
	TC-5	28	-----	26/03/2014	27/03/2014	NO	SI		
	TC-6	28	-----	26/03/2014	27/03/2014	NO	SI		

Fuente: Elaboración propia

Nota (-----): No se tiene referencia de la fecha de fabricación de la teja comercial.

Luego de pasado las 24 horas se recuperan las tejas y son secadas por un período mínimo de 7 días para ensayarlas a flexión, ensayarlas antes de tiempo provocaría una incorrecta información de la resistencia. Este plazo esta mencionado en la normativa vista en el capítulo II.

#### 4.3.4 evaluación de flexión para encontrar dosificación óptima final.

Las tejas que pasaron los ensayos de durabilidad e impermeabilidad se ensayan a flexión, según indicaciones de la norma. Se repiten los pasos para este ensayo mencionados anteriormente; se comprobó que los ensayos de durabilidad e impermeabilidad han disminuido la resistencia de las tejas, resistencias que se puede comparar, con las resistencias antes de dichos ensayos.

La norma establece que las tejas deben pasar por todas estas pruebas y la resistencia final es la que debe ser igual o superior a 55 kg y 140 kg para tejas planas y onduladas respectivamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos de durabilidad e impermeabilidad se procede con el ensayo final de flexión de las tejas de proporción cemento arena; 1:1.5, 1:2 y comerciales.

##### 4.3.4.1. Ensayo final de flexión en la proporción cemento arena 1:1.5:

Para el ensayo de flexión de las tejas de proporción 1:1.5 se procedió de acuerdo a los procedimientos indicados anteriormente, tanto para las tejas planas y onduladas. Los resultados se muestran en el cuadro N° 4.12.

Se puede observar del cuadro N° 4.12, que las resistencias de las tejas onduladas en promedio es de 161 kg, valor que es mayor a lo pedido por la norma europea; las tejas planas dieron una resistencia promedio de 64 kg, valor que también es mayor a lo pedido por la norma europea; por tanto la proporción cemento arena 1:1.5 si pasa los requisitos de calidad de la norma europea; esta proporción es candidata para ser la óptima proporción cemento arena.

##### 4.3.4.2. Ensayo final de flexión en la proporción cemento arena 1:2:

Para el ensayo de flexión de las tejas de proporción 1:2 se procedió de acuerdo a los procedimientos indicados anteriormente, tanto para las tejas planas y onduladas. Los resultados se muestran en el cuadro N° 4.13.

Se puede observar del cuadro N° 4.13, que las resistencias de las tejas onduladas en promedio es de 125 kg, valor que es menor a lo pedido por la norma europea; las tejas planas dieron como resultado promedio un valor de 49 kg, valor que también es menor a lo pedido por la norma europea; por tanto las tejas de la proporción cemento arena 1:2 no pasan los requisitos de calidad pedido por la norma europea, esta proporción no es candidata para ser la óptima proporción cemento arena.

Pero como su resistencia antes del ensayo de durabilidad e impermeabilidad si pasan lo pedido por la norma europea, esta proporción se recomienda usar en zonas cálidas, más no en zonas frías.

#### 4.3.4.3. *Ensayo final de flexión en tejas comerciales:*

Para el ensayo de flexión de las tejas comerciales se procedió de acuerdo a los procedimientos indicados anteriormente, tanto para las tejas planas y onduladas. Los resultados se muestran en el cuadro N° 4.14.

Se puede observar del cuadro N° 4.14, que las resistencias de las tejas onduladas en promedio es de 141 kg, valor que está al límite de lo pedido por la norma europea, pero aun así pasa los requisitos de calidad de dicha norma; las tejas planas dieron como resultado promedio un valor de 36 kg, valor que es menor a lo pedido por la norma europea; entonces las tejas comerciales planas no pasan los requisitos de calidad de la norma europea;

Con estos resultados demostramos que la tejas comerciales onduladas si pueden usarse en zonas frías, en cambio las tejas comerciales planas no pueden usarse en este tipo de climas, pero si en climas cálidos, ya que su resistencia antes del ensayo de durabilidad e impermeabilidad si pasan lo pedido por la norma europea.

Entonces se concluye finalmente que la óptima proporción cemento arena que cumple los requisitos por la norma europea es la proporción cemento arena 1:1.5.

Cuadro N° 4.12: Ensayo de flexión en tejas proporción 1:1.5.

ESPECIMEN	TIPO	DIAS	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
T1:1.5-7	ONDULADA	28	30/01/2014	03/04/2014	49.0	24.0	1.0	153	161	140
T1:1.5-8		28	30/01/2014	03/04/2014	49.0	24.0	1.0	178		
T1:1.5-9		28	30/01/2014	03/04/2014	49.0	24.0	1.0	153		
T1:1.5-7	PLANA	28	30/01/2014	03/04/2014	40.0	20.0	1.0	57	64	55
T1:1.5-8		28	30/01/2014	03/04/2014	40.0	20.0	1.0	62		
T1:1.5-9		28	30/01/2014	03/04/2014	40.0	20.0	1.0	72		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4.13: Ensayo de flexión en tejas proporción 1:2.

ESPECIMEN	TIPO	DIAS	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
T1:2.0-7	ONDULADA	28	14/01/2014	03/04/2014	49.0	24.0	1.0	123	125	140
T1:2.0-8		28	14/01/2014	03/04/2014	49.0	24.0	1.0	128		
T1:2.0-9		28	14/01/2014	03/04/2014	49.0	24.0	1.0	123		
T1:2.0-7	PLANA	28	14/01/2014	03/04/2014	40.0	20.0	1.0	42	49	55
T1:2.0-8		28	14/01/2014	03/04/2014	40.0	20.0	1.0	52		
T1:2.0-9		28	14/01/2014	03/04/2014	40.0	20.0	1.0	52		

Fuente: Elaboración propia

NOTA: En las cargas de rotura está incluida el peso del accesorio de flexión respectivo: 2.89 kg para teja ondulada y 2.44 kg para teja plana.

Cuadro N° 4.14: Ensayo de flexión en tejas comerciales.

ESPECIMEN	TIPO	DIAS	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
TC-4	ONDULADA	28	----	03/04/2014	50.0	25.0	1.0	143	141	140
TC-5		28	----	03/04/2014	50.0	25.0	1.0	148		
TC-6		28	----	03/04/2014	50.0	25.0	1.0	133		
TC-4	PLANA	28	----	03/04/2014	40.0	20.0	1.0	37	36	55
TC-5		28	----	03/04/2014	40.0	20.0	1.0	32		
TC-6		28	----	03/04/2014	40.0	20.0	1.0	37		

Fuente: Elaboración propia

NOTA: En las cargas de rotura está incluida el peso del accesorio de flexión respectivo: 2.89 kg para teja ondulada y 2.44 kg para teja plana.

(----): No se tiene referencia de la fecha de fabricación de la teja comercial.

#### 4.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Del cuadro N° 4.15 se observa que la pérdida de resistencia es diferente tanto en proporción como en tipo de teja; podemos afirmar entonces que la pérdida de resistencia por el ensayo de durabilidad e impermeabilidad depende de la geometría de la teja y de la proporción cemento arena; y entre estas la que más importancia tiene es la geometría, en las tejas onduladas la pérdida de resistencia es menor que en las tejas planas; esto quiere decir que mientras mayor sea la altura de onda (d) de la teja, menor será la pérdida de resistencia.

Cuadro N° 4.15: Resistencias promedios antes y después del ensayo de durabilidad e impermeabilidad

DOSIFICACION	CARGA MAX. (kg)				% PERDIDA DE RESISTENCIA	
	ENSAYO DE FLEXION INICIAL		ENSAYO DE FLEXION FINAL		TEJA ONDULADA	TEJA PLANA
	TEJA ONDULADA	TEJA PLANA	TEJA ONDULADA	TEJA PLANA		
<b>1/1.50</b>	181	86	161	64	11.0%	25.3%
<b>1/2.00</b>	141	67	125	49	11.8%	27.2%
<b>COMERCIALES</b>	156	46	141	36	9.6%	21.8%

Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar está la proporción cemento arena de la tejas, se observa del cuadro N° 4.15 que entre las tejas comerciales y las fabricadas, las primeras han sufrido una menor pérdida de resistencia, las tejas comerciales están hechas con arena gruesa a comparación de las fabricadas que están hechas con arena media.

Entonces podemos decir que mientras más gruesa sea la arena, menor será la pérdida de resistencia por el ensayo de durabilidad e impermeabilidad.

Por último podemos observar que mientras más cemento tiene la proporción cemento arena, menor es la pérdida de resistencia, o mientras más arena tiene la mezcla mayor es la pérdida de resistencia por los ensayos de durabilidad e impermeabilidad.

#### 4.5 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

En el capítulo anterior se ve que la fabricación de tejas necesita una fluidez del 100% con un tiempo de vibrado promedio de tres minutos o antes de la segregación de la mezcla. Pero faltaba la óptima proporción cemento arena.

En este capítulo después de realizar el trabajo experimental con diferentes proporciones cemento arena y pasándolas por los diferentes ensayos de calidad; se logró encontrar que la óptima proporción cemento arena es de 1:1.5, con esta dosificación se plantea la implementación de un taller de producción.

Por otra parte la proporción cemento arena 1:2 no cumplió los ensayos de calidad, pero teniendo en cuenta que en zonas cálidas no se tiene en cuenta el ensayo de impermeabilidad y durabilidad, entonces los resultados demuestran que las tejas de la proporción cemento arena 1:2 si pasa la resistencia por la norma europea, por este motivo se recomienda usar esta proporción en zonas cálidas.

Por otra parte según los resultados las tejas comerciales planas sirven para climas cálidos; las tejas onduladas en cambio sí pasaron las pruebas de calidad, y solo este tipo de teja son recomendables para usarse en climas fríos.

## CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN DE UN TALLER DE PRODUCCIÓN.

La implementación de un taller de mediana escala que permita la fabricación de tejas de microcemento con los mayores rendimientos y estándares de calidad, se convierte en un factor importante.

Para lo cual es necesario del equipamiento y un esquema de producción adecuado, que garantice la fabricación de elementos y la resistencia especificada a menores costos de producción.

En esta etapa para obtener los rendimientos, volumen de producción y precio de las tejas, se realizara una simulación de producción, tomando tiempos en todo el proceso de fabricación, con esto datos se hará una simulación por computadora para encontrar varios valores que influyen en el costo final de la teja.

Para asegurar la calidad de las tejas de microcemento se deberá controlar, durante la fabricación, la dosificación de los materiales de la mezcla optima, la cual se recomienda se efectúe por peso; después de la cual se debe verificar su uniformidad en su dimensionamiento, textura superficial y acabado.

### 5.1 TALLER DE MEDIANA ESCALA.

De la investigación realizada se conoce las propiedades que debe cumplir la teja de microcemento, sus componentes y los ensayos que garantizan una teja de buena calidad al mercado local; cumpliendo con los requisitos de una de las normas más exigentes en el mundo, que es la normativa europea para tejas de microcemento.

Con estos datos se propone implementar un taller de producción; para esto se realizara simulaciones de producción, con el que se obtendrá rendimientos y volumen de producción, datos necesarios para calcular el costo final de cada teja. Costo que se busca que sea menor o igual que su similar del mercado local para ser competitivo.

Con estos datos se puede implementar un taller de producción, el cual usando los estudios realizados en esta investigación; la pequeña y micro empresa, puede comenzar a producir tejas y las piezas complementarias de microcemento, con los más altos estándares de calidad, generando así un ingreso a la entidad, contribuyendo de esta manera en la mejora continua de la ingeniería, en el área de materiales.

### 5.1.1. Equipamiento.

Para la implementar un taller de mediana escala que permita la fabricación de tejas de microcemento se necesitan los siguientes equipos:

#### 5.1.1.1. Mesa vibradora.

Una mesa vibradora metálica de 0.70 m x 0.70 m x 1.00 m, provisto de un motor eléctrico monofásico de 0.5 hp. Ver imagen N° 5.1.



Imagen N° 5.1: Mesa vibradora.

#### 5.1.1.2. Moldes metálicos.

Para fabricar tejas onduladas se utiliza moldes metálicos de 50 cm x 25 cm x 1 cm (largo, ancho, altura), y para fabricar tejas planas se utiliza moldes metálicos de 40 cm x 20 cm x 1 cm (largo, ancho, altura). Los moldes metálicos van junto con las láminas de plástico para evitar la adherencia entre la teja y el molde. Ver imagen N° 5.2.

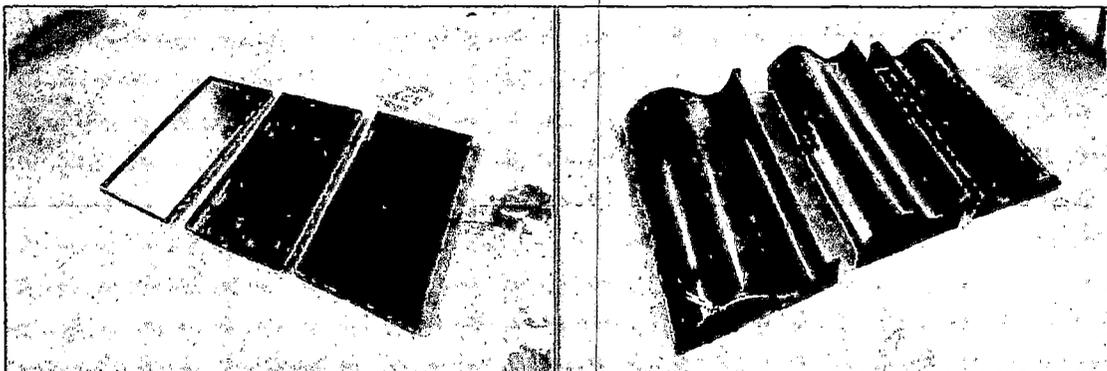


Imagen N° 5.2: Moldes metálicos para teja plana y ondulada respectivamente.

Estos moldes pueden ser de diferentes materiales como plástico, madera, fibra de vidrio, etc. Debe limpiarse después de cada jornada.

### 5.1.2. Área de producción.

Una producción de mediana escala móvil o estacionaria requiere contar con zonas apropiadas para las diferentes etapas de fabricación, éstas deben estar niveladas como mínimo y de conveniente accesos para camiones; se debe prever el abastecimiento de agua y fluido eléctrico.

De la experiencia obtenida en la etapa de investigación, para la implementación de un taller de producción se propone ambientar una zona mínima de 5 m x 8 m (40 m<sup>2</sup>) distribuida de la siguiente manera:

- Zonas de materiales y agregado.
- Zona de mezclado y fabricación.
- Zona de desmolde.
- Zona de curado y almacenado.

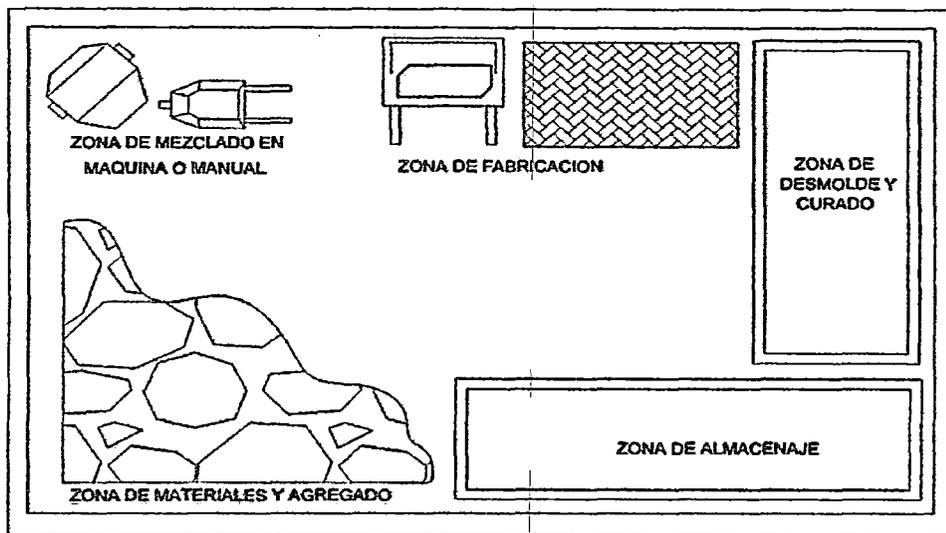


Figura Nº 5.1: Propuesta esquemática de distribución de áreas para el taller de producción.

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2 FLUJOGRAMA DE PRODUCCIÓN.

En todo proceso productivo de elementos para la construcción, se realiza una serie de actividades las cuales guardan una estrecha relación entre sí; la calidad del producto final dependerá de que los diferentes procesos se realicen cumpliendo con los requisitos técnicos, de la misma manera, en cada proceso desde las actividades iniciales hasta las finales, deben organizarse concatenadamente y por etapas claramente definidas, que concluyen en la elaboración del producto.

En nuestro caso el producto final es la teja de microcemento; la secuencia del desarrollo de las actividades de este proceso se denomina flujo de producción. De los trabajos hechos anteriormente se sabe las etapas para la fabricación de tejas, con esta experiencia ganada se arma un flujo de producción general, y con este flujo de producción podemos analizar las etapas en la cual se tomaran tiempos en la simulación de producción. Ver figura N° 5.2.

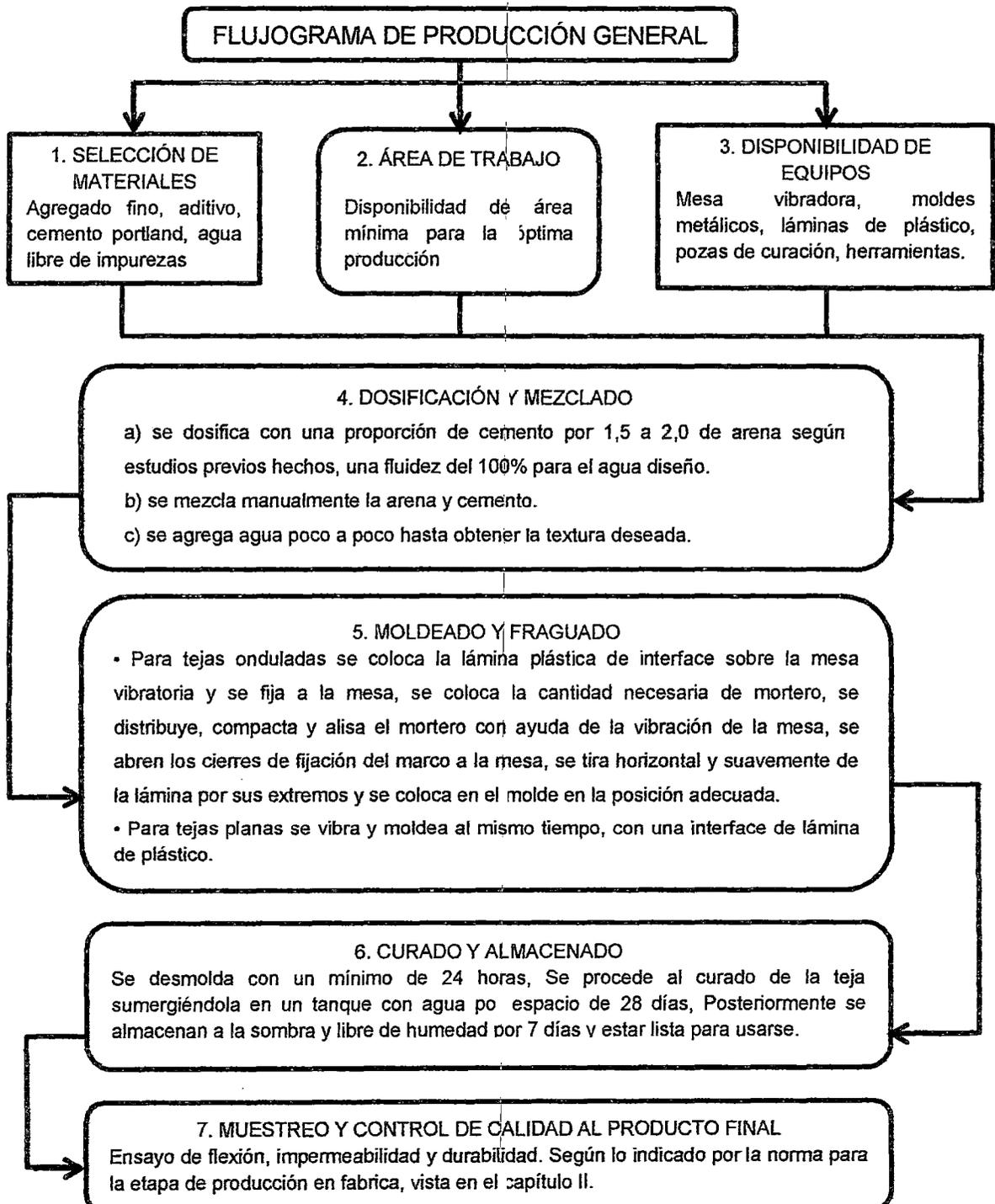


Figura N° 5.2: Flujoograma de producción general. Fuente: Elaboración propia.

Según el flujo de producción las etapas a optimizar son desde la dosificación hasta el almacenado; entonces analizaremos estas etapas más detalladamente y mediremos tiempos en la simulación de producción.

### 5.3 SIMULACIÓN DE PRODUCCIÓN.

En esta etapa tenemos que tener en cuenta varias cosas, para que el proceso sea real, y algunas consideraciones respecto al mortero:

- La máquina vibradora fábrica las tejas de uno en uno.
- Las tejas onduladas necesitan la fluidez inicial del mortero, que la teja plana; por tanto la mezcla debe ser lo más fresco posible.
- El tiempo de fraguado del mortero se observó que es de 27 minutos, tiempo en el cual pierde su fluidez y ya no se puede hacer tejas onduladas ni planas.
- La cantidad de mezcla a hacer debe ser lo suficiente como para que en ese tiempo se haya hecho un número entero de tejas: plana, ondulada o ambas; caso contrario si existiera aún más mezcla, esta tendría que desecharse por no contar con la fluidez necesaria para una buena trabajabilidad.
- El tiempo de fabricación de cada teja plana o cada teja ondulada son diferentes, por tanto la cantidad de mezcla, el tiempo de fraguado y el número de tejas que se hace en ese tiempo varían de la mano.

#### 5.3.1 Secuencias de simulación.

El proceso de producción comienza con el pesado de materiales, comenzando con el pesado de la arena, cemento y agua; el segundo paso es el mezclado, de ahí pasaremos a fabricar primero las tejas onduladas (esto porque la mezcla pierde fluidez mientras transcurre el tiempo y las tejas onduladas requieren la fluidez más que las tejas planas), que comprende las etapas de vibrado y moldeado; luego fabricaremos las tejas planas, donde el proceso de vibrado y moldeado es al mismo tiempo; luego pasamos al proceso de secado en molde; luego al desmoldado y puesta a curar, siguiendo con el curado, y finalizando con el proceso de secado y almacenado (ver figura N° 5.3). Todos estos pasos serán tomados en cuenta en el proceso de producción para realizar la simulación (ver imagen N° 5.3).

Para la etapa de simulación se fabricaran tres tejas onduladas y tres tejas planas por tanda, se harán seis tandas en total y finalmente se promediarán estos tiempos.

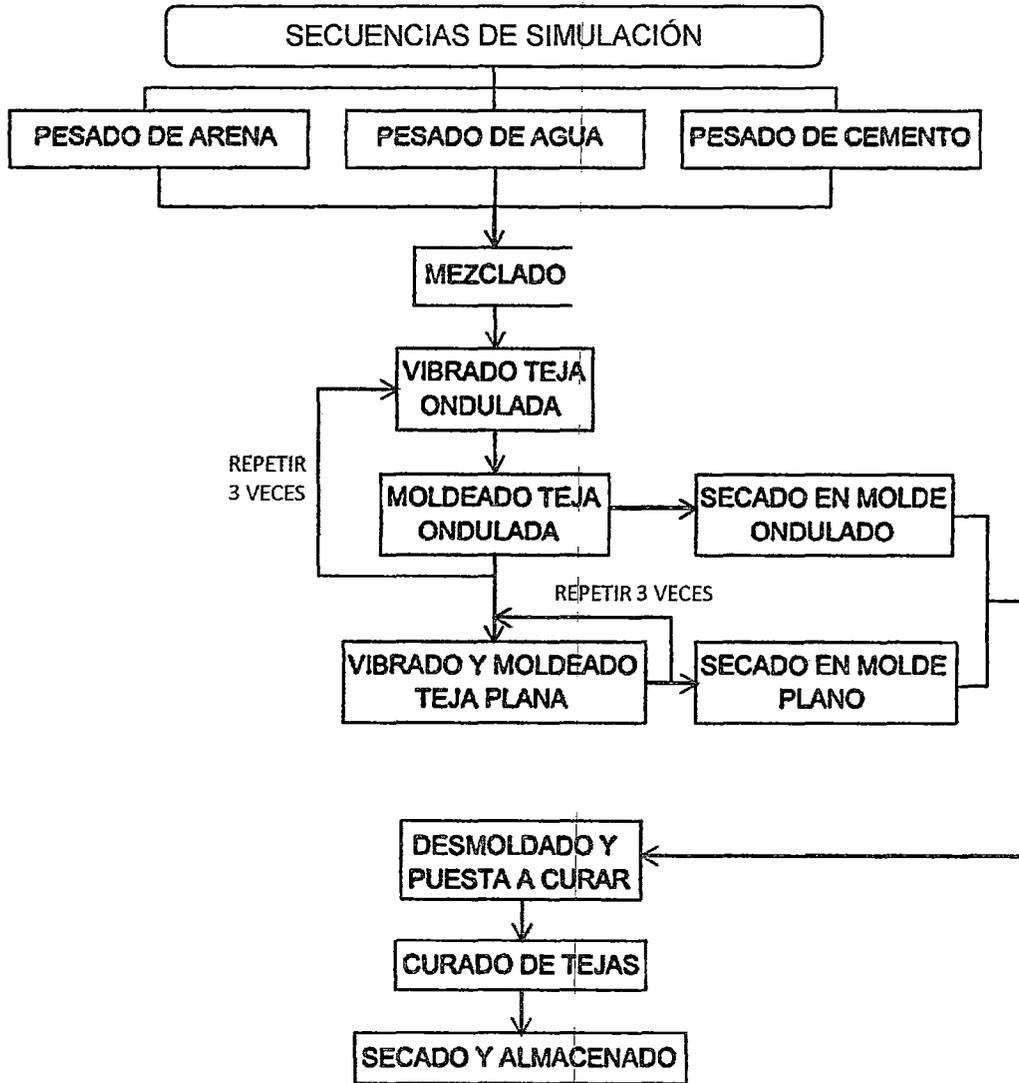


Figura Nº 5.3: Secuencias a seguir en la simulación. Fuente: Elaboración propia.

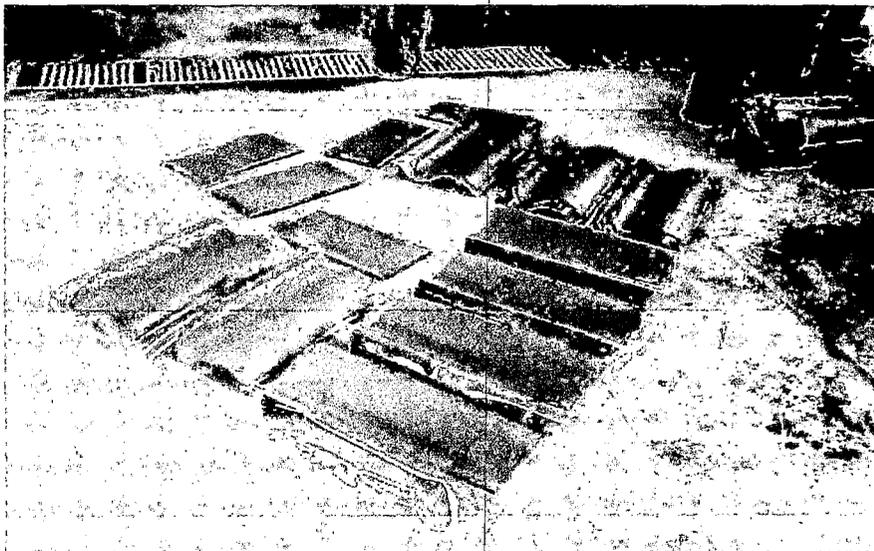


Imagen Nº 5.3: Tejas onduladas y planas fabricadas en plena etapa de simulación.

Los tiempos promedios de las seis tandas tomados en cada etapa de la simulación se muestran a continuación: pesado de materiales (ver cuadro N 5.1), mezclado (ver cuadro N 5.2), fabricación de tejas onduladas (ver cuadro N 5.3), fabricación de tejas planas (ver cuadro N 5.4), proceso de secado en molde (ver cuadro N 5.5), desmoldado y puesta a curar (ver cuadro N 5.6), proceso de curado (ver cuadro N 5.7), y por último el proceso de secado y almacenado (ver cuadro N 5.8).

Cuadro Nº 5.1: Tiempos promedios de la secuencia pesado de materiales.

PESADO DE MATERIALES	AGREGADO	H. INICIO	H. FINAL	DURACION
	ARENA	11:32:00	11:37:00	00:05:00
	CEMENTO	11:38:00	11:43:00	00:05:00
	AGUA	11:50:00	11:53:00	00:03:00
TOTAL	00:13:00			

Formato (hh:mm:ss). Fuente: Elaboración propia.

Cuadro Nº 5.2: Tiempos promedios de la secuencia mezclado.

MEZCLADO		H. INICIO	H. FINAL	DURACION
		11:55:00	12:06:00	00:11:00
TOTAL	00:11:00			

Formato (hh:mm:ss). Fuente: Elaboración propia.

Cuadro Nº 5.3: Tiempos promedios de la secuencia fabricación teja ondulada.

FABRICACION TEJAS ONDULADAS	PROCESO	# TEJA	H. INICIO	H. FINAL	DURACION
	VIBRADO	T1	12:14:00	12:17:16	00:03:16
	MOLDEADO		12:18:00	12:18:12	00:00:12
	VIBRADO	T2	12:19:00	12:22:24	00:03:24
	MOLDEADO		12:23:10	12:23:25	00:00:15
	VIBRADO	T3	12:24:00	12:27:15	00:03:15
	MOLDEADO		12:28:00	12:28:10	00:00:10
TOTAL	00:10:32				

Formato (hh:mm:ss). Fuente: Elaboración propia.

Cuadro Nº 5.4: Tiempos promedios de la secuencia fabricación teja plana.

FABRICACION TEJAS PLANAS	PROCESO	# TEJA	H. INICIO	H. FINAL	DURACION
	VIBRADO Y MOLDEADO	T4	12:29:00	12:32:00	00:03:00
	VIBRADO Y MOLDEADO	T5	12:33:00	12:36:05	00:03:05
	VIBRADO Y MOLDEADO	T6	12:37:00	12:40:00	00:03:00
TOTAL	00:09:05				

Formato (hh:mm:ss). Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 5.5: Tiempos promedios de la secuencia secado en molde

	PROCESO	# TEJA	H. INICIO	H. FINAL	DURACION
PROCESO DE SECADO EN MOLDE	SECADO	T1	12:19:00	12:19:00	24:00:00
	SECADO	T2	12:23:00	12:23:00	24:00:00
	SECADO	T3	12:27:00	12:27:00	24:00:00
	SECADO	T4	12:33:00	12:33:00	24:00:00
	SECADO	T5	12:36:00	12:36:00	24:00:00
	SECADO	T6	12:41:00	12:41:00	24:00:00
TOTAL	24:00:00				

Formato (hh:mm:ss). Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 5.6: Tiempos promedios de la secuencia desmoldado y puesta a curar

	PROCESO	# TEJA	H. INICIO	H. FINAL	DURACION
DESMOLDADO Y PUESTA A CURAR	DESMOLDADO	T1	01:00:00	01:00:05	00:00:05
		T2	01:00:07	01:00:12	00:00:05
		T3	01:00:14	01:00:19	00:00:05
		T4	01:00:21	01:00:26	00:00:05
		T5	01:00:28	01:00:33	00:00:05
		T6	01:00:35	01:00:40	00:00:05
	PUESTA EN POZA DE CURADO	T1	01:01:00	01:03:00	00:02:00
		T2			
		T3			
		T4	01:04:00	01:06:00	00:02:00
		T5			
		T6			
TOTAL	00:04:30				

Formato (hh:mm:ss). Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 5.7: Tiempos promedios de la secuencia curado

	PROCESO	# TEJA	H. INICIO	H. FINAL	DURACION (días)
PROCESO DE CURADO	CURADO	T1	01:03:00	01:03:00	28
		T2	01:03:00	01:03:00	28
		T3	01:03:00	01:03:00	28
		T4	01:06:00	01:06:00	28
		T5	01:06:00	01:06:00	28
		T6	01:06:00	01:06:00	28
TOTAL (días)	28				

Formato (hh:mm:ss). Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 5.8: Tiempos promedios de la secuencia secado y almacenado

		# TEJA	H. INICIO	H. FINAL	DURACION (días)
		PROCESO DE SECADO Y ALMACENADO	T1	01:03:00	01:03:00
T2					
T3					
T4	01:06:00		01:06:00	7	
T5					
T6					
TOTAL (días)	7				

Formato (hh:mm:ss). Fuente: Elaboración propia.

A las tejas fabricadas en la etapa de simulación también se le realizó ensayo de flexión para constatar datos, pero no se hizo ensayo de durabilidad e impermeabilidad; se ensayaron a 14 y 28 días. Los resultados de este ensayo se muestran en el anexo B. Ver cuadros N° B1 y B2.

### 5.3.2 Análisis de rendimiento y tiempo de producción.

Con estos datos podemos estimar la cantidad de tejas que se puede realizar y el tiempo en el cual se harán; datos importantes para saber el costo de producción de la teja. Entonces haremos dos análisis, primero con un solo operario y luego con un operario y un peón; al final veremos cómo influye en el rendimiento y costo final de la teja. Como se hizo en la simulación, en este análisis también se toma las siguientes consideraciones:

- Se realiza el análisis para un día que después será estimada para un mes.
- La jornada de trabajo es de 8 horas, 5 días a la semana.
- Cada tanda se estima para cierta cantidad de tejas según el tipo de teja y el tiempo de fraguado que es de 27 minutos.
- Se hará un análisis para producir solo tejas planas, otra de solo tejas onduladas y otra de ambas cuya unidad se llamara dúo, cada dúo consta de una teja ondulada y una teja plana.

#### 5.3.2.1. Simulación de producción con un operario.

Se analizará solo la parte desde el pesado de materiales hasta culminar la última teja de la última tanda, esto con un solo operario. Veremos también si conviene fabricar, solo tejas onduladas (ver cuadro N° 5.9), o solo planas (ver cuadro N° 5.10), o ambas medidas en dúo (ver cuadro N° 5.11); el análisis final de costos nos dirá estos datos.

Cuadro Nº 5.9: Tiempo de fabricación de tejas onduladas con un operario en un día.

# TANDA	PESADO (min)	MEZCLADO (min)	VTO1 (min)	MTO1 (min)	VTO2 (min)	MTO2 (min)	VTO3 (min)	MTO3 (min)	VTO4 (min)	MTO4 (min)	VTO5 (min)	MTO5 (min)	VTO6 (min)	MTO6 (min)	VTO7 (min)	MTO7 (min)	# TEJAS	MESCLA (min)	HORAS ACUM.
1 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	7	24.5	0.81
2 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	7	24.5	1.62
3 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	7	24.5	2.43
4 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	7	24.5	3.23
5 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	7	24.5	4.04
6 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	7	24.5	4.85
7 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	7	24.5	5.66
8 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	7	24.5	6.47
9 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	7	24.5	7.28
10 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2					5	24.5	7.96

TOTAL DE TEJAS	CONSIDERADAS
68.00	70.00

Fuente: Elaboración propia.

VTO : Vibrado de teja ondulada.

MTO : Moldeado de teja ondulada.

Cuadro N° 5.10: Tiempo de fabricación de tejas planas con un operario en un día.

# TANDA	PESADO (min)	MEZCLADO (min)	TP1 (min)	TP2 (min)	TP3 (min)	TP4 (min)	TP5 (min)	TP6 (min)	TP7 (min)	TP8 (min)	# TEJAS	MESCLA (min)	HORAS ACUM.
1 TANDA	13	11	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	8	24.24	0.80
2 TANDA	13	11	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	8	24.24	1.61
3 TANDA	13	11	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	8	24.24	2.41
4 TANDA	13	11	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	8	24.24	3.22
5 TANDA	13	11	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	8	24.24	4.02
6 TANDA	13	11	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	8	24.24	4.82
7 TANDA	13	11	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	8	24.24	5.63
8 TANDA	13	11	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	8	24.24	6.43
9 TANDA	13	11	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	8	24.24	7.24
10 TANDA	13	11	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03		7	24.24	7.99

TOTAL DE TEJAS	CONSIDERADAS
79.00	80.00

Fuente: Elaboración propia.

TP : Teja plana.

Cuadro Nº 5.11: Tiempo de fabricación de tejas onduladas y planas con un operario en un día.

# TANDA	PESADO (min)	MEZCLADO (min)	VTO1 (min)	MTO1 (min)	VTO2 (min)	MTO2 (min)	VTO3 (min)	MTO3 (min)	VTO4 (min)	MTO4 (min)	TP (min)	TP2 (min)	TP3 (min)	TP4 (min)	# TEJAS	MESCLA (min)	HORAS ACUM.
1 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.03	3.03	3.03	3.03	8	26.1	0.84
2 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.03	3.03	3.03	3.03	8	26.1	1.67
3 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.03	3.03	3.03	3.03	8	26.1	2.51
4 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.03	3.03	3.03	3.03	8	26.1	3.34
5 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.03	3.03	3.03	3.03	8	26.1	4.18
6 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.03	3.03	3.03	3.03	8	26.1	5.01
7 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.03	3.03	3.03	3.03	8	26.1	5.85
8 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.03	3.03	3.03	3.03	8	26.1	6.68
9 TANDA	13	11	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.3	0.2	3.03	3.03	3.03	3.03	8	26.1	7.52
10 TANDA	13	11	3.3	0.2							3.03				2	26.1	8.02

TOTAL DE TEJAS	CONSIDERADAS
74.00	80.00

Fuente: Elaboración propia.

VTO : Vibrado de teja ondulada.

MTO : Moldeado de teja ondulada.

TP : Teja plana.

De la simulación realizada podemos obtener el volumen de producción, los resultados se muestran en el cuadro N° 5.12

Cuadro N° 5.12: Resumen de fabricación con un operario.

COMBINACION	TEJAS/DIA	TANDAS/DIA	TEJAS/TANDA	TEJAS/MES	TANDAS/MES
TEJA PLANA	80	10	8	1600	200
TEJA ONDULADA	70	10	7	1400	200
AMBOS TIPOS	80	10	8	1600	200

Fuente: Elaboración propia.

Como vemos del cuadro N° 5.12 la producción de tejas onduladas es menor que las otras, pero el precio para llegar a eso es lo que determinara cuál de las tres opciones es lo óptimo tanto en costo y ganancia; menor gasto y mayor ganancia.

#### 5.3.2.2. Simulación de producción con un operario y un peón.

De manera similar y con las mismas consideraciones tomadas anteriormente se hará el análisis pero en este caso además del operario habrá un peón; para la elaboración de solo tejas planas, solo tejas onduladas y ambas en proporciones iguales medidas en dúo. El peón al comenzar ayudara a disminuir el tiempo de pesado de materiales, luego se avocara a pesar y mezclar la tanda que viene; esto lo hará de tal modo que cuando termine de mezclar, el operario ya haya terminado de fabricar la última teja de la última tanda.

Entonces los resultados de la simulación de producción de solo tejas onduladas (ver cuadro N° 5.13), solo tejas planas (ver cuadro N° 5.14) y ambas medidas en dúo (ver cuadro N° 5.15), se muestran a continuación:

Cuadro N° 5.13: Tiempo de fabricación de tejas onduladas con un operario y un peón en un día.

PERSONAL	OPERARIO																			PEON			
# TANDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1	2	3-18	19
PESADO	8.0																			5	13	13	13
MEZCLADO	11.0																				11	11	11
VTO1	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3				
MTO1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
VTO2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3				
MTO2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
VTO3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3				
MTO3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
VTO4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3				
MTO4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
VTO5	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3				
MTO5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
VTO6	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3				
MTO6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
VTO7	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3				
MTO7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2				
# TEJAS	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5				
MESCLA	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	17.5				
HORAS ACUM.	0.73	1.13	1.54	1.95	2.36	2.77	3.18	3.58	3.99	4.40	4.81	5.22	5.63	6.03	6.44	6.85	7.26	7.67	7.96				

TOTAL TEJAS	CONSIDERADAS
131	<b>133</b>

Fuente: Elaboración propia.

VTO : Vibrado de teja ondulada.

MTO : Moldeado de teja ondulada.

Cuadro N° 5.14: Tiempo de fabricación de tejas planas con un operario y un peón en un día.

PERSONAL	OPERARIO																			PEON				
# TANDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1	2	3-18	19	
PESADO	8																				5	13	13	13
MEZCLADO	11																					11	11	11
TP1	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03					
TP2	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03					
TP3	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03					
TP4	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03					
TP5	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03					
TP6	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03					
TP7	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03					
TP8	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03					
# TEJAS	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
MESCLA	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24	24.24					
HORAS ACUM.	0.72	1.12	1.53	1.93	2.34	2.74	3.14	3.55	3.95	4.36	4.76	5.16	5.57	5.97	6.38	6.78	7.18	7.59	7.99					

TOTAL TEJAS	CONSIDERADAS
152	152

Fuente: Elaboración propia.

TP : Teja plana.

Cuadro Nº 5.15: Tiempo de fabricación de tejas onduladas y planas con un operario y un peón en un día.

PERSONAL	OPERARIO																		PEON			
# TANDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	1	2	3-17	18
PESADO	8.00																		5.00	13.00	13.00	13.00
MEZCLADO	11.00																			11.00	11.00	11.00
VTO1	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30				
MTO1	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20				
VTO2	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30				
MTO2	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20				
VTO3	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30				
MTO3	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20				
VTO4	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30				
MTO4	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20				
TP1	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03				
TP2	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03				
TP3	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03				
TP4	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03				
# TEJAS	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8				4
MESCLA	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12	26.12				13.06
HORAS ACUM.	0.75	1.19	1.62	2.06	2.49	2.93	3.36	3.80	4.23	4.67	5.11	5.54	5.98	6.41	6.85	7.28	7.72	7.94				

TOTAL TEJAS	CONSIDERADAS
140	<b>144</b>

Fuente: Elaboración propia.

VTO : Vibrado de teja ondulada.

MTO : Moldeado de teja ondulada.

TP : Teja plana.

De los análisis de producción con un operario y un peón tenemos el volumen de producción respectivo, los resultados se muestran en el cuadro N° 5.16.

Cuadro N° 5.16: Resumen de fabricación con un operario y un peón.

COMBINACION	TEJAS/DIA	TANDAS/DIA	TEJAS/TANDA	TEJAS/MES	TANDAS/MES
TEJA PLANA	152	19	8	3040	380
TEJA ONDULADA	133	19	7	2660	380
AMBOS TIPOS	144	18	8	2880	360

Fuente: Elaboración propia.

Como vemos del cuadro N° 5.16, la mayor producción se da con las tejas planas, pero a diferencia del cuadro N° 5.12, la producción de teja ondulada y la de ambos tipos no es igual, aquí la producción de ambas tejas es mayor que si solo fabricáramos tejas onduladas.

Pero todo esto se compara con los costos de fabricación para cada análisis.

#### 5.4 COSTO DE PRODUCCIÓN.

Cada análisis que se hizo anteriormente tiene diferentes costos de operación, estos costos unitarios será analizados para poder determinar que combinación de tejas se debe fabricar.

##### 5.4.1. Análisis de costo unitario con un operario.

Como ya se tiene la dosificación para una teja plana y para teja ondulada, estas cantidades serán usadas en la determinación del costo de producción a continuación realizaremos el análisis de costo unitario para la combinación teja ondulada (ver cuadro N° 5.17), teja plana (ver cuadro N° 5.18), y teja ondulada – plana (ver cuadro N° 5.19), respectivamente.

Para este análisis vamos asumir las siguientes consideraciones:

- La jornada diaria es de 8 horas 5 días a la semana.
- Pago mensual al operario S/. 1000.
- Los moldes tienen una duración de 10 años, costando S/. 80 cada molde ondulado y S/. 45 cada molde plano; adicionando S/. 0.05 por la lámina plástica
- La máquina vibradora tiene un valor de S/. 3000 y una duración de 5 años.

**CUADRO N° 5.17. COSTO UNITARIO FABRICACION DE TEJA ONDULADA CON UN OPERARIO**

Rendimiento Jornada	Und 8	h/día	M.O. T. O. 70		EQ. T.O. 70		Parcial
			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	
<b>Descripción Recurso</b>							
<b>Mano de Obra</b>							
Operario			hh.	1.0	0.11429	6.25	0.7143
							<b>0.71</b>
<b>Materiales</b>							
Arena			m3		0.00093	45.00	0.0419
Cemento Portland Tipo I			bol		0.02325	19.50	0.4533
Agua			m3		0.00046	1.03	0.0005
							<b>0.50</b>
<b>Equipos</b>							
Meza Vibradora 0.5 hp			hm	1.0	0.11429	0.31	0.0357
Molde Teja Ondulada + lamina plastica			Und		1.00000	0.0005	0.0005
Herramientas Manuales			%MO		3.00000	0.71	0.0214
							<b>0.06</b>
<b>COSTO TOTAL por Und</b>				<b>SI. 1.27</b>			

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO N° 5.18. COSTO UNITARIO FABRICACIÓN DE TEJA PLANA CON UN OPERARIO**

Rendimiento Jornada	Und 8	h/día	M.O. T. O. 80		EQ. T.O. 80		Parcial
			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	
<b>Descripción Recurso</b>							
<b>Mano de Obra</b>							
Operario			hh.	1.0	0.10000	6.25	0.6250
							<b>0.63</b>
<b>Materiales</b>							
Arena			m3		0.00058	45.00	0.0259
Cemento Portland Tipo I			bol		0.01440	19.50	0.2808
Agua			m3		0.00029	1.03	0.0003
							<b>0.31</b>
<b>Equipos</b>							
Meza Vibradora 0.5 hp			hm	1.0	0.10000	0.31	0.0313
Molde Teja Plana + lamina plastica			Und		1.00000	0.0002	0.0002
Herramientas Manuales			%MO		3.00000	0.63	0.0188
							<b>0.05</b>
<b>COSTO TOTAL por Und</b>				<b>SI. 0.98</b>			

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO Nº 5.19. COSTO UNITARIO FABRICACION DE TEJA ONDULADA Y PLANA CON UN OPERARIO**

Rendimiento	Duos		M.O. T. O. 40	EQ. T.O. 40			
Jornada	8	h/día	M.O. T. P. 40	EQ. T.P. 40			
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial
<b>Mano de Obra</b>							
Operario			hh.	1.0	0.10000	6.25	0.6250
							<b>0.63</b>
<b>Materiales</b>							
Arena			m3		0.00151	45.00	0.0678
Cemento Portland Tipo I			bol		0.03765	19.50	0.7341
Agua			m3		0.00075	1.03	0.0008
							<b>0.80</b>
<b>Equipos</b>							
Meza Vibradora 0.5 hp			hm	1.0	0.10000	0.31	0.0313
Molde Teja Ondulada + lamina plastica			Und		1.00000	0.0008	0.0008
Molde Teja Plana + lamina plastica			Und		1.00000	0.0005	0.0005
Herramientas Manuales			%MO		3.00000	0.63	0.0188
							<b>0.05</b>
<b>COSTO TOTAL por Duo</b>							<b>S/. 1.48</b>

Fuente: Elaboración propia.

**5.4.2. Análisis de costo unitario con un operario y un peón.**

De la misma manera se realiza para el análisis con un operario y un peón, el siguiente análisis también se realizara para las combinaciones, teja ondulada (ver cuadro Nº 5.20), teja plana (ver cuadro Nº 5.21), y teja ondulada – plana (ver cuadro Nº 5.22), respectivamente y al igual que el anterior análisis se tomara las siguientes consideraciones:

- La jornada diaria es de 8 horas 5 días a la semana.
- Pago mensual al operario S/. 1000.
- Pago mensual al peón S/. 800.
- Los moldes tienen una duración de 10 años, costando S/. 80 cada molde ondulado y S/. 45 cada molde plano; adicionando S/. 0.05 a cada uno por la lámina plástica
- La máquina vibradora tiene un valor de S/. 3000 y una duración de 5 años.

**CUADRO N° 5.20. COSTO UNITARIO FABRICACION DE TEJA ONDULADA CON UN OPERARIO Y UN PEON**

Rendimiento Jornada	Und 8	h/dia	M.O. T. O. 133	EQ. T.O. 133			
			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial
<b>Descripción Recurso</b>							
<b>Mano de Obra</b>							
Operario			hh.	1.0	0.06015	6.25	0.3759
Peon			hh.	1.0	0.06015	5.00	0.3008
							<b>1.13</b>
<b>Materiales</b>							
Arena			m3		0.00093	45.00	0.0419
Cemento Portland Tipo I			bol		0.02325	19.50	0.4533
Agua			m3		0.00046	1.03	0.0005
							<b>0.50</b>
<b>Equipos</b>							
Meza Vibradora 0.5 hp			hm	1.0	0.06015	0.31	0.0188
Molde Teja Ondulada + lamina plastica			Und		1.00000	0.0003	0.0003
Herramientas Manuales			%MO		3.00000	1.13	0.0338
							<b>0.05</b>
<b>COSTO TOTAL por Und</b>			<b>S/. 1.68</b>				

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO N° 5.21. COSTO UNITARIO FABRICACION DE TEJA PLANA CON UN OPERARIO Y UN PEON**

Rendimiento Jornada	Und 8	h/dia	M.O. T. O. 152	EQ. T.O. 152			
			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial
<b>Descripción Recurso</b>							
<b>Mano de Obra</b>							
Operario			hh.	1.0	0.05263	6.25	0.3289
Peon			hh.	1.0	0.05263	5.00	0.2632
							<b>0.99</b>
<b>Materiales</b>							
Arena			m3		0.00058	45.00	0.0259
Cemento Portland Tipo I			bol		0.01440	19.50	0.2808
Agua			m3		0.00029	1.03	0.0003
							<b>0.31</b>
<b>Equipos</b>							
Meza Vibradora 0.5 hp			hm	1.0	0.05263	0.31	0.0164
Molde Teja Plana + lamina plastica			Und		1.00000	0.0001	0.0001
Herramientas Manuales			%MO		3.00000	0.99	0.0296
							<b>0.05</b>
<b>COSTO TOTAL por Und</b>			<b>S/. 1.34</b>				

Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO N° 5.22. COSTO UNITARIO FABRICACION DE TEJA ONDULADA Y PLANA CON UN OPERARIO Y UN PEON**

Rendimiento	Duos		M.O. T. O.	72	EQ. T.O.	72		
Jornada	8	h/día	M.O. T. P.	72	EQ. T.P.	72		
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial	
<b>Mano de Obra</b>								
Operario			hh.	1.0	0.05556	6.25		0.3472
Peon			hh.	1.0	0.05556	5.00		0.2778
								<b>0.63</b>
<b>Materiales</b>								
Arena			m3		0.00151	45.00		0.0678
Cemento Portland Tipo I			bol		0.03765	19.50		0.7341
Agua			m3		0.00075	1.03		0.0008
								<b>0.80</b>
<b>Equipos</b>								
Meza Vibradora 0.5 hp			hm	1.0	0.05556	0.31		0.0174
Molde Teja Ondulada + lamina plastica			Und		1.00000	0.0005		0.0005
Molde Teja Plana + lamina plastica			Und		1.00000	0.0003		0.0003
Herramientas Manuales			%MO		3.00000	0.63		0.0188
								<b>0.04</b>
<b>COSTO TOTAL por Duo</b>				<b>S/. 1.46</b>				

Como hemos visto los precios son variables según la combinación a fabricar y también el número de personal.

Como sabemos para cada teja según el tipo y la combinación entra una cierta cantidad de material, y esa cantidad es la misma que se encontró en la proporción óptima. Los análisis anteriores se realizó con los siguientes pesos (ver cuadro N° 5.23), que cumplen con la fluidez y proporción cemento arena óptimos encontrados en el capítulo anterior.

. Cuadro N° 5.23: Pesos de materiales por cada combinación.

RELACION	1/1.50					
COMBINACION	PESOS POR TEJA			PESOS POR TEJA		
	CEMENTO (Kg)	ARENA (Kg)	AGUA (Kg)	CEMENTO (bol)	ARENA (m3)	AGUA (m3)
T PLANA	0.61	0.92	0.29	0.0144	0.0006	0.0003
T ONDULADA	0.99	1.48	0.46	0.0232	0.0009	0.0005
ONDULADA - PLANA	1.60	2.40	0.75	0.0376	0.0015	0.0008

Fuente: Elaboración propia.

## 5.5 .COSTO DE VENTA.

Con el análisis de costos unitarios que se hizo, se tiene la información para poder comparar y decidir la combinación a fabricar y el personal a contratar. Ver cuadro N° 5.24.

La terminación de unidad dúo, significa que por esa unidad producida existe una teja plana y una ondulada, el costo unitario en este caso es el valor de una teja plana y una ondulada; por eso en este caso en particular, los precios de cada teja son iguales, y es la mitad del costo unitario que se muestra.

Cuadro N° 5.24: Costo de producción según combinación y personal.

PERSONAL	COMBINACION	UND.	PRODUCCION POR MES	C.U.	C. DIRECTO
UN OPERARIO	PLANA	Und.	1600	S/. 0.98	S/. 1,571.64
	ONDULADA	Und.	1400	S/. 1.27	S/. 1,774.62
	ONDULADA - PLANA	Dúos	800	S/. 1.48	S/. 1,183.22
UN OPERARIO Y UN PEON	PLANA	Und.	3040	S/. 1.34	S/. 4,073.78
	ONDULADA	Und.	2660	S/. 1.68	S/. 4,459.18
	ONDULADA - PLANA	Dúos	1440	S/. 1.46	S/. 2,108.96

Fuente: Elaboración propia.

Entonces para la venta se tomara algunas consideraciones: se asumirá como gastos generales 3%, utilidad 10%, e I.G.V. 18%. Entonces obtenemos los precios de venta final de las tejas. Ver cuadro N° 5.25.

Del cuadro N° 5.25 se puede observar que con un operario la combinación ondulada es la que genera más utilidad; al igual que con un operario y un peón, la combinación que genera más utilidad es la combinación ondulada. Por tanto si se ve desde el punto de vista de utilidad la combinación ondulada es la que más rinde y entre los dos, la que se produce con un operario y un peón es la que más da.

También se puede observar que el volumen de producción por mes es mayor con un operario y un peón, que el volumen de producción con un operario, esto mismo sucede con las utilidades; pero al final el precio de venta final por cada teja es mayor que las tejas comerciales, eso lo hace perder competitividad, pero también hay que considerar que las tejas fabricadas son de mayor calidad que las tejas comerciales, los ensayos del capítulo anterior así lo demuestran, entonces el precio puede estar justificado con ese plus extra que tiene.

Cuadro N° 5.25: Costo de venta final – una maquina vibradora.

PERSONAL COMBINACION	UN OPERARIO			UN OPERARIO Y UN PEON		
	PLANA	ONDULADA	ONDULADA - PLANA	PLANA	ONDULADA	ONDULADA - PLANA
<b>COSTO DIRECTO S/.</b>	<b>1571.64</b>	<b>1774.62</b>	<b>1183.22</b>	<b>4073.78</b>	<b>4459.18</b>	<b>2108.96</b>
GASTOS GENERALES S/.	47.15	53.24	35.50	122.21	133.78	63.27
UTILIDAD S/.	157.16	177.46	118.32	407.38	445.92	210.90
<b>SUB TOTAL S/.</b>	<b>1775.95</b>	<b>2005.32</b>	<b>1337.04</b>	<b>4603.37</b>	<b>5038.87</b>	<b>2383.13</b>
IGV S/.	319.67	360.96	240.67	828.61	907.00	428.96
<b>TOTAL S/.</b>	<b>2095.63</b>	<b>2366.28</b>	<b>1577.70</b>	<b>5431.98</b>	<b>5945.87</b>	<b>2812.09</b>
<b>PRODUCCION POR MES</b>	<b>1600.00</b>	<b>1400.00</b>	<b>800.00</b>	<b>3040.00</b>	<b>2660.00</b>	<b>1440.00</b>
UND.	Und.	Und.	Dúo.	Und.	Und.	Dúo.
COSTO DE VENTA FINAL POR UND S/.	1.31	1.69	1.97	1.79	2.24	1.95
<b>COSTO DE VENTA FINAL POR CADA TEJA S/.</b>	<b>1.31</b>	<b>1.69</b>	<b>0.99</b>	<b>1.79</b>	<b>2.24</b>	<b>0.98</b>

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados podemos comparar precios de venta final de tejas entre las distintas combinaciones con diferentes números de personal, y a la vez con las tejas comerciales. Ver gráfico 5.1.

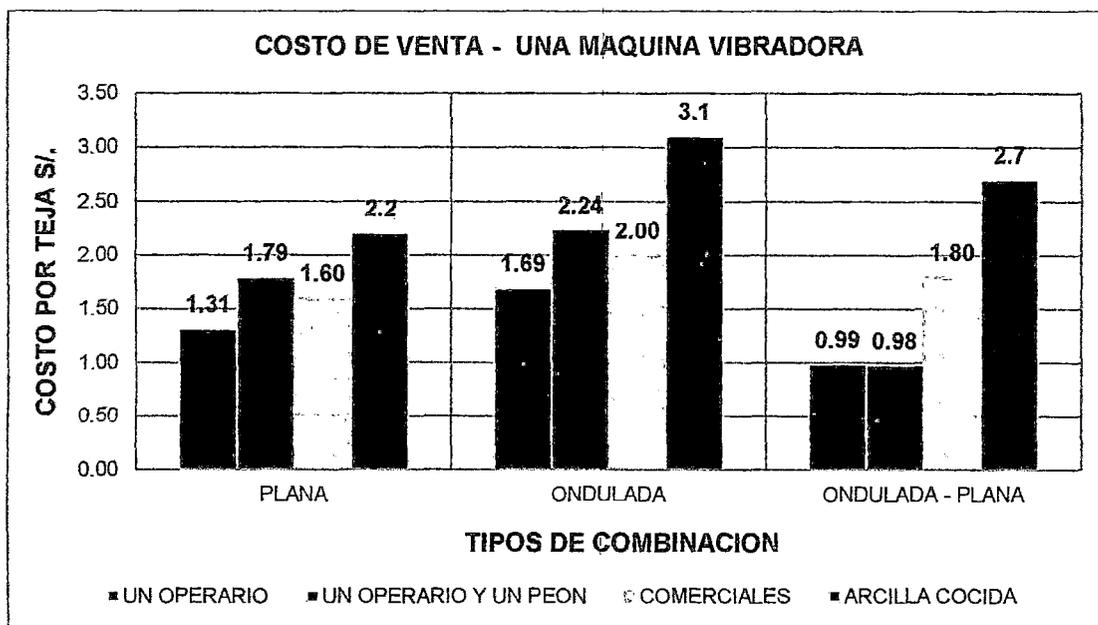


Gráfico 5.1: Precios de venta final por cada teja con una máquina vibradora.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa del gráfico 5.1, las tejas producidas son muy económicas, de fácil acceso para todo el público; con estos resultados se demuestra lo que se dijo en un principio, las tejas de microcemento son más económicas que su similar de arcilla cocida; y aun con todas las especificaciones que exige la norma usada.

Los precios de la combinación con un operario son menores al precio de mercado, por ende desde ya cualquier combinación con este personal ya es competitiva. De las diferentes simulaciones podemos ver que la combinación teja ondulada con un operario y un peón, es la menos competitiva por tener el precio más alto.

Los precios de las combinaciones con un operario y un peón son altos, a excepción de la combinación ondulada - plana; las demás sobrepasan a los precios de mercado.

El precio más bajo de todas las combinaciones es la plana - ondulada con un operario y un peón, por tanto para ser más competitivo el taller de producción requiere este personal para una sola máquina vibradora.

Si seguimos los pasos anteriores y aumentamos una maquina vibradora más, se toma las siguientes consideraciones para la simulación:

- Se realizó el análisis para un día y después se estimó para un mes.
- La jornada de trabajo es de 8 horas, 5 días a la semana.
- Cada tanda se estima para cierta cantidad de tejas según el tipo de teja y el tiempo de fraguado que es de 27 minutos.
- Se hizo un análisis para producir solo tejas planas, otra de solo tejas onduladas, y otra de ambas cuya unidad se llamara dúo, cada dúo consta de una teja ondulada y una teja plana.
- En este caso como hay dos máquinas el mínimo de personal es de dos operarios, entonces se hará simulaciones con dos operarios, y dos operarios más un peón, el peón tendrá lista la mezcla al finalizar la fabricación de la última teja de la tanda anterior
- Pago mensual al operario S/. 1000.
- Pago mensual al peón S/. 800.
- Los moldes tienen una duración de 10 años, costando S/. 80 cada molde ondulado y S/. 45 cada molde plano; adicionando S/. 0.05 a cada uno por la lámina plástica
- La máquina vibradora tiene un valor de S/. 3000 y una duración de 5 años.
- Gastos generales 3%, utilidad 10%, e I G.V. 18%.

Con estas consideraciones se tiene el siguiente volumen de producción para dos máquinas vibradoras, con sus respectivos costos de producción. Ver cuadro N° 5.26.

Cuadro N° 5.26: Costo de producción según combinación y personal.

PERSONAL	COMBINACION	UND.	PRODUCCION POR MES	C.U.	C. DIRECTO
DOS OPERARIOS	PLANA	Und.	3520	S/. 1.04	S/. 3,653.53
	ONDULADA	Und.	3080	S/. 1.33	S/. 4,100.03
	ONDULADA - PLANA	Dúos	1760	S/. 1.53	S/. 2,700.87
DOS OPERARIOS Y UN PEON	PLANA	Und.	6400	S/. 1.03	S/. 6,597.81
	ONDULADA	Und.	5320	S/. 1.37	S/. 7,270.35
	ONDULADA - PLANA	Dúos	2880	S/. 1.39	S/. 4,011.92

Fuente: Elaboración propia.

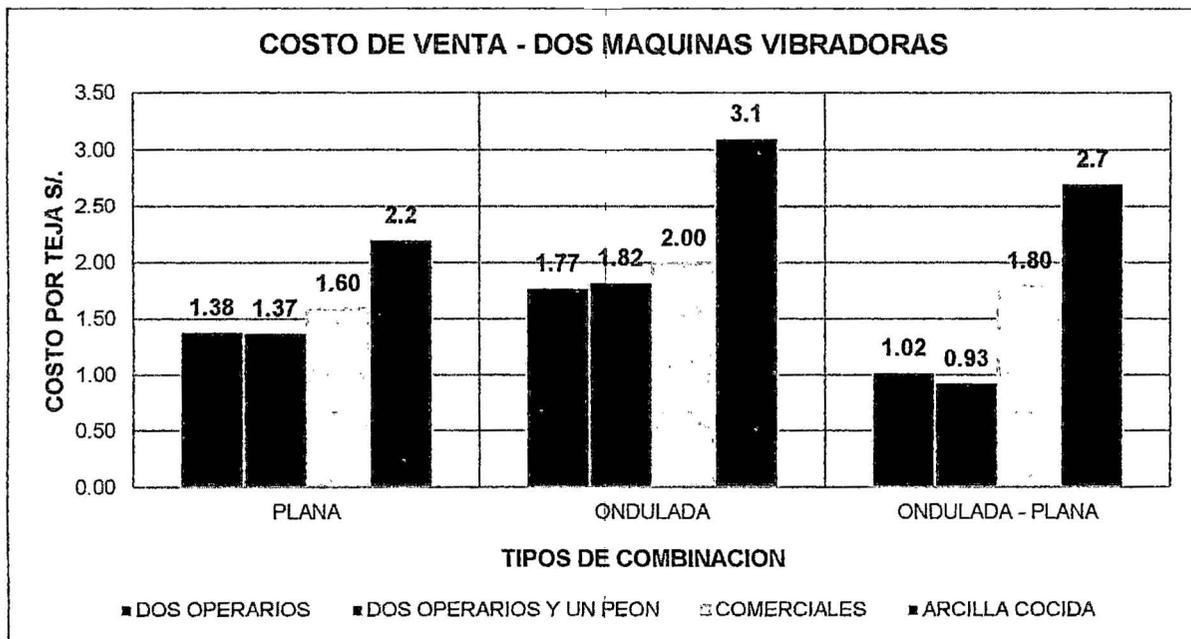
Con este volumen de producción y teniendo las consideraciones antes mencionadas, se tiene los precios de venta final de cada teja mostrados en el cuadro N° 5.27.

Cuadro N° 5.27: Costo de venta final – dos máquinas vibradoras.

PERSONAL COMBINACION	DOS OPERARIOS			DOS OPERARIOS Y UN PEON		
	PLANA	ONDULADA	ONDULADA - PLANA	PLANA	ONDULADA	ONDULADA - PLANA
<b>COSTO DIRECTO S/.</b>	<b>3653.53</b>	<b>4100.03</b>	<b>2700.87</b>	<b>6597.81</b>	<b>7270.35</b>	<b>4011.92</b>
GASTOS GENERALES S/.	109.61	123.00	81.03	197.93	218.11	120.36
UTILIDAD S/.	365.35	410.00	270.09	659.78	727.04	401.19
<b>SUB TOTAL S/.</b>	<b>4128.49</b>	<b>4633.03</b>	<b>3051.99</b>	<b>7455.53</b>	<b>8215.50</b>	<b>4533.47</b>
IGV S/.	743.13	833.95	549.36	1342.00	1478.79	816.02
<b>TOTAL S/.</b>	<b>4871.62</b>	<b>5466.98</b>	<b>3601.35</b>	<b>8797.52</b>	<b>9694.29</b>	<b>5349.50</b>
PRODUCCION POR MES	3520.00	3080.00	1760.00	6400.00	5320.00	2880.00
UND.	Und.	Und.	Dúo.	Und.	Und.	Dúo.
COSTO DE VENTA FINAL POR UND S/.	1.38	1.77	2.05	1.37	1.82	1.86
<b>COSTO DE VENTA FINAL POR CADA TEJA S/.</b>	<b>1.38</b>	<b>1.77</b>	<b>1.02</b>	<b>1.37</b>	<b>1.82</b>	<b>0.93</b>

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados podemos comparar precios de venta final de tejas, entre las distintas combinaciones con diferentes números de personal, y a la vez con las tejas comerciales. Ver gráfico 5.2.



**Gráfico 5.2:** Precios de venta final por cada teja con dos máquinas vibradoras.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa del gráfico 5.2, las tejas producidas son más económicas que las producidas con una sola máquina vibradora, las tejas de microcemento son más económicas y con todas las especificaciones que exige la norma usada.

Los precios de la combinación con dos operarios y un peón son menores a las demás, se recomienda usar esta combinación, el volumen de producción es mayor que las producidas con una sola máquina vibradora. Por tanto si el taller de producción quiere ser más productivo y más competitivo, se requiere dos máquinas vibradoras con dos operarios y un peón como personal óptimo.

## 5.6 PIEZAS COMPLEMENTARIAS

Para complementar las tejas producidas, un taller de producción operativo, requiere también que las tejas tengan un buen funcionamiento en el techado final, y para ello se requieren de piezas complementarias para un techado de calidad. Ver imagen N° 5.4.



Imagen N° 5.4: Vivienda techada con tejas.

Estas piezas complementarias ayudan al techado en puntos singulares y terminaciones que presentan todos los tipos de techos o cubiertas.

Existen puntos singulares que se repiten en los techados como: aristas con terminaciones externas (limahoya) e internas (limatesa), las cumbres, bordes perimetrales, encuentros con ventanas, balcones, etc.

La limahoya es aquella parte del techado donde se encuentran dos planos de techo, de tal manera que se de una forma cóncava en la arista; y la limatesa es el encuentro de dos planos de techo, de tal manera que se de una forma convexa en la arista.

Debido a estos cambios en los planos del techo y las distintas terminaciones y bordes que pueda presentar un techado se requieren de estas piezas complementarias.

Estas piezas complementarias que se necesitan para tener un buen techado, básicamente son: cumbres, remate cumbres, tapón cumbres, cumbres a tres aguas, cumbres a cuatro aguas, botaguas, bajo cumbres, alero cobija, alero canal y alero cobija, cuñas, antinido, esquineros y adornos. Ver figura N° 5.4.

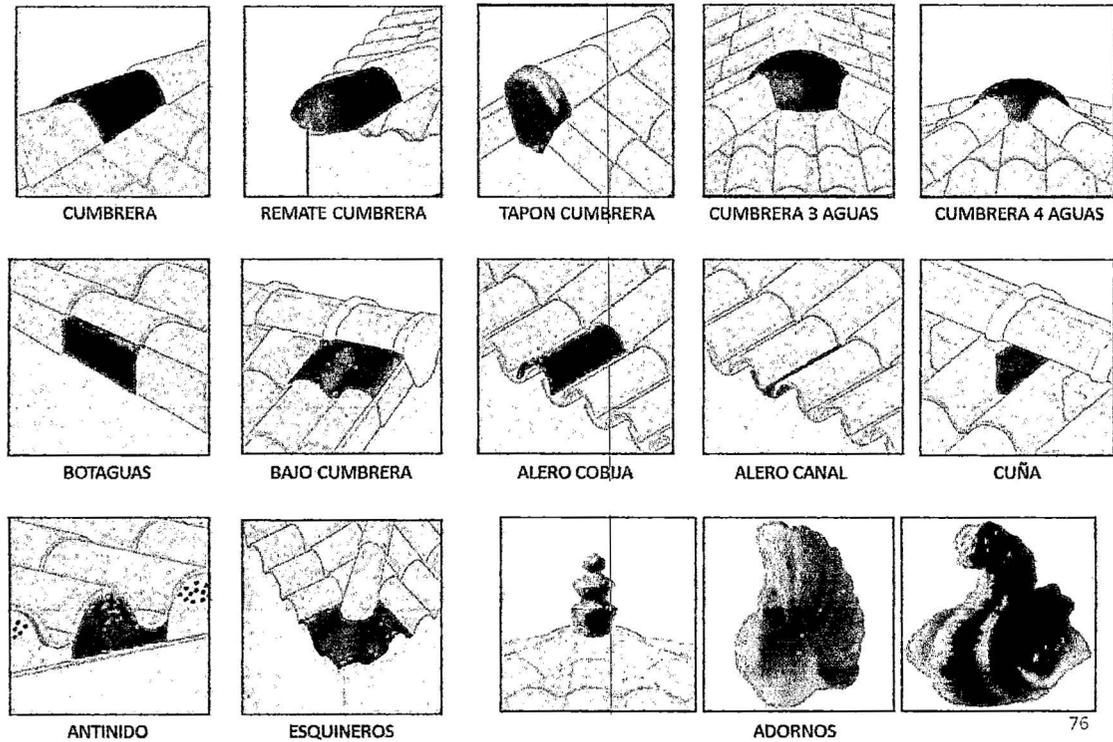


Figura N° 5.4: Piezas complementarias. Fuente: La Escandella.

Para la fabricación de las distintas piezas complementarias se necesitan distintos moldes según el diseño de la pieza, y en algunos casos cambiar el marco metálico de la mesa vibradora.

Se fabrican con la misma dosificación óptima que las tejas de microcemento, se vibran por el mismo tiempo, se seca por 24 horas en el molde, necesitan 28 días de curado, y luego de siete días de secado están listas para usarse.

Estas piezas complementarias hacen que un taller de producción operativo, tenga una variedad de piezas para el gusto del cliente, para distintos tipos de techado; siendo así más competitiva en el mercado. Ofreciendo al cliente un buen techado tanto funcional como visual, la fachada resultante tendrá un buen acabado y al mismo tiempo incentivara al público a usar tejas de microcemento.

## 5.7 CONTROL DE CALIDAD

Los ensayos para control de calidad están en función de lo pedido por la norma, vista en el capítulo II e ilustrada en el cuadro N° 2.3 planes de muestreo.

Como se sabe el principal agregado de la teja de microcemento es la arena, y depende de esta el comportamiento de la teja; sabemos que cada arena es distinta, entonces cada arena reaccionara de manera distinta.

Por tanto al escoger una cantera, se debe hacer necesariamente tandas con proporciones distintas, siempre con la fluidez del  $100\% \pm 5\%$ ; y así poder determinar la proporción óptima para la arena cemento de esa cantera.

Estas tandas deben pasar por todos los ensayo hechos en esta investigación y ver en cuanto afecta el ensayo de durabilidad e impermeabilidad a la resistencia final, resistencia que debe cumplir lo exigido por la norma europea; todo esto de mano con el costo.

Al final del proceso de curado y almacenado se recomienda que las tejas pasen por una revisión de textura y acabado, siempre quedan pequeños excesos que deben ser quitado y alisados para obtener una buena presentación.

Los datos de simulación que se hicieron indican que dependiendo de lo que el taller decida fabricar según las combinaciones hechas, el número de tejas producidas es el mismo número de moldes que se necesita adquirir, para tener un flujo de producción continuo.

El número de moldes que se disponga es importante ya que las tejas deben permanecer mínimo 24 horas con ellas.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 6.1 CONCLUSIONES.

- a) Los parámetros fluidez y proporción cemento – arena, son los principales a tener en cuenta en futuros análisis. Donde se determinó que la óptima fluidez es del 100%  $\pm$  5% para garantizar una buena trabajabilidad.
- b) De las diferentes dosificaciones probadas se concluye que el diseño óptimo para la arena usada es la proporción cemento arena 1:1.5.
- c) El ensayo de hielo y deshielo baja la resistencia de las tejas, y según los ensayos realizados, se ha observado que mientras más gruesa sea la arena usada, menor será la pérdida de resistencia final.
- d) Del ensayo de hielo y deshielo también se observó, que mientras mayor sea la altura de onda de la teja, menor será la pérdida de resistencia por dicho ensayo.
- e) Las tejas producidas con todos los requisitos exigidos son más económicas que las que se ofrece en el mercado local y de su similar de arcilla cocida. Y entre todas las combinaciones simuladas, la más competitiva por el precio es la combinación, teja ondulada y teja plana, fabricadas en mitades iguales por tanda con dos operarios y un peón, para dos mesas vibradoras.

### 6.2 RECOMENDACIONES.

- a) El ensayo de flexión implica que los accesorios a usar en la maquina estén bien colocados y que la teja este bien posicionado; si existe una correcta colocación se demostrara al momento de fallar la teja en el ensayo. Tejas con fallas incorrectas arrojan valores falsos de la resistencia real. Por tanto si se da este caso se recomienda descartar estos valores.
- b) El vibrado hace que las partículas se acomoden de tal forma que el porcentaje de vacío disminuya, esto garantiza una mayor impermeabilidad, por tanto el mayor tiempo de vibrado hará que este acomodo haga brotar burbujas de aire, es importante que estas burbujas se presenten pero mucho tiempo de vibrado produce segregación; por tanto se recomienda vibrar el mayor tiempo posible, y detener el vibrado a los primeros signos de segregación.
- b) Los ensayos a flexión a la tejas se debe hacer como mínimo después de 7 días de secado, realizar dicho ensayo antes del tiempo mencionado dará un erróneo valor de resistencia.

- c) En épocas de verano es conveniente fabricar las tejas en horas no cercanas al medio día, la mezcla fragua más rápido.
- d) El mezclado manual es mejor que usar la mezcladora; se mezcla mejor, se aprecia mejor la textura de la pasta y no se pierde material.
- e) Las tejas de microcemento demoran en estar listas a la venta, esto por el proceso de curado que necesita, esta es una desventaja con su similar de arcilla cocida, que en un par de días están listas para venderse.
- f) El fácil proceso de fabricación hace que esta tecnología pueda hacerse en cualquier parte del país, con una supervisión técnica adecuada.
- g) Las simulaciones hechas en las producciones de tejas están basadas en los tiempos del investigador, se recomienda afinar esta simulación con el personal encargado de fabricar las tejas, ya se demostró que el personal óptimo, es dos técnicos para una maquina vibradora. Los pasos a seguir ya están dados en esta investigación.
- h) Se recomienda realizar tandas de prueba en el uso de otras arenas diferentes a la usada en la investigación.
- i) Otros elementos complementarios a las tejas como las cumbreras y otras piezas que se pueda usar en el techado con tejas; se recomienda fabricarlas con la misma óptima, fluidez y proporción cemento arena.
- j) Las tejas fabricadas en esta investigación faltan clasificarlas en cuanto a su resistencia frente al fuego, para ello se necesita realizar el ensayo de resistencia al fuego; por tanto se recomienda realizar este ensayo en futuras investigaciones.
- k) En esta investigación no se hizo mucha hincapié en el uso de colorantes, por tanto se recomienda hacer tejas de prueba para ver si afecta el uso de colorantes en la resistencia final.
- l) La proporción cemento arena 1:2 no paso el ensayo de hielo y deshielo, pero se recomienda su uso en climas cálidos donde no se presenten bajas temperaturas.
- m) Se recomienda en futuras investigaciones realizar los ensayos de flexión en una máquina para pequeñas cargas, desde 0 hasta 5000 kg.
- n) Se recomienda trabajar con más mesas vibratoras, ya que produciría un aumento en la producción, el cual generaría que las tejas sean, aún más económicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute.  
Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete ACI 211.3R-02.  
Editorial American Concrete Institute, USA 2002.
- Asociación Española de Normalización y Certificación.  
Norma Española UNE EN 490 tejas y piezas de hormigón – especificaciones de producto.  
Editorial AENOR, Madrid 2012.
- Asociación Española de Normalización y Certificación.  
Norma Española UNE EN 491 tejas y piezas de hormigón – métodos de ensayo.  
Editorial AENOR, Madrid 2012.
- Centre for Ecological Science  
Tejas de micro concreto TMC (mortero vibrado).  
<http://ces.iisc.emet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms01.htm>.
- Comisión De Normalización Y De Fiscalización De Barreras Comerciales No Arancelarias – INDECOPI.  
Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global NTP 400.012.  
Editorial INDECOPI, Lima 2013.
- Comisión De Normalización Y De Fiscalización De Barreras Comerciales No Arancelarias – INDECOPI.  
Método de ensayo para determinar la resistencia a la comprensión de morteros de cemento portland usando especímenes de 50 mm de lado NTP 334.051.  
Editorial INDECOPI, Lima 2006.
- Cooperación Técnica Del Gobierno Suizo – Cotesu.  
Proyecto Control De Calidad de Tejas de Fibra – Cemento.  
Lima 1994.

- Dekorcem  
Que es el microcemento.  
<http://www.dekorcem.com/index.php/es/microcemento>.
- EcoSur  
Un techo que cubre al mundo: la teja de microconcreto.  
Editorial EcoSur, Nicaragua 2004.
- La Escandella  
Guía de instalación de la teja mixta.  
Editorial La Escandella, Alicante.2014
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.  
Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado.  
Editorial DIGIGRAF CORP, Lima 2009.

## ANEXOS

### ANEXO A

“La superficie visible de las tejas y piezas deberían tener una estructura tal que proporcione un aspecto armonioso al tejado o muro acabado. No obstante, pueden producirse ligeras diferencias de tonalidad, motivadas por el proceso de fabricación”.<sup>109</sup>

Son admisibles las siguientes características superficiales:

- “Fisuras superficiales discontinuas en las superficies ocultas de la teja o pieza, que sean resultado del proceso de fabricación”.<sup>110</sup>
- “Arañazos y abrasiones causados por el embalaje, la carga y el transporte, siempre y cuando no afecten a otros requisitos de calidad”.<sup>111</sup>

“Bajo la influencia de las condiciones atmosféricas naturales, se pueden producir cambios de color y de aspecto. Las tejas y piezas de hormigón pueden mostrar ligeras eflorescencias; estas no modifican las especificaciones de calidad restantes”.<sup>112</sup>

---

<sup>109</sup> AENOR. UNE EN 490 Tejas y Piezas de Hormigón – Especificaciones de Producto. Pág. 17.

<sup>110</sup> ibid. pág. 17.

<sup>111</sup> ibid. pág. 17.

<sup>112</sup> ibid. pág. 17.

ANEXO B

Cuadro N° B.1: ensayo de flexión en tejas proporción 1:1.50 (etapa simulación)

**MATERIALES POR TANDA**

CEMENTO (kg): 4.80  
AGUA (kg): 2.26  
ARENA (kg): 7.20

**RELACIONES**

AGUA/CEMENTO: 0.47  
CEMENTO/ARENA: 1:1.50  
# TANDAS 3

FLUIDEZ: 95.9%

ESPECIMEN	MODELO	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
TS1:1.5-1	ONDULADA	28/03/2014	18/04/2014	14	49.0	24.0	1.0	143	146	---
TS1:1.5-2		28/03/2014	18/04/2014	14	49.0	24.0	1.0	143		
TS1:1.5-3		28/03/2014	18/04/2014	14	49.0	24.0	1.0	153		
TS1:1.5-4		28/03/2014	02/05/2014	28	49.0	24.0	1.0	183	180	140
TS1:1.5-5		28/03/2014	02/05/2014	28	49.0	24.0	1.0	178		
TS1:1.5-6		28/03/2014	02/05/2014	28	49.0	24.0	1.0	183		
TS1:1.5-7		28/03/2014	02/05/2014	28	49.0	24.0	1.0	173		
TS1:1.5-8		28/03/2014	02/05/2014	28	49.0	24.0	1.0	178		
TS1:1.5-9		28/03/2014	02/05/2014	28	49.0	24.0	1.0	183		
TS1:1.5-1	PLANA	28/03/2014	18/04/2014	14	40.0	20.0	1.0	52	52	---
TS1:1.5-2		28/03/2014	18/04/2014	14	40.0	20.0	1.0	52		
TS1:1.5-3		28/03/2014	18/04/2014	14	40.0	20.0	1.0	52		
TS1:1.5-4		28/03/2014	02/05/2014	28	40.0	20.0	1.0	77	77	65
TS1:1.5-5		28/03/2014	02/05/2014	28	40.0	20.0	1.0	77		
TS1:1.5-6		28/03/2014	02/05/2014	28	40.0	20.0	1.0	77		
TS1:1.5-7		28/03/2014	02/05/2014	28	40.0	20.0	1.0	82		
TS1:1.5-8		28/03/2014	02/05/2014	28	40.0	20.0	1.0	77		
TS1:1.5-9		28/03/2014	02/05/2014	28	40.0	20.0	1.0	72		

Fuente: Elaboración propia.

NOTA: En las cargas de rotura está incluida el peso del accesorio de flexión respectivo: 2.89 kg para teja ondulada y 2.44 kg para teja plana.

La norma no indica la carga de rotura para antes de 28 días.

Resultados antes de realizar el ensayo de hielo y deshielo.

Cuadro N° B.2: ensayo de flexión en tejas proporción 1:2.00 (etapa simulación)

**MATERIALES POR TANDA**

CEMENTO (kg): 4.00  
 AGUA (kg): 2.18  
 ARENA (kg): 8.00

**RELACIONES**

AGUA/CEMENTO: 0.55  
 CEMENTO/ARENA: 1:2.00  
 # TANDAS 3

FLUIDEZ: 102.4%

ESPECIMEN	MODELO	FECHA DE FABRICACION	FECHA DE ENSAYO	DIAS	DIMENSIONES (cm)			CARGA MAXIMA (kg)		
					LARGO	ANCHO	ESPESOR	ROTURA	PROMEDIO	NORMA UNE
TS1:2.0-1	ONDULADA	25/03/2014	15/04/2014	14	49.0	24.0	1.0	103	103	140
TS1:2.0-2		25/03/2014	15/04/2014	14	49.0	24.0	1.0	103		
TS1:2.0-3		25/03/2014	15/04/2014	14	49.0	24.0	1.0	103		
TS1:2.0-4		25/03/2014	29/04/2014	28	49.0	24.0	1.0	143		
TS1:2.0-5		25/03/2014	29/04/2014	28	49.0	24.0	1.0	143		
TS1:2.0-6		25/03/2014	29/04/2014	28	49.0	24.0	1.0	153		
TS1:2.0-7		25/03/2014	29/04/2014	28	49.0	24.0	1.0	153		
TS1:2.0-8		25/03/2014	29/04/2014	28	49.0	24.0	1.0	143		
TS1:2.0-9		25/03/2014	29/04/2014	28	49.0	24.0	1.0	153		

TS1:2.0-1	PLANA	25/03/2014	15/04/2014	14	40.0	20.0	1.0	42	42	55
TS1:2.0-2		25/03/2014	15/04/2014	14	40.0	20.0	1.0	42		
TS1:2.0-3		25/03/2014	15/04/2014	14	40.0	20.0	1.0	42		
TS1:2.0-4		25/03/2014	29/04/2014	28	40.0	20.0	1.0	62		
TS1:2.0-5		25/03/2014	29/04/2014	28	40.0	20.0	1.0	62		
TS1:2.0-6		25/03/2014	29/04/2014	28	40.0	20.0	1.0	72		
TS1:2.0-7		25/03/2014	29/04/2014	28	40.0	20.0	1.0	77		
TS1:2.0-8		25/03/2014	29/04/2014	28	40.0	20.0	1.0	62		
TS1:2.0-9		25/03/2014	29/04/2014	28	40.0	20.0	1.0	62		

Fuente: Elaboración propia.

NOTA: En las cargas de rotura está incluida el peso del accesorio de flexión respectivo: 2.89 kg para teja ondulada y 2.44 kg para teja plana.

La norma no indica la carga de rotura para antes de 28 días.

Resultados antes de realizar el ensayo de hielo y deshielo.