

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Análisis y Método Constructivo del Panel Metálico
Mixto con Aislamiento Termo-acústico en Cubiertas.
Caso Práctico: Galpón de la compañía Kitton S.A.”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Alfredo Bozano Subia

José Manuel Vera Aray

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2014

TRIBUNAL DE GRADUACION

Ing. Carlos Rodríguez, M. Sc., Ph. D.

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Heinz Teran

VOCAL

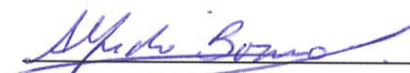
Ing. Fabian Peñafiel

VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Alfredo Bozano Subia



José Manuel Vera Aray

INDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	14
1.1	ANTECEDENTES.....	16
1.2	OBJETIVOS.....	18
2	MATERIALES.....	20
2.1	Acero.....	20
2.1.1	Aplicaciones del Acero.....	22
2.1.2	Siderurgia del Acero.....	22
2.1.3	Recubrimientos por inmersión del Acero.....	29
2.1.4	Propiedades Mecánicas y Deformación del Acero.....	35
2.2	Poliuretano.....	36
2.2.1	El poliuretano en la industria.....	37
2.2.2	Manufactura.....	38
2.2.3	Espuma de poliuretano.....	40
3	FABRICACIÓN DEL PANEL MIXTO.....	41
3.1	Orígenes del Panel.....	41
3.2	Conformación de paneles.....	42
3.3	Proceso de Inyectado.....	45
4	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES DEL PANEL MIXTO.....	50
4.1	Resistencia.....	52
4.1.1	Análisis Estructural.....	52
4.1.2	Fluencia Lenta.....	54
4.1.3	Calculo de Modulo de Cortante.....	55
4.1.4	Propiedades geométricas del panel mixto con poliuretano.....	58
4.1.5	Ensayo a Carga Puntual.....	58
4.1.6	Utilización del software swe2 para el análisis estructural.....	61
4.2	Aislamiento Térmico.....	64

4.2.1	Ensayo	65
4.3	Aislamiento Acústico.....	70
4.3.1	Ensayo	71
5	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PANEL MIXTO CON AISLAMIENTO TERMO-ACÚSTICO CON OTROS MATERIALES UTILIZADOS COMO CUBIERTAS	74
5.1	Económico.....	74
5.2	Propiedades	75
5.2.1	Estructural.....	75
5.2.2	Aislamiento Térmico	77
5.3	Impacto Ambiental.....	77
6	CASO PRÁCTICO – KITTON S.A.	79
6.1	Requerimientos de la obra.....	79
6.2	Selección del panel mixto sobre otros materiales	81
6.2.1	Preferencias estructurales	81
6.2.2	Preferencias de acabado.....	82
6.2.3	Inversión Inicial	83
6.2.4	Costos operativos.....	83
6.3	Método Constructivo	86
6.3.1	Seguridad en la obra	86
6.3.2	Actividades y riesgos existentes.....	87
6.3.3	Manipulación de Paneles	106
6.3.4	Instalación de Paneles.....	107
6.3.5	Accesorios, acabados y hermetización	111
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	114
7.1	Conclusiones	114
7.2	Recomendaciones.....	116
8	BIBLIOGRAFIA.....	118

9	ANEXOS	119
---	--------------	-----

ABEVIATURAS

ASTM	American Society for Testing Materials
CIB	Conseil International du Bâtiment
°C	centígrado
dB	Decibel
e	Espesor
ECCB	European Convention for Constructional Steelwork
Fig.	Figura
IESS	Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
kg	Kilogramo
kg/cm²	Kilogramos sobre centímetros cuadrados
m	Metro
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
W	Watt

SIMBOLOGIA

A	Área
E	Módulo de Elasticidad
h	Distancia de eje neutro a la fibra exterior
HRB	Escala B de dureza Rockwell
I	Área de Inercia
$M_{F1,F2}$	Momento Flector de revestimiento superior e inferior
M_s	Momento Flector de la sección
$N_{F1,F2}$	Fuerza axial de revestimiento superior e inferior
$V_{F1,F2}$	Fuerza Cortante de revestimiento superior e inferior
w	Deflexión
σ	Esfuerzo
τ	Esfuerzo cortante
\dot{q}	flujo de calor
∇T	gradiente de temperatura
R_a	Resistividad térmica en el aire
R_s	Resistividad térmica en la superficie
Θ_{ha}	temperatura en la cámara caliente (°C)
Θ_{ca}	temperatura en la cámara fría (°C)
Q_h	cantidad de calor suministrada (W)
Q_f	potencia del ventilador (W)
K	conductividad térmica

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 .- Sección de una lámina de acero con recubrimiento (Autor: Alfredo Bozano).....	21
Fig. 2.2.- Alto Horno (Fuente: Matthew Spong, 1906).....	24
Fig. 2.3 .- Formación de espuma de poliuretano (Fuente: Christof Jelich, 2007)	37
Fig. 2.4.- Esquema de una máquina para proyectar espuma de poliuretano: 1) Materias Primas; 2)Bomba de trasiego; 3)Maquina de Proyección; 4) Manguera calefactada; 5)Pistola (Fuente: ATEPA, 2010)	39
Fig. 2.5 .- Tanques de suministro de los componentes a una unidad dispensadora de baja presión (Fuente: Cottontails, 2009)	39
Fig. 2.6.- Pieza de espuma de poliuretano descolorida por la exposición a la luz ultravioleta. (Fuente: Cottontails, 2009)	40
Fig. 3.1.- Des enrollador (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	43
Fig. 3.2.- Matricería para conformar paneles (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	44
Fig. 3.3.- Dimensiones de paneles (Fuente: INEN, 2008).....	44
Fig. 3.4.- Tipos de juntas (Fuente: INEN, 2008).....	45
Fig. 3.5.- Poliuretano dispuesto en la lámina de superior para disponer la otra lamina inferior del panel sobre esta (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	47
Fig. 3.6.- Prensa ajusta sobre el panel armado (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	47
Fig. 3.7.- Inyectado de paneles (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	48
Fig. 3.8.- Sección de un panel mixto con poliuretano (Fuente: METCOL)	48
Fig. 3.9.- Traslape Longitudinal entre paneles (Fuente: METCOL).....	49
Fig. 3.10.- Traslape entre paneles (Fuente: METCOL).....	49
Fig. 4.1.- Esfuerzos resultantes en cara transversal del panel (Fuente: ECCS/CIB, 2000).....	53
Fig. 4.2.- Distribución de esfuerzos internos (Fuente: ECCS/CIB, 2000)	54
Fig. 4.3.-Ensayo a flexión con dos puntos de apoyo (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	57
Fig. 4.4.- Falla del panel por cortante del núcleo (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	57
Fig. 4.5.- Sección de lámina superior del panel mixto (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)....	58
Fig. 4.6.- Prueba de carga (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	59
Fig. 4.7.- Prueba de carga (81.9 kg + persona de 59 kg) del panel mixto, luz entre apoyos 3.9 m. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	60
Fig. 4.8.- Falla de plancha galvalume 75.6 kg, luz libre 2.5 m (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	61
Fig. 4.9.- Ventana de Ingreso de datos de la sección (Fuente: swe2).....	62
Fig. 4.10.- Ventana de ingreso de dimensiones (Fuente: swe2)	62
Fig. 4.11.- Ventana ingreso de carga (Fuente: swe2).....	63
Fig. 4.12.- Caja de ensayo térmico (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	66
Fig. 4.13.- La caja cubierta cerrada por panel superior (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)..	66

Fig. 4.14.- Fuente emisora de calor con la termocupla en contacto con la superficie del panel (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	67
Fig. 4.15.- Ambos lectores de temperatura para cada cámara. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	67
Fig. 4.16.- Termocupla tomando la temperatura del ambiente. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	68
Fig. 4.17.- Ensayo de medición de ruido de lluvia simulada. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	71
Fig. 4.18.- Sonómetro (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	72
Fig. 5.1.- Distanciamiento entre correas (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	76
Fig. 6.1.- Estructura de Cubierta (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	80
Fig. 6.2.-Escalera telescópica de acceso a la cubierta (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	87
Fig. 6.3.- Personal realizando movimiento de los paneles (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	88
Fig. 6.4 Selección de paneles según su longitud para subida a estructura. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	89
Fig. 6.5 Paneles distribuidos en cubierta. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	90
Fig. 6.6.- Acumulación de paneles sobre cubierta. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	91
Fig. 6.7.- Instalación de remate tipo cumbbrero. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	92
Fig. 6.8.- Soportes al interior del casco. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	94
Fig. 6.9 Casco con barbiquejo. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera).....	94
Fig. 6.10.- Línea de vida. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	95
Fig. 6.11.- Arnés de seguridad. (Fuente: 3M).....	97
Fig. 6.12.- Eslinga doble (Fuente: 3M)	98
Fig. 6.13.- Zapatos con punta de acero. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	98
Fig. 6.14.- Chaleco reflector (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	99
Fig. 6.15.- Guantes (Fuente: TOWA)	101
Fig. 6.16.- Orejeras (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	103
Fig. 6.17.- Manipulación de paneles con grúa (Fuente: METCOL)	106
Fig. 6.18.- Izaje con estribos (Fuente: METCOL)	110
Fig. 6.19.- Fijación del panel a la estructura de cubierta (Fuente: METCOL).....	111
Fig. 6.20.- Esquema de instalación de caballete (Fuente: METCOL).....	112
Fig. 6.21.- Remate panel con pared de mampostería (Fuente: METCOL)	113
Fig. 6.22.- Descarga en canalón (Fuente: METCOL)	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I Propiedades dimensionales (Fuente: ArcelorMittal)	50
Tabla II Propiedades mecánicas, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal)	51
Tabla III Composición química, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal).....	51
Tabla IV Propiedades dimensionales, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal)	51
Tabla V Propiedades mecánicas, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal)	51
Tabla VI Composición química, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal).....	51
Tabla VII Recubrimiento de pintura, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal)	51
Tabla VIII.- Prueba de carga puntual de 81.6 Kg (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	60
Tabla IX.- Resultados de deflexiones a diferentes distancias de apoyos carga puntual (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	63
Tabla X.- Comparación de resultados de carga distribuida entre el software swe2 y el método analítico de Wölfte (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	64
Tabla XI.- Datos obtenidos en el ensayo térmico. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	69
Tabla XII.- Resultados ensayo térmico. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	69
Tabla XIII.- Resultados ensayo acústico (realizado en zona industrial) (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	72
Tabla XIV.- Emisiones de ruido permisible según uso del suelo. (Fuente: Libro VI, Anexo 5 sobre Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles y para vibraciones de la constitución de la república.)	72
Tabla XV.- Costo por m2 de provisión e instalación de los diferentes materiales (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	75
Tabla XVI.- Metros de correas por m2 de cubierta, datos de distanciamiento de correas obtenidos del proveedor. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	76
Tabla XVII.- Costo de correas por metro cuadrado de cada material (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	76
Tabla XVIII.- Conductividades Térmicas, información de proveedores. (3)	77
Tabla XIX.- Tabla de cantidades de correas necesarias según el material utilizado (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	82
Tabla XX.- Costo de Totales de provisión e instalación. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	83
Tabla XXI.- Conductancia térmica de los materiales. (3)	84

Tabla XXII.- Costo eléctrico anual debido a pérdidas de temperatura por a través de la cubierta. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)	85
Tabla XXIII.- Tiempo de exposición a ciertos niveles sonoros (Fuente: IESS)	102

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1.- Reacción Química del oxido de hierro en el horno	23
Ecuación 2-2.- Formación de monóxido de carbono	23
Ecuación 4-1.- Esfuerzos axiales del recubrimiento superior de los paneles	53
Ecuación 4-2.- Esfuerzos axiales del recubrimiento inferior de los paneles.....	53
Ecuación 4-3.- Esfuerzo axiales de recubrimiento inferior	53
Ecuación 4-4.- Resistividad Térmica del aire.....	69
Ecuación 4-5.- Resistividad Térmica de la muestra	69
Ecuación 4-6.- Conductividad Térmica.....	69

1 INTRODUCCIÓN

En un mundo con una población en constante crecimiento, los recursos naturales son más demandados. Es un deber de la sociedad y del estado aprovechar correcta y responsablemente cada uno de estos recursos. Esto se llama sostenibilidad. Una manera es mediante la correcta planificación de generación energética tratando de hacerla en base a recursos renovables para satisfacer el crecimiento de la demanda. Y otra manera es incrementando la eficiencia del consumo de la energía. Esto quiere decir, reducir las pérdidas y evitar el desperdicio. Y esto debe empezar desde nuestros hogares.

Actualmente la filosofía de construcciones civiles sostenibles ha tomado mucha importancia. Esta promueve, entre otras cosas, edificios que reduzcan desperdicios en su construcción o que los generados sean reciclables.

En la ciudad de Guayaquil, con un clima cálido húmedo, la mayoría de las oficinas y viviendas cuentan con un sistema de acondicionamiento de aire. Estos equipos consumen mucha energía. Una manera de reducir su consumo y/o utilización es cambiando la manera como construimos nuestros entornos de trabajo y vivienda. El aislamiento de los espacios permite reducir la transferencia de temperaturas por conducción de calor del exterior hacia el interior de las construcciones. Esto permite ambientes más frescos que harían trabajar menos a los equipos de aire acondicionado.

En años recientes la utilización de paneles mixtos para el aislamiento de cubiertas se ha incrementado. Debido a que nos encontramos en la línea ecuatorial, la incidencia de radiación del sol es mayor que otras partes del mundo. A través de cubiertas de los edificios existe la mayor transferencia de calor del ambiente al interior, así que un correcto aislamiento ayuda en reducir la temperatura en los interiores.

1.1 ANTECEDENTES

Desde el comienzo de la manufactura de productos para la construcción ha habido una clara preferencia en la elección de los constructores ya sea por precio o practicidad en su uso. En la costa principalmente se ha popularizado el uso de cubiertas a base de fibrocemento y zinc. Esta última es la más utilizada en viviendas de bajo recursos.

El éxito del fibrocemento ha sido su buena resistencia mecánica combinada con una relativamente buena aislación térmica, a pesar de no ser muy estética a la vista. En la sierra, la teja de arcilla siempre ha tenido un abundante uso.

En la actualidad la teja de panel metálico está ganando mercado como material para cubierta debido a su durabilidad, resistencia y fácil instalación. Aunque igual que el zinc no es un buen aislante ya que este se calienta con la radiación del sol. Por eso, este panel se lo ha combinado con un aislante sintético, como el poliuretano, para tener la propiedad de aislante.

Este producto primero surgió en los países de clima frío para aislación de cubiertas y paredes frente al clima helado del exterior. Pero ahora se lo está utilizando aquí en el Ecuador para aislar las cubiertas de la radiación del sol y mantener ambientes más frescos en el interior.

Para ilustrar un caso de la implementación de este producto en el Ecuador hemos analizado la construcción de un galpón de la compañía Kitton S.A.

KITTON S.A. es un empresa dedicada a la importación y comercialización al por mayor y menor de equipos, herramientas y materiales para instalaciones eléctricas.

Para almacenar toda la mercadería, la empresa alquila varias bodegas distribuidas en toda la ciudad. Con el fin de brindar un mejor servicio y contar con instalaciones propias, en el año 2012, KITTON S.A. comenzó la construcción de un galpón en el km. 3 de la avenida Carlos Julio Arosemena. El área de construcción será de 14,336 m², distribuida en 2 niveles. En el nivel inferior se encontrarán las bodegas para almacenar la mercadería y oficinas de la empresa. Y en el nivel superior estará situado el almacén comercial para venta al público. Ambos niveles serán climatizados mediante acondicionadores de aire centrales para mantener el ambiente interior fresco y agradable.

La estructura de la construcción consta de columnas hormigón armado en el nivel inferior y de acero en el nivel superior. Para el soporte de la losa y de la cubierta se utilizaran vigas metálicas. La cubierta estará compuesta de panel metálico y franjas de policarbonato alveolar para permitir el ingreso de luz solar.

En este estudio se analizará los paneles metálicos mixtos con aislamiento termo acústico de poliuretano como opción para ofrecer como cubierta del almacén al

constructor de la obra. Costo y prestaciones ambientales son dos de los factores para la selección y especificación de este producto de construcción.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo General

- Analizar la utilización de paneles metálicos mixtos con aislamiento termo acústico en las construcciones civiles.
- Aplicar este material en el campo de la ingeniería civil realizando los respectivos procesos constructivos en una obra y siguiendo los lineamientos tanto económicos como técnicos.

Objetivos Específicos

- Realizar ensayos para conocer las propiedades estructurales, térmicas y acústicas del panel y constatar si cumplen con las normas establecidas.
- Analizar los beneficios que representa el uso del panel metálico mixto con aislamiento termo acústico sobre otras opciones en la obra Galpón Kitton S.A. presentando su respectivo justificativo técnico y económico.

- Implementar el panel metálico mixto con aislamiento termo acústico en la obra Galpón Kitton S.A.
- Dar recomendaciones técnicas, en base a la experiencia, para la apropiada construcción de cubiertas con panel mixto con aislamiento térmico-acústico.

2 MATERIALES

La composición de los paneles metálicos mixtos con aislamientos termo-acústicos, está basada en la utilización de 2 paneles metálicos, separados entre ellos por un compuesto químico. El espesor de este brindará las características de aislamiento térmico y acústico según las necesidades del proyecto en el que vaya a utilizarse.

A continuación se expondrá las características de los materiales que conforman el panel.

2.1 Acero

El acero es una aleación de hierro (98%), carbono (0.05-2%) y otros elementos como manganeso, cromo, vanadio, silicio, etc. Es un material que posee una gran adaptabilidad, lo cual lo hace apto para diferentes tipos de clima.

Se lo caracteriza como un producto verde, ya que es posible reciclarlo de manera infinita, sin que este pierda su calidad.

Desde que se convirtió en un material indispensable para las industrias, ha tenido una constante evolución con respecto a su resistencia en relación a su peso.

Es un producto seguro ya que no es combustible, es resistente a los cambios climáticos y no emite productos alérgicos o nocivos como el asbesto.

El acero está tomando mucha importancia en el área de la construcción gracias a su facilidad de producción y montaje de estructuras. En estos casos se puede comprar aceros con recubrimientos químicos adicionales para su protección a largo plazo.

Designación de espesor para aceros con recubrimiento:

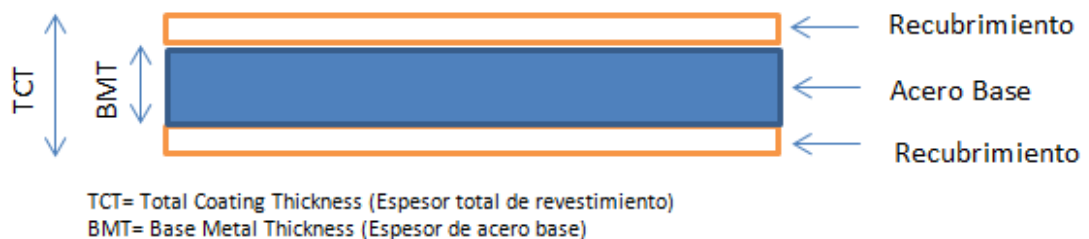


Fig. 2.1.- Sección de una lámina de acero con recubrimiento (Autor: Alfredo Bozano)

Es necesario tener ciertas consideraciones a la hora de trabajar con el acero como los costos de mantenimiento, las altas temperaturas afectan sus propiedades mecánicas y la susceptibilidad al pandeo.

2.1.1 Aplicaciones del Acero

El acero es un producto en crecimiento constante y de consumo masivo. Actualmente existen más de 3500 clases de aleaciones estandarizadas con propiedades físicas y químicas diferentes según la aplicación que se le vaya a dar. En el caso de los paneles metálicos, se utilizan aceros planos al carbono con o sin recubrimiento.

Los sectores en los que más se utiliza el acero son:

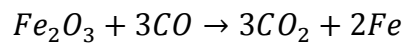
- Construcción; perfiles, cubiertas, puertas, etc.
- Electrodomésticos; línea blanca y marrón.
- Automotriz; 40% del peso total y 98% de la carrocería.
- Industrial en general; mobiliario, aire acondicionado, etc.

2.1.2 Siderurgia del Acero

2.1.2.1 Obtención de acero en base a Altos Hornos

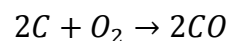
El proceso comienza con el mineral de hierro o chatarra. Esta es cortada y transportada hacia un Alto Horno, donde se calienta el material introducido a una temperatura de 1650°C. Durante este

proceso se agrega coque¹ al hierro fundido y caliza (como fuente adicional de monóxido de carbono). El producto de este paso es el arrabio. La ecuación que representa la reacción química que sucede dentro de un alto horno es:



Ecuación 2-1.- Reacción Química del óxido de hierro en el horno

Luego el arrabio (material fundido que se obtiene del alto horno mediante reducción del material de hierro) es agregado al convertidor, donde se emplea oxígeno para remover el exceso de carbono de este. Gracias a las altas temperaturas, los átomos de carbono existentes en el hierro fundido, se combinan con el oxígeno y producen monóxido de carbono gaseoso. Este proceso de oxidación remueve el carbono. Para controlar la temperatura en el envase y que este no se derrita, se agrega chatarra de acero.



Ecuación 2-2.- Formación de monóxido de carbono

El contenido de carbono tiene efecto sobre las propiedades de ductibilidad y fragilidad del acero.

¹ Combustible sólido formado por la destilación de carbón bituminoso y es 90% a 95% carbono

Aleaciones de cromo, níquel y molibdeno transforman al acero en inoxidable. Como proceso final, se vierte el producto en una cuchara para transportar el acero a la colada continua, la cual direcciona el material fundido a los moldes.

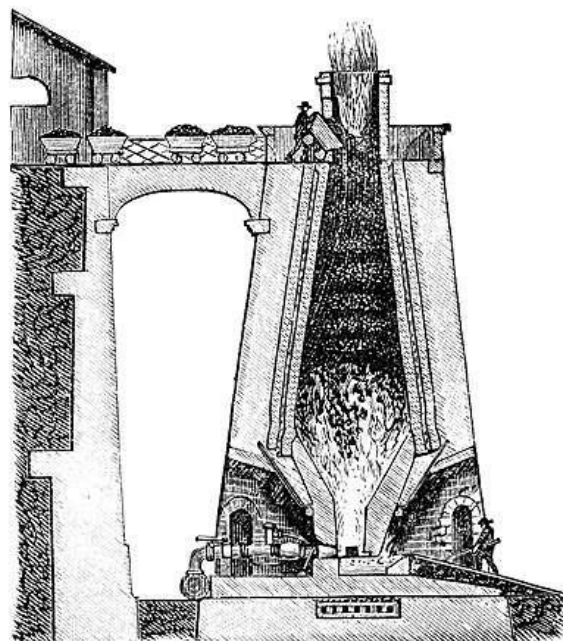


Fig. 2.2.- Alto Horno (Fuente: Matthew Spong, 1906)

2.1.2.2 Acería eléctrica

En las acerías eléctricas se elimina la utilización de coque. Se utiliza principalmente chatarra como carga del horno. Una vez dentro de este, se produce una reacción de oxidación – reducción (proceso redox). Durante la fusión oxidante se deshecha el fósforo, mientras

que en la reductora el óxido de hierro y el azufre. La temperatura que alcanzan estos hornos es de 3500°C.

Una vez que se encuentra el material fundido libre de las impurezas, se utiliza el mismo proceso de transporte en cucharas hacia la colada continua para que el producto llegue a los moldes.

Las ventajas que poseen estos hornos sobre los convencionales, es la gran pureza lograda durante el proceso, su alta eficiencia térmica y permiten controlar la temperatura dentro de intervalos muy exactos.

Dentro de las desventajas tenemos que la producción es a menor escala que los convencionales y la utilización de grandes cantidades de energía eléctrica que encarecen el proceso.

2.1.2.3 Laminación en caliente (Hot Rolled)

El proceso de laminación en caliente se realiza a temperaturas mayores a la mitad de la temperatura de fusión ($T > 860^{\circ}\text{C}$).

La estructura molecular de las placas de acero antes de pasar por los rodillos es equiaxial. Los rodillos son calibrados para dar a la placa el espesor deseado. Durante el proceso, los granos se alargan, pero vuelven a su forma original a medida que se enfría el material.

Cada proveedor clasifica los aceros laminados en caliente de acuerdo a la aplicación. Los grupos más comunes son:

- Aceros para usos generales.
- Aceros para conformación en frío y embutición (1.3-16mm espesor).
- Aceros para re-laminación en frío y recocido en campana (1.5-6mm).
- Aceros estructurales (1.3-13mm espesor)
- Aceros resistentes a la corrosión atmosférica (1.7-16mm espesor).
- Aceros resistentes a la corrosión marina (5-50mm espesor).
- Aceros para embutición profunda y temperaturas extremas.
- Aceros para tuberías.
- Aceros para contenedores de gas soldados.
- Aceros con una composición específica.
- Aceros con relieves para pisos.

Los aceros laminados en caliente responden a las siguientes normas

ASTM:

- Calidad Comercial – ASTM A 569

- Calidad Estructural – ASTM A 570, A 36
- Requerimientos Generales – ASTM A 568
- General – ASTM A 1011

2.1.2.4 Laminación en frío (Cold Rolled)

El proceso parte de placas que fueron rodadas en caliente. Estas pasan por los rodillos a una temperatura menor a la mitad de la temperatura de fusión del acero.

Los granos de las placas antes de entrar al proceso son equiaxiales. Al pasar por los rodillos estos se alargan, pero no vuelven a su forma original, quedan amorfos.

Es posible recuperar los granos amorfos en los aceros laminados en frío, sometiendo a las bobinas a un recocido de campana. En el cual se aumenta, mantiene y disminuye la temperatura controladamente dentro de una campana sellada (temperaturas entre 900 y 1400°C). Esto permite cambiar la microestructura del acero, reduciendo las tensiones internas y aumentando su fuerza y ductilidad.

En el mercado podemos encontrar material con espesores menores a 0.1mm. Cada proveedor clasifica los aceros rolados en frío de acuerdo a la aplicación. Los grupos más comunes son:

- Aceros para conformación en frío (0.2-3mm espesor).
- Aceros pavonados (0.5-2mm espesor).
- Aceros de alto límite elástico y baja aleación (0.5-3mm).
- Aceros estructurales (0.5-3mm espesor).
- Aceros con una composición química específica.
- Aceros para calibraciones (0.025-3.2mm espesor).

Los aceros laminados en frío responden a las siguientes normas ASTM:

- Calidad Comercial – ASTM A 366
- Calidad Embutición – ASTM A 619
- Calidad Embutición Profunda – ASTM A 620
- Calidad Estructural – ASTM A 611
- Requerimientos Generales – ASTM A 568
- General – ASTM A 1008

2.1.3 Recubrimientos por inmersión del Acero

El proceso de obtención de un producto con recubrimiento Galvanizado o de Aluzinc consiste en sumergir el acero con superficie químicamente limpia en un baño de aluminio o Zn-Al fundidos, el cual reacciona con el acero.

La superficie de material sujeto a estas sustancias debe ser preparada mediante un proceso de limpieza antes de su inmersión en caliente, ya que el aluminio y el Zn-Al no tienen adherencia sobre superficies que contengan grasa u óxidos.

2.1.3.1 Limpieza de superficie

El primer paso en la limpieza del material a ser recubierto es el decapado, en el cual este es sumergido en una solución acuosa de un ácido inorgánico. La sustancia penetra en las grietas y poros del óxido presente. Usualmente se emplea una mezcla de ácido nítrico y fluorhídrico o ácido clorhídrico.

Una vez removido el óxido sigue el proceso de limpieza alcalina. En este proceso se emplean soluciones alcalinas calientes (detergentes a base de hidróxido de sodio) para desengrasar la superficie.

Después del ataque químico, el material es enjuagado con una corriente de agua. Posteriormente se utiliza rodillos para retirar el exceso de agua de la superficie.

2.1.3.2 Recubrimiento Galvanizado

La galvanización es el proceso utilizado para recubrir las láminas de acero, en el cual estas son sumergidas en un crisol de una sustancia cuya composición es 99% zinc y 0.05-0.25% aluminio, fundidos a una temperatura entre los 460°C y 480°C.

Mediante una reacción química metalúrgica de difusión se logra unir el zinc a la base de acero. El procedimiento debe ajustarse a la norma ISO 1461 (Recubrimientos galvanizados en hierro y acero).

El recubrimiento galvanizado provee de alta protección catódica en bordes expuestos y ralladuras.

No se aconseja utilizarlo en ambientes que contengan plomo, cobre o madera tratada con cobre. Son severamente corroídos en zonas cercas del mar o con vapores químicos.

El recubrimiento se designa con la letra Z seguida de la masa en (g/m²).

2.1.3.3 Recubrimiento Aluzinc / Galvalume

Este recubrimiento se logra al sumergir las láminas de acero en un crisol de una mezcla de aluminio (55%), zinc (43%) y silicio (1.6%). Este procedimiento sucede a temperaturas entre los 590°C y los 610°C. La barrera de aluminio es particularmente estable ya que el óxido de aluminio de la superficie es insoluble, por lo que representa una buena protección a la corrosión a largo plazo. El zinc protege al acero exponiéndose a la oxidación antes que este por un fenómeno llamado acción de sacrificio. De esta forma protege al acero en casos de rayones, cortes en los bordes y otras áreas expuestas.

El recubrimiento de Aluzinc brinda una alta reflectividad térmica y lumínica: 81% nuevo y 39% envejecido.

Se obtiene un ahorro aproximado de 20% de energía (disminución de AC) y disipa el calor rápidamente cuando el sol se oculta.

Presenta una gran resistencia a la corrosión cuando se encuentra expuesto a los cambios ambientales.

No se aconseja su utilización en ambientes que contengan plomo, cobre, grafito o cemento (es por esto que las placas colaborantes son de acero con recubrimiento galvanizado). Sufre corrosión severa

cuando se encuentra en zonas cercanas al mar o cuando su uso es para confinamiento de animales.

El recubrimiento de Aluzinc se designa con las letras AZ seguido de la masa en (g/m²).

En ambos casos, los procesos de recubrimientos se realizan bajo las siguientes normas:

- ASTM 924: General Requirements for Steel Sheets, Metallic Coated by Hot Dip Process.
- ASTM 792: Steel Sheet, 55% Aluminium-Zinc Alloy Coated by the Hot Dip Process.
- ASTM 653: Steel Sheet Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy Coated by the Hot Dip Process.
- ASTM 755: Spec for Steel Sheet, metallic coated by the Hot Dip Process and Prepainted by the coil-coating Process for exterior exposed building products.
- ASTM 361: Spec for Steel Sheet Zinc coated by the Hot Dip Process for roofing and siding.
- ASTM 568: Spec for Steel Sheet, carbon and high strength, low Alloy, hot rolled, and cold rolled general requirements.

2.1.3.4 Recubrimientos pre-pintados

La pintura es una mezcla de uno o varios pigmentos, en una o más resinas, que cuando son aplicadas sobre un sustrato, tiene la capacidad de formar un film desde opaco hasta brillante que se adhiere a la superficie confiriendo color y protección.

Las pinturas utilizadas para estos recubrimientos pueden ser termoplásticas, en las cuales no hay reacción química y se funden con el calor, o termo estables, estas necesitan de calor para formar el film (curado) y una vez secas no se funden con el calor.

Los componentes básicos de la pintura son los siguientes:

- Solventes (40%): se utilizan para ajustar la viscosidad de la pintura y entregar las propiedades de aplicación. Cumple la función de disolver/diluir los componentes y al ser volátil, no forma parte del film seco.
- Resinas (25%): es la base de la pintura otorgando las propiedades primarias a ella como la flexibilidad y dureza.

Existen resinas en solución, las cuales están disueltas en un solvente orgánico y la formación del film ocurre con la evaporación del solvente.

En las resinas en dispersión, esta se presenta como un polvo y se dispersa en un solvente, el film se forma cuando se evapora el diluyente.

En las resinas en emulsión, esta se encuentra en dispersión o suspensión en agua. El film ocurre con la evaporación del agua.

- Pigmentos (33%): aportan el color e inhibidores de la corrosión pueden ser de naturaleza orgánica, inorgánica y cerámica dependiendo del uso final que se desea obtener.
- Aditivos (2%): son responsables de las características específicas que con las resinas, pigmentos y solventes no se consiguen. Los aditivos más comunes son:
 - Lubricantes: reducen fricción.
 - Catalizadores: aumentan la velocidad de la reacción química.
 - Tenso activos: reducen la tensión superficial para mejorar el recubrimiento del sustrato.
 - Dispersantes: ayudan a incorporar pigmentos en la resina.
 - Plastificantes: reducen la fragilidad, aumentan la flexibilidad y formabilidad.

2.1.3.5 Propiedades de los Componentes de la Pintura

Antes de la aplicación de la pintura, es necesaria la preparación adecuada de la superficie mediante un tratamiento químico. Este consiste en el baño de la superficie con detergentes, bonderites, fosfatos de zinc o de hierro y el sello crómico, que en forma conjunta permiten un buen anclaje del primer sobre el metal base.

Una vez que la superficie se encuentra libre de impurezas que puedan afectar el recubrimiento, se aplica el Primer, el cual actúa como un enlace entre la lámina de acero y el sustrato tratado químicamente y la pintura (top-coat). Cuando están juntos proveen capacidades como:

Intemperismo, resistencia a los ambientes químicos, resistencia al envejecimiento, resistencia mecánica.

2.1.4 Propiedades Mecánicas y Deformación del Acero

El requerimiento básico de cualquier producto es resistir la máxima carga esperada sin deformación permanente.

La resistencia a las cargas está en función de la sección del perfil y de las propiedades mecánicas del material. Las más importantes son: la resistencia

a la fluencia (yield strength), resistencia a la tracción (tensile strength) y la elongación.

La resistencia a la fluencia es el esfuerzo máximo que puede soportar un material sometido a tensión sin sufrir una deformación permanente, es decir que este vuelve a su forma original. La deformación que ocurra dentro de este rango de esfuerzos se denomina deformación elástica.

Una vez que las fuerzas aplicadas a un material generan esfuerzos mayores a los de fluencia, este no regresará a su forma original cuando la fuerza sea retirada. Las deformaciones que ocurren en estos casos son denominadas deformaciones plásticas.

La ley de Hooke se aplica sólo dentro del rango elástico. Esta expresa que el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación. Una vez que este excedido, las deformaciones continúan incluso aplicando una fuerza menor.

2.2 Poliuretano

El poliuretano es un polímero desarrollado en 1937. Los poliuretanos son una amplia clase de polímeros producidas por la reacción de la adición de un diisocianato o un isocianato polimérico con un polioliol, en la presencia de un catalizador y aditivos (1) . En su formación estos compuestos se mezclan a temperatura ambiente y tienen una

reacción exotérmica dando lugar un compuesto estable, uniforme y resistente. A esta combinación básica se le puede añadir variantes y aditivos, según las necesidades y/o aplicaciones, como colorantes y estabilizadores (2).



Fig. 2.3 .- Formación de espuma de poliuretano (Fuente: Christof Jelich, 2007)

2.2.1 El poliuretano en la industria

En el 2004 se consumieron 26.7 billones de libras de poliuretano con un crecimiento anual del 5%. Este gran consumo se debe a su gran versatilidad que permite sus múltiples usos. Entre sus utilidades se encuentran la espumas, recubrimientos, aglomerantes, adhesivos, elastómeros, sellantes, etc. Esto permite que su consumo se extienda entre las industrias de la construcción, transporte, muebles, refrigeración y demás.

Entre las ventajas de este material son:

- Aislamiento térmico
- Aislamiento acústico
- Resistencia al fuego
- Resistencia a solventes químicos
- Resistencia a la abrasión

2.2.2 Manufactura

Dentro de la industria existen diferentes escalas de su producción desde operación manuales hasta producciones en serie. El principio de la manufactura es el mismo: medir los componentes a la razón estequiométrica especificada, mezclarlos hasta obtener un compuesto homogéneo y disponer el líquido en un molde o superficie hasta que cure.

En este trabajo tratamos los paneles inyectados manualmente. En este proceso se utiliza un máquina de proyección que mezcla los dos compuestos (el polioli y isocianato) para después a través de una manguera se inyecta el poliuretano.

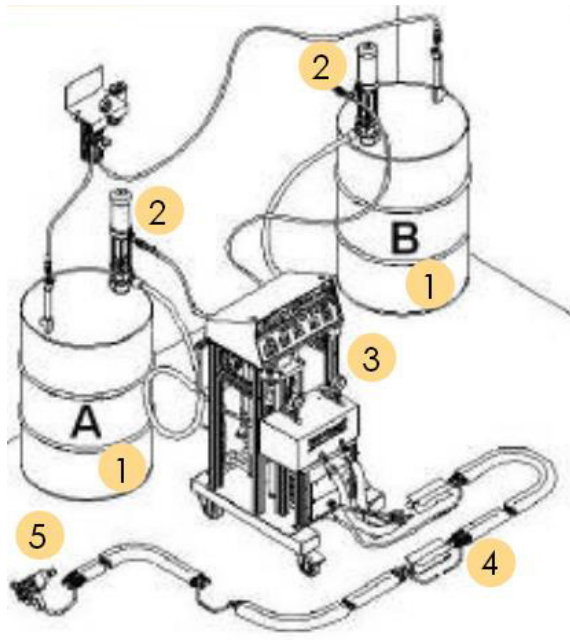


Fig. 2.4.- Esquema de una máquina para proyectar espuma de poliuretano: 1) Materias Primas; 2)Bomba de trasiego; 3)Maquina de Proyección; 4) Manguera calefactada; 5)Pistola (Fuente: ATEPA, 2010)



Fig. 2.5 .- Tanques de suministro de los componentes a una unidad dispensadora de baja presión (Fuente: Cottontails, 2009)

2.2.3 Espuma de poliuretano

Este es el material utilizado en el panel mixto. Para formar una espuma de poliuretano se utiliza un agente hinchante que produce una estructura celular, con un volumen muy superior al de los componentes líquidos antes de la mezcla. Se obtienen espumas de densidades entre 18 y 80 kg/m³. Esta misma estructura celular es la que provee la capacidad aislante, ya que hay espacios interiores con aire.

Es un material muy versátil ya que, según los aditivos y los sistemas de fabricación utilizados, se pueden conseguir características muy distintas y espumas destinadas a usos muy diferentes. Desde los bien conocidos bloques de espuma elástica para colchones hasta espumas casi rígidas para juguetería, automoción o calzados.



Fig. 2.6.- Pieza de espuma de poliuretano descolorida por la exposición a la luz ultravioleta. (Fuente: Cottontails, 2009)

3 FABRICACIÓN DEL PANEL MIXTO

3.1 Orígenes del Panel

En un principio desarrollado en Estados Unidos en la década de 1930 con el propósito de reemplazar el uso de la madera en las viviendas y luego utilizado para satisfacer la demanda de construcción de frigoríficos y cámaras de conservación.

En los últimos años, este producto se ha introducido en el área de la construcción como solución a las necesidades de ahorro energético y para satisfacer las necesidades de los arquitectos e ingenieros en una amplia variedad de edificaciones por sus características aislantes y estructurales.

3.2 Conformación de paneles

En el caso de los paneles mixtos con inyectado de poliuretano, el recubrimiento superior es el que brinda la resistencia estructural significativa, mientras que el panel inferior agrega la característica de acabado para el interior de la obra en el que se utilice y así evitar que el material termo-acústico quede visible.

El proceso empieza cuando el material llega en forma de bobina a la planta. Estas bobinas están conformadas por acero rolado en frío, debido a los bajos espesores con los que se fabrican los productos finales.

Las máquinas de conformación de paneles poseen una matricería diferente según el panel que se requiera. La matricería es conjunto de rodillos (pares) que poseen formas específicas y son colocados en los ejes de la línea de conformado. Están diseñados para que los cambios de la lámina de metal tengan una secuencia paulatina y progresiva.

Una máquina de conformación de panel superior puede transformar entre 1 y 1.5 toneladas diarias en producto terminado.

El proceso del panel inferior es un poco más delicado, debido a que la geometría de este lo hace más frágil.

Por este mismo motivo, la producción de estos paneles es más lenta. Solamente se pueden producir alrededor de 200 y 500 kg de producto terminado al día por cada máquina de conformación.

En el caso del panel superior, el material de la bobina es de acero con recubrimiento de galvalume. Ya que este quedará expuesto a la intemperie y se necesita de dicha protección.

Las bobinas son colocadas en el des enrollador, el cual facilita la continuidad de alimentación de material a las máquinas de conformado de cada panel. Esta maquinaria posee una serie de ejes con una matricería (rodillos) en cada uno. A medida que avanza la lámina de acero, esta matricería va doblando el material paso a paso hasta darle su geometría final.



Fig. 3.1.- Des enrollador (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)



Fig. 3.2.- Matricería para conformar paneles (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

La norma del INEN indica que las dimensiones de los paneles en sus diferentes geometrías deben ser indicadas por el fabricante, brindando al menos la siguiente información básica.

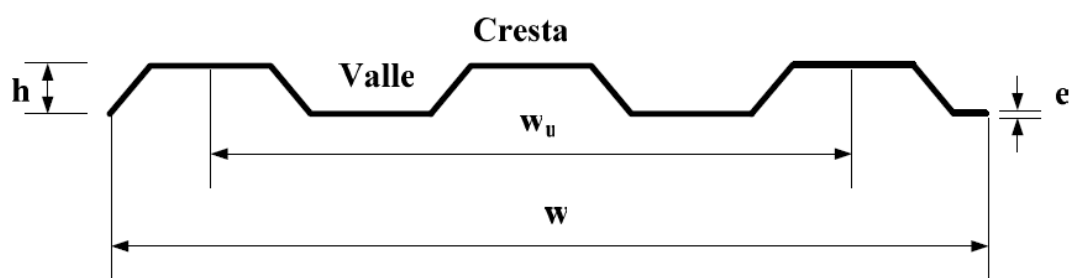


Fig. 3.3.- Dimensiones de paneles (Fuente: INEN, 2008)

El panel superior utiliza una junta Tipo A según la norma NTE INEN 2 221:2008 para requisitos de paneles de acero. Y el panel inferior una junta tipo C como se muestra en la Fig. 3.3 y Fig. 3.4.

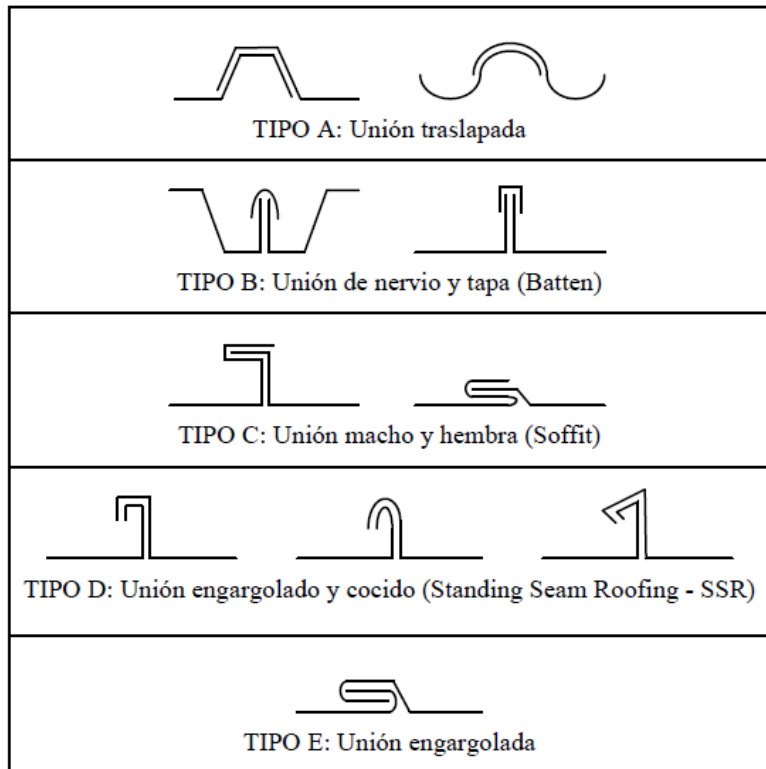


Fig. 3.4.- Tipos de juntas (Fuente: INEN, 2008)

3.3 Proceso de Inyectado

Previo a la mezcla de los componentes para formar el poliuretano se deberá determinar los pesos de cada componente mediante estequiometria.

Antes del inyectado de los paneles se toman ciertas consideraciones. La duración de la reacción después de la mezcla determina el tiempo de manipulación. La reactividad ideal debe permitir mezclar y verter o inyectar el producto en el molde en un tiempo adecuado y después desmoldar lo más rápido posible. En mezclados manuales se recomienda un mezclado de 10-15 segundos y verter en el molde en un tiempo no mayor a 15 s. Con máquinas de inyección, el tiempo de inyección depende de la entrega de la máquina.

El método consiste en disponer la lámina de acero inferior en una prensa larga. Se colocan pedazos de poliuretano previamente formados uniformemente sobre la lámina para que soporten la lámina superior dejando el espesor deseado entre laminas (Figura 3.5).

Luego se coloca la lámina superior y a su vez la prensa se ajusta (Figura 3.6). Finalmente se inyecta el poliuretano en el panel a través pequeños agujeros que se encuentran a lo largo de la prensa (Figura 3.7). Al inyectarse el poliuretano este ira expandiéndose pero la prensa evitara que el panel se mueva o expanda.



Fig. 3.5.- Poliuretano dispuesto en la lámina de superior para disponer la otra lamina inferior del panel sobre esta (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)



Fig. 3.6.- Prensa ajusta sobre el panel armado (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)



Fig. 3.7.- Inyectado de paneles (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

El producto terminado, una vez inyectado el poliuretano entre los 2 paneles metálicos se vería como en la Fig. 3.8

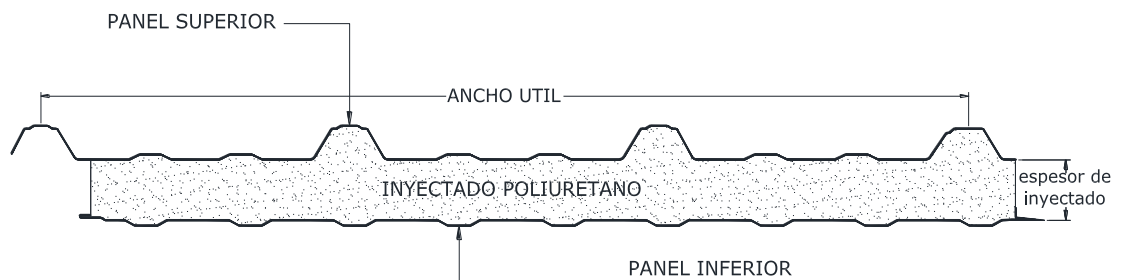
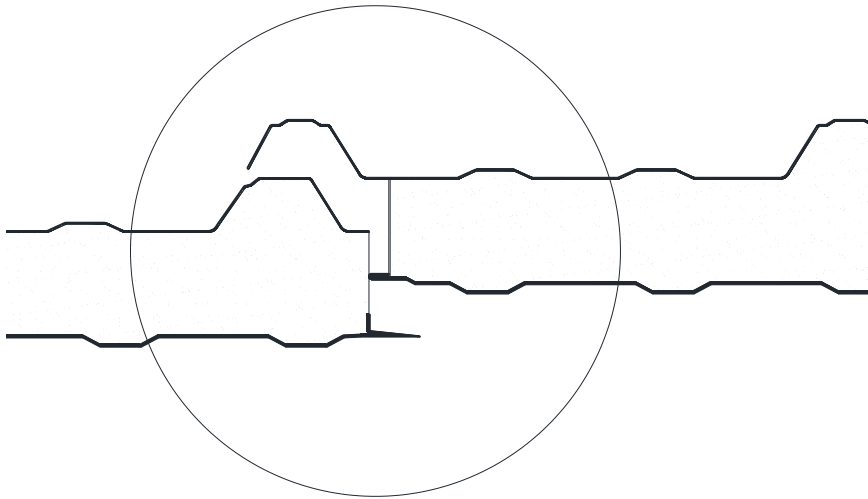


Fig. 3.8.- Sección de un panel mixto con poliuretano (Fuente: METCOL)



TRASLAPE LONGITUDINAL ENTRE PANELES

Fig. 3.9.- Traslape Longitudinal entre paneles (Fuente: METCOL)

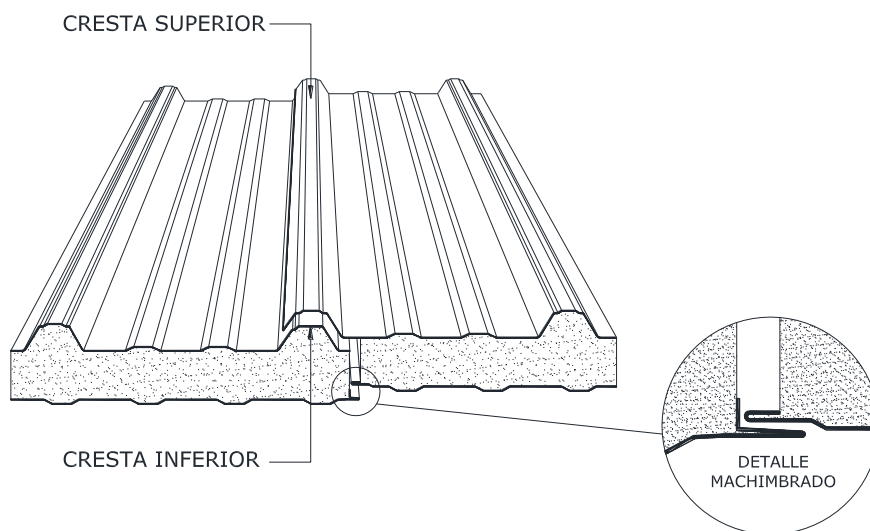


Fig. 3.10.- Traslape entre paneles (Fuente: METCOL)

4 ANALISIS DE LAS PROPIEDADES DEL PANEL MIXTO

Para poder ensayar las propiedades de los paneles tipo sándwich con aislamiento termo-acústico de poliuretano se optó por analizar los materiales comúnmente ofertados en la mayoría de las obras dentro del país.

Para el panel superior se utilizó un acero con recubrimiento galvalume está normado ASTM 792 – ASTM 924, con las siguientes características:

Espesor	Recubrimiento	Dureza
mm	g/m^2	HRB
0.40	AZ50	65 o menos

Tabla 1 Propiedades dimensionales (Fuente: ArcelorMittal)

Límite de Fluencia	Resistencia a la tracción	Elongación
MPa	MPa	%
255	360	18

Tabla II Propiedades mecánicas, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal)

Carbono	Magnesio	Fósforo	Azufre
%	%	%	%
0.2	1.35	0.1	0.04

Tabla III Composición química, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal)

El acero con recubrimiento pre pintado utilizado para el panel inferior está normado ASTM 755 – ASTM 653 posee las siguientes características:

Espesor	Recubrimiento	Dureza
mm	g/m ²	HRB
0.40	Z180	65 o menos

Tabla IV Propiedades dimensionales, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal)

Límite de Fluencia	Resistencia a la tracción	Elongación
MPa	MPa	%
255	360	18

Tabla V Propiedades mecánicas, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal)

Carbono	Magnesio	Fósforo	Azufre
%	%	%	%
0.2	1.35	0.1	0.04

Tabla VI Composición química, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal)

Top Side	Back side
5μ Primer Epóxico (blanco) + 13μ Poliester Regular	5μ Primer Epóxico (gris) + 13μ Poliester Regular

Tabla VII Recubrimiento de pintura, información otorgada por el proveedor del producto (Fuente: ArcelorMittal)

4.1 Resistencia

La resistencia del panel es compartida por la lámina de acero y la espuma rígida de poliuretano. En cuanto al poliuretano la resistencia depende de su densidad. Esto quiere decir que a mayor densidad, aumenta la resistencia a la flexión.

4.1.1 Análisis Estructural

Para el diseño de estos paneles se debe tener en cuenta factores que no se presentan en materiales comunes de la construcción, como la hipótesis de la ecuación de la doble integración de Euler de que la sección transversal plana permanece plana al deformarse el elemento pero esto no se cumple ya que solo ocurre de manera individual para cada componente del panel. Debido a no ser un material homogéneo es más difícil predecir su comportamiento.

Los esfuerzos que deberá soportar el panel son momentos flectores y fuerzas cortantes. Al haber una carga, se producirá un momento en panel que resultara en esfuerzos axiales de compresión en el recubrimiento superior y de tensión en el inferior como también un esfuerzo cortante (Fig. 4.1).

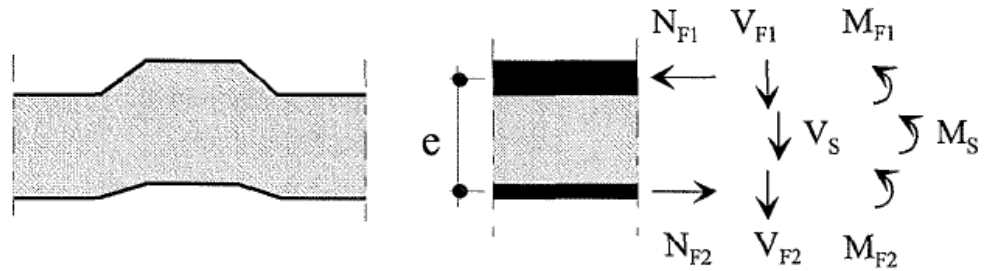


Fig. 4.1.- Esfuerzos resultantes en cara transversal del panel (Fuente: ECCS/CIB, 2000)

Las ecuaciones para los esfuerzos internos serían:

$$\sigma_{F11} = \sigma_{F1} - \frac{M_{F1}}{I_{F1}} d_{11}, \quad \sigma_{F12} = \sigma_{F1} + \frac{M_{F1}}{I_{F1}} d_{12}$$

Ecuación 4-1.- Esfuerzos axiales del recubrimiento superior de los paneles

$$\sigma_{F21} = \sigma_{F2} - \frac{M_{F2}}{I_{F2}} d_{21}, \quad \sigma_{F22} = \sigma_{F2} + \frac{M_{F2}}{I_{F2}} d_{22}$$

Ecuación 4-2.- Esfuerzos axiales del recubrimiento inferior de los paneles

$$\tau_{F1} = \frac{V_{F1}}{n_1 s_{w1} t_1}, \quad \tau_{F2} = \frac{V_{F2}}{n_2 s_{w2} t_2} \quad (3.3 \text{ a, b})$$

Pero como el recubrimiento inferior es plano se desprecia su rigidez a la flexión por lo la Ecuación 4-1 se reduciría a:

$$\sigma_{F2} = \frac{N_{F2}}{A_{F2}} = \frac{M_S}{e A_{F2}}$$

Ecuación 4-3.- Esfuerzo axiales de recubrimiento inferior

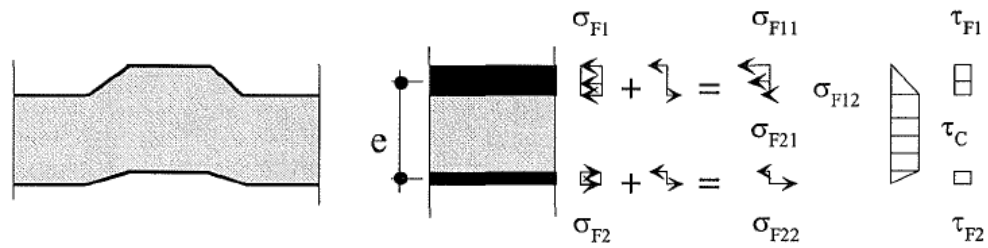


Fig. 4.2.- Distribución de esfuerzos internos (Fuente: ECCS/CIB, 2000)

Estos esfuerzos resultantes y la deflexión pueden ser calculados mediante métodos analíticos o numéricos. Ha habido un extenso estudio para el cálculo de estos esfuerzos desde la década de 1970. Ya gracias el uso de la computadora se puede simular el comportamiento de un panel cargado mediante el uso de elementos finitos.

La solución recomendada por la ECCS para el cálculo de deflexiones de un panel simplemente apoyado de E. Wölfel se puede revisar en el Anexo 1.

4.1.2 Fluencia Lenta

Al ser el poliuretano un material visco elástico este presenta deformaciones bajo cargas constantes después de periodos largos de tiempo. Esto es un importante factor para los paneles especialmente usados como cubierta ya que en su disposición el panel se encuentra bajo constantes momentos flectores. El caso con los paneles utilizados como mampostería y muros

portantes no tienen tanta incidencia la fluencia lenta ya que están sujetas a más fuerza de compresión. Esto por eso que el panel utilizado como cubierta debe ser diseñado para soportar cargas ocasionales para inspección.

4.1.3 Calculo de Modulo de Cortante

Esta propiedad es importante conocer del panel mixto con poliuretano. Dado que el panel en la cubierta trabaja más a flexión y las láminas de acero tienen una gran ductilidad generalmente falla por cortante el poliuretano antes de que llegue a fluencia la lámina inferior de acero.

Hemos seleccionado un panel de fabricación nacional para determinar esta propiedad. Se realizó el ensayo según la norma ASTM C393. Este generalmente se hace para determinar la rigidez a la flexión, la resistencia al cortante del núcleo y módulo de cortante o la resistencia a la compresión y tensión de los recubrimientos.

El ensayo se lo realizo en el Laboratorio De Ensayos Metrológicos y De Materiales (LEMAT).

Se utilizó la máquina universal de ensayos, capaz de mantener una carga controlada y continua con exactitud de $\pm 1\%$ del valor indicado.

Se ensayaron 5 probetas de 30cm de largo y 5cm de ancho. De las cuales 2 fueron obtenidas a partir de las crestas del panel y 3 de los valles. Esto con la finalidad de obtener un módulo de cortante del núcleo de poliuretano representativo del panel.

Se colocaron las probetas simplemente apoyadas, con una distancia entre apoyos de 10cm.

Según la norma, se debe utilizar una velocidad de carga con la cual se alcance un tiempo de ensayo de entre 3 y 6 minutos.

Se utilizaron 2 probetas de prueba para encontrar la velocidad de carga. Y como resultado se obtuvo una velocidad de carga de 5mm/min.

Luego de ensayar las cinco muestras del panel para así obtener el módulo de cortante (Anexo 2). El material resulto tener un módulo de cortante de:

$$\tau = 4.06 \text{ kg/cm}^2$$

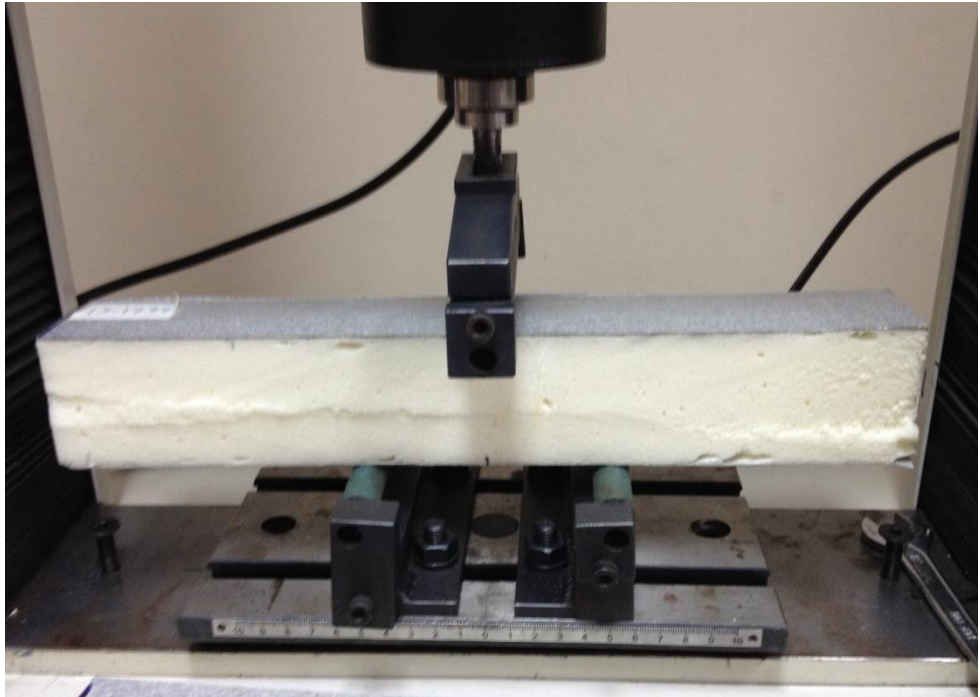


Fig. 4.3.-Ensayo a flexión con dos puntos de apoyo (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)



Fig. 4.4.- Falla del panel por cortante del núcleo (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

4.1.4 Propiedades geométricas del panel mixto con poliuretano

La lamina superior del panel es perfilado a fin de proveerle más rigidez, esto se debe a su geometría que le provee un módulo de sección superior que le permite soportar unos mayores esfuerzos de flexión. La sección de la lámina se puede apreciar en la Figura 4.5. La lámina inferior es plana por lo que resistencia a la flexión es mucho y se desprecia su capacidad.

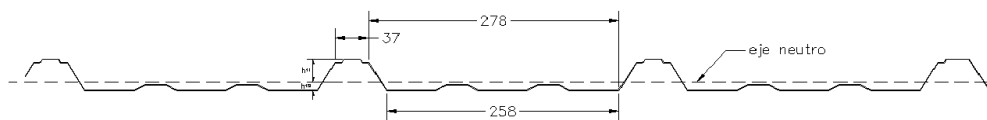


Fig. 4.5.- Sección de lámina superior del panel mixto (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Las propiedades geométricas son las siguientes

$$A_f = 497.46 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 73080 \text{ mm}^4$$

$$h_{11} = 26.13 \text{ mm}$$

$$h_{21} = 9.27 \text{ mm}$$

4.1.5 Ensayo a Carga Puntual

Para poder conocer la luz óptima entre apoyos para la instalación del panel tipo sánduche, realizamos una serie de pruebas de carga puntual. De igual manera se llevó a cabo el mismo ensayo con un panel simple con recubrimiento galvalume y poder así realizar un análisis comparativo.

Para la prueba, se colocaron dos caballetes para simular la estructura de correas de soporte de una cubierta. Se colocó los paneles sobre estas. Se cargó los paneles puntualmente con pesas hasta sumar un total de 81.9kg. Estas cargas fueron colocadas en el valle central del panel a una distancia igual de cada apoyo.

La prueba consistió en colocar el material simplemente apoyado entre dos caballetes y cargarlo puntualmente (Fig. 4.6) hasta 81.9 Kg. Esto según el requisito 6.1.4.3 de la norma INEN 2 221:2008.



Fig. 4.6.- Prueba de carga (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

En la Tabla VIII se muestra las pruebas realizadas.

Material	Luz libre (m)					
	1.5	1.75	1.9	2.1	2.3	2.5*
Plancha galvalume e=0.4 mm						
Panel Mixto con poliuretano	2	2.5	3	3.9		

*: Fallo a los 75.6 Kg

Tabla VIII.- Prueba de carga puntual de 81.6 Kg (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

En esta prueba se constató la capacidad de carga del panel mixto es muy superior al de la plancha simple de galvalume. El panel mixto luego de ser cargado a una luz entre apoyos de 3.9 m seguía sin sufrir una deflexión importante incluso una persona se colocó sobre este panel y este seguía funcional (Fig. 4.7).



Fig. 4.7.- Prueba de carga (81.9 kg + persona de 59 kg) del panel mixto, luz entre apoyos 3.9 m. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Esto en contraste que la plancha simple de galvalume falló con una carga puntual de 75.6 kg a una luz libre de 2.5 m (Fig. 4.8).



Fig. 4.8.- Falla de plancha galvalume 75.6 kg, luz libre 2.5 m (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

4.1.6 Utilización del software swe2 para el análisis estructural

El software libre swe2 permite determinar las deflexiones y esfuerzos internos de un panel simplemente apoyado o continuo. Este llega a la solución por medio de métodos numéricos.

Por medio del programa modelamos el caso más crítico del panel que ensayamos en la prueba de carga realizada, i.e., simplemente apoyado a una luz de 3.9 m.

Ingresamos las propiedades geométricas y físicas del panel (Fig. 4.9). Estas propiedades son las que se analizaron anteriormente, como módulo de cortante, inercia, espesores, etc.

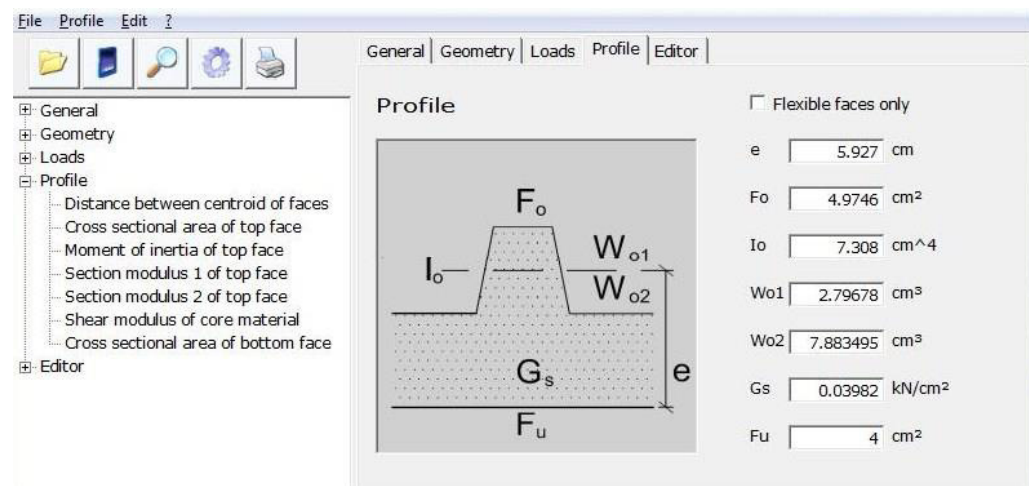


Fig. 4.9.- Ventana de Ingreso de datos de la sección (Fuente: swe2)

Luego colocamos la carga que deseamos analizar y así como la luz del panel (Fig. 4.10 y Fig. 4.11).

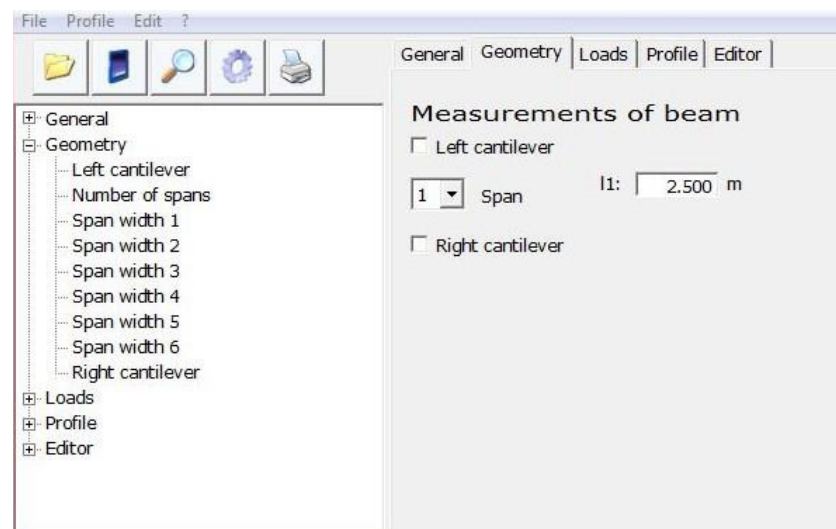


Fig. 4.10.- Ventana de ingreso de dimensiones (Fuente: swe2)

Loads

To °C Tu °C

Burden

a m F kN

Fig. 4.11.- Ventana ingreso de carga (Fuente: swe2)

En la Tabla IX se muestran los resultados

Carga (kg)	Luz (m)	Deflexión (cm)	l/180 (cm)
80	3.9	2.237	2.17
80	3.5	1.810	1.94
80	3	1.327	1.67
80	2.5	0.906	1.39

Tabla IX.- Resultados de deflexiones a diferentes distancias de apoyos carga puntual (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Como se observan en la tabla anterior hay una columna que indica l/180 que se refiere a la luz dividida para 180. Esto es el límite de deflexión para elementos de cubiertas bajo carga viva según la International Building Code (IBC). Se observa para luces menores a 3.9 m el panel cumple dicho requerimiento.

Si volvemos hacer el análisis con una carga uniformemente distribuida y estos resultados los comparamos con los resultados (Anexo 3) dados por las formulas del ECCB se obtienen resultados mostrados en la siguiente tabla:

Luz (m)	Deflexión por swe2 (cm)	Deflexión por Wölfel (cm)	Diferencia (cm)
3.9	1.360	1.319	0.041
3.5	1.105	1.0978	0.0072
3	0.795	0.828	0.033
2.5	0.558	0.5758	0.0178

Tabla X.- Comparación de resultados de carga distribuida entre el software swe2 y el método analítico de Wölfel (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Como se observa ambos resultados son muy cercanos con una máxima diferencia del 1×10^{-2} cm = 0.1 mm. Con lo que demuestra que ambos métodos podrán ser utilizados de la misma manera. De la misma manera ambos resultados están acordes con lo visto en la prueba de carga donde las deflexiones fueron imperceptibles a simple vista.

4.2 Aislamiento Térmico

La propiedad de aislante térmico la confiere el poliuretano en el núcleo del panel.

Esta es medida mediante la conductividad térmica.

El poliuretano utilizado es de baja densidad. En su estructura se encuentran celdas al vacío que reducen la conducción. El tamaño de las celdas depende de la formulación del poliuretano. Formulaciones que tienden a obtener un poliuretano de mayor densidad contiene celdas más cerradas que incrementan la conductividad térmica.

4.2.1 Ensayo

Este ensayo se lo realizó según la norma ISO 8990:1994.

Se utilizaron paneles metálicos mixtos con aislamiento de poliuretano para armar una caja de 1 metro de ancho, por un 1 metro de largo, por 50cm de alto. El interior de la caja fue dividido a la mitad por un panel del mismo material. Este ensayo se realizó para determinar las diferencias de temperaturas entre dos cámaras con la finalidad de obtener la tasa de transferencia del material divisor.



Fig. 4.12.- Caja de ensayo térmico (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)



Fig. 4.13.- La caja cubierta cerrada por panel superior (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

En una de las cámaras se colocó una fuente emisora de calor y un ventilador para que el aire dentro de esta se mantenga en circulación y tratar que dentro de la cámara la temperatura sea homogénea. Para tomar los

primeros datos, se adhirió en cada cara del panel divisorio un termómetro para tomar las temperaturas. Se esperó aproximadamente 3 horas hasta que la temperatura dentro de las cámaras se estabilizara. Se tomó las lecturas de los termómetros.



Fig. 4.14.- Fuente emisora de calor con la termocupla en contacto con la superficie del panel (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)



Fig. 4.15.- Ambos lectores de temperatura para cada cámara. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Luego se realizó el mismo procedimiento, pero en esta ocasión se colocó los termómetros suspendidos en las cámaras para tomar la temperatura del ambiente en cada una de estas.



Fig. 4.16.- Termocupla tomando la temperatura del ambiente. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Los datos obtenidos del ensayo fueron los siguientes:

Descripción	Unidad	Cantidad
Área del panel	m ²	0.45
Potencia de emisor de calor	W	75
Potencia ventilador	W	1.7
Temperatura ambiente	°C	29.5

Temperatura superficie caliente	°C	45.7
Temperatura superficie fría	°C	33.1
Temperatura cámara caliente	°C	43.2
Temperatura cámara fría	°C	33.5

Tabla XI.- Datos obtenidos en el ensayo térmico. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Una vez obtenidos los datos del ensayo, se procedió a utilizar las fórmulas estipuladas en la norma ISO 8990:1994 para determinar la resistencia térmica y la conductividad térmica del panel probado.

$$R_a = \frac{(\theta_{ha} - \theta_{ca}) * A}{Q_h + Q_f}$$

Ecuación 4-4.- Resistividad Térmica del aire

$$R_s = \frac{(\theta_{ha} - \theta_{ca}) * A}{Q_h + Q_f}$$

Ecuación 4-5.- Resistividad Térmica de la muestra

$$k = \frac{1}{R_s}$$

Ecuación 4-6.- Conductividad Térmica

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Descripción	Unidad	Cantidad
R _a	m ² K/W	0,0569
R _s	m ² K/W	0,0739
k	W/m K	0,7846

Tabla XII.- Resultados ensayo térmico. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Debido a que el ensayo se realizó de manera artesanal y no bajo condiciones controladas de laboratorio, el dato obtenido para la conductividad térmica no es representativo del material analizado (valor real 0.025 W/m K).

Para realizar comparaciones con otros materiales de construcción utilizados en cubiertas se utilizará el valor real obtenido en ensayos de laboratorios especializados en el exterior.

4.3 Aislamiento Acústico

El objetivo del aislamiento acústico es impedir que los ruidos generados en un ambiente no se transmitan a los adyacentes, como caso particular que los ruidos procedentes del exterior se transmitan al interior de un edificio.

En este caso se analizó el efecto del impacto de las gotas de agua en una lluvia. Este ruido es el caso práctico más representativo en una edificación, ya que afecta directamente a la cubierta. Los ruidos provenientes de vehículos y personas en el exterior pueden filtrarse por paredes, puertas, ventanas, etc. No depende directamente del material utilizado en la cubierta.

4.3.1 Ensayo

Se analizó dos materiales para poder hacer un análisis diferencial de la reducción de ruido. Se usó un panel con recubrimiento de galvalume y un panel mixto con inyectado de poliuretano.

Se colocó sobre dos caballetes los paneles de manera horizontal (Fig. 4.17). Luego se roció agua sobre el material, simulando una lluvia de alta intensidad, mientras se medía el nivel de decibeles en lado inferior del panel con un sonómetro (Fig. 4.18).



Fig. 4.17.- Ensayo de medición de ruido de lluvia simulada. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)



Fig. 4.18.- Sonómetro (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Material	Intensidad Sonora (dB)			
	Ambiente	Lluvia		
		Mínima	Promedio	Máxima
Plancha Galvalume	74	89	94	96
Panel Mixto	74	78	81	84

Tabla XIII.- Resultados ensayo acústico (realizado en zona industrial) (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Tipo de zona según uso del suelo	Intensidad sonora (db)	
	De 6h00 a 20h00	De 20h00 a 6h00
Zona hospitalaria o educativa	45	35
Zona residencial	50	40
Zona residencial mixta	55	45
Zona comercial	60	50
Zona comercial mixta	65	55
Zona industrial	70	65

Tabla XIV.- Emisiones de ruido permisible según uso del suelo. (Fuente: Libro VI, Anexo 5 sobre Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles y para vibraciones de la constitución de la república.)

Durante el ensayo se puede observar claramente que la incidencia de la lluvia sobre la cubierta de un galpón en zona industrial, puede hacer que los niveles de ruido aumenten considerablemente.

El inyectado de poliuretano de esta clase de paneles ayuda a controlar este aumento de ruido y mantenerlo dentro de un rango tolerable si se utilizan protecciones auditivas (el rango de disminución de las protecciones auditivas va de 20db a 35db).

5 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL PANEL MIXTO CON AISLAMIENTO TERMO-ACÚSTICO CON OTROS MATERIALES UTILIZADOS COMO CUBIERTAS

Los materiales seleccionados para el análisis son el panel metálico y de fibrocemento por ser los más utilizados tanto en cubiertas de viviendas como de galpones industriales.

5.1 Económico

Este se realizara mediante análisis de precios unitarios con costos tomados en la actualidad. Hay que tener en cuenta que el costo del material tiene relación con la

eficiencia productiva de la industria ecuatoriana, pudiendo en el futuro reducirse o aumentar el costo del mismo dependiendo del avance tecnológico, economía, y como también, el estado y legislación de la fuerza laborar del país.

Los costos de la provisión e instalación de cada material se muestran en la tabla VIII luego de realizado los respectivos análisis de precios unitarios (Anexo 4)

Material	Panel Mixto con Poliuretano	Panel Metálico	Panel Fibrocemento
Costo (\$) /m²	37.55	12.51	11.30

Tabla XV.- Costo por m² de provisión e instalación de los diferentes materiales (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

5.2 Propiedades

5.2.1 Estructural

Un material utilizado como cubierta dependiendo de su capacidad de carga necesitara más puntos de apoyos, reduciendo el distanciamiento entre estos, para así disminuir las fuerzas de momentos producidos. Así se evitan deflexiones excesivas que producirían una falla del material. Como práctica común se utilizan perfiles de acero formados al frio, llamados correas, para el soporte de la cubierta (Ver Figura 5.1). Se hizo el análisis de los

requerimientos de apoyos de cada material. La tabla III muestra los resultados

Material	Panel Mixto con Poliuretano	Panel Metálico	Panel Fibrocemento
Distancia entre correas sugerida	2.40	1.80	1.75
m de correa/m ²	0.83	1.11	1.14

Tabla XVI.- Metros de correas por m² de cubierta, datos de distanciamiento de correas obtenidos del proveedor. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Teniendo los metros lineales de correas para cada tipo de material se podrá ver el costo relacionado a este requerimiento. El análisis de precio unitario (Anexo D) muestra un costo de \$ 5.06/ ml. El costo por metro cuadrado para cada material se muestra en la siguiente Tabla XVII.

Panel Mixto con Poliuretano	Panel Metálico	Panel Fibrocemento
4.20	5.62	5.77

Tabla XVII.- Costo de correas por metro cuadrado de cada material (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

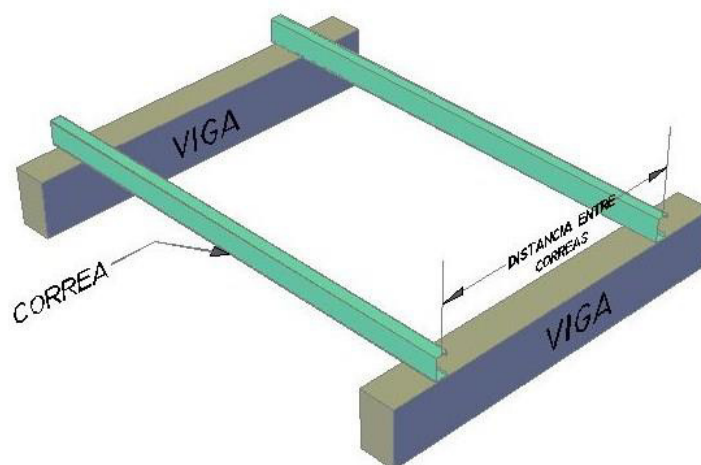


Fig. 5.1.- Distanciamiento entre correas (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

5.2.2 Aislamiento Térmico

Las conductividades térmicas de laboratorio de los 3 materiales son:

Material	Conductividad Térmica (W/mK)
Panel Metálico	58
Fibrocemento	0.18
Panel de Poliuretano	0.025

Tabla XVIII.- Conductividades Térmicas, información de proveedores. (3)

Claramente el panel mixto de poliuretano tiene menor conductividad térmica haciéndola más beneficiosas para cubiertas especialmente en esta latitud ecuatorial donde la incidencia de la radiación solar es mayor y por ende caliente las cubiertas.

El panel de poliuretano proveería ambientes interiores más confortables para la vivienda o el trabajo en galpones industriales.

5.3 Impacto Ambiental

Un factor a considerarse el impacto que provoca el material al ambiente y que podría influir en la elección por parte del usuario.

El acero es uno de los materiales con mayor facilidad para su reutilización. Incluso empresas como *Adelca S.A.* lo realizan en el país. Los paneles de acero galvanizados podrían ser reutilizados para formar nuevos paneles o algún otro producto a base de acero.

El poliuretano también puede ser reciclado para formar nueva espuma de dicho material pero su proceso es más complejo y actualmente no se lo realiza en el país.

El fibrocemento es inocuo si esta entera, pero es peligrosa si suelta partículas de polvo. En países como España su remoción es estrictamente controlada ya que podrían levantar fibras de asbesto al ambiente y es muy conocido que estas fibras generan cáncer pulmonar. Esto encarecería en futuro el proceso de remoción en caso de que se diera.

6 CASO PRÁCTICO – KITTON S.A.

6.1 Requerimientos de la obra

Debido a la necesidad de grandes espacios abiertos en el área del almacén, es necesario contar con la menor cantidad de columnas que obstruyan la ubicación de los estantes para los materiales y herramientas en exposición. Esto se logró utilizando estructura metálica y situando las columnas a lo largo del eje central del galpón, creando así una estructura de cubierta a 3 aguas.



Fig. 6.1.- Estructura de Cubierta (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

El gran área del almacén será climatizado por un sistema de acondicionamiento de aire central. El área de la cubierta recibe directamente el ataque de la intemperie, produciéndose por esta la mayor transferencia de temperaturas. Para reducir al

mínimo el consumo eléctrico del sistema de climatización es necesario que la cubierta aisle el ambiente interior de la edificación de la temperatura externa.

El almacén no contará con ningún material de tumbado falso (gypsum, Armstrong, fibrolit, yeso, etc.) por lo que el acabo inferior de la cubierta a utilizarse debe proporcionar un aspecto limpio y un color agradable a la vista. No debe desprender ningún tipo de material que pueda caer y causar daño a los usuarios o alguna sustancia tóxica para la salud humana.

El acabado exterior no exige ningún color específico. Su función única será proteger el interior de los efectos ambientales y reducir al mínimo la transferencia de calor.

6.2 Selección del panel mixto sobre otros materiales

6.2.1 Preferencias estructurales

La cubierta del galpón del almacén Kitton S.A. consta de un área neta de 8,100.5m².

Si calculamos la estructura de correas de soporte para cubierta necesaria según la tabla XV, obtenemos la siguiente cantidad de metros lineales de correa para cada tipo de cubierta.

Material	Panel Mixto con Poliuretano	Panel Metálico	Panel Fibrocemento
m de correas	6,723.42	8,991.56	9,234.57

Tabla XIX.- Tabla de cantidades de correas necesarias según el material utilizado (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

En cuestión de estructura de soporte para una cubierta de un área tan extensa, el panel mixto con inyectado de poliuretano presenta una gran disminución en metro lineales de correas.

6.2.2 Preferencias de acabado

El panel metálico simple puede ser pre o post pintado para evitar el acabo del galvalume (gris). Pero a pesar de esto su geometría no lo hace nada atractivo para ser utilizado como tumbado de un almacén comercial.

El fibrocemento puede ser post pintado de igual manera, pero esto no evitara que se desprendan partículas mientras pasan los años. Afectando la salud de los trabajadores de la empresa y sus clientes.

El panel inferior de los paneles metálicos mixtos con inyectado de poliuretano, representan un protección para que ninguna partícula del poliuretano se desprenda y quede expuesta a los usuarios del galpón. Al mismo tiempo al ser material pre pintado y con una geometría agradable a la vista, evita el uso de algún tumbado falso que lo oculte a la vista.

6.2.3 Inversión Inicial

El costo de la cubierta de paneles mixtos con inyectado de poliuretano es aproximadamente 2.5 veces mayor al de las opciones de panel metálico simple y el de fibrocemento como muestra la tabla XV.

En este aspecto el panel con inyectado de poliuretano está en desventaja con las otras opciones.

Material	Panel Mixto con Poliuretano	Panel Metálico	Panel Fibrocemento
Costo Material (\$)	304,173.78	101,337.26	91,153.57
Costo Estructura de Soporte (\$)	34,020.50	45,497.29	46,726.92
Costo Total (\$)	338,194.28	146,834.55	137,880.49

Tabla XX.- Costo de Totales de provisión e instalación. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

A pesar del alto costo de este tipo de paneles, en el caso del galpón de la empresa Kitton S.A., representa un ahorro inmediato en estructura de soporte pero globalmente es mínimo al costo total del material de cubierta.

6.2.4 Costos operativos

Ya conociendo los costos de inversión inicial de cada uno de los materiales y tomando en cuenta la característica distinguida del panel mixto de su baja conductividad térmica, se puede hacer un análisis en cuanto al desempeño a largo plazo de la edificación, basándonos en su consumo energético destinado al enfriamiento a largo plazo.

Se determinó la carga de calor añadida al sistema a través de la cubierta. Conociendo la conductividad térmica y el espesor de cada uno de los materiales se puede determinar su conductancia térmica.

En la siguiente tabla se muestra las conductancias térmicas

Material	Conductividad Térmica (W/m K)	Espesor (m)	Conductancia Térmica (W/m ² K)
Panel Metálico	58	0.0004	145000
Panel Mixto	0.025	0.05	0.5
Plancha Fibrocemento	0.18	0.006	30

Tabla XXI.-Conductancia térmica de los materiales. (3)

Según el confort higrotérmico la temperatura de satisfacción térmica es de entre 21 y 25°C. Tomaremos la media que es 23°C de temperatura interior para determinar el gradiente de temperatura de diseño (ΔT) con una temperatura exterior de 30°C. Teniendo el área de la superficie de la cubierta que es 8,100.5 m² se puede calcular las pérdidas de temperatura. Si multiplicamos este valor por las horas operacionales, 8 horas diarias, en un año se determina la demanda de enfriamiento del edificio por pérdidas por la cubierta (E). Se hizo la asunción que el equipo utilizado tiene una eficiencia clase G con un coeficiente de energético de 2.2 (i.e.: para retirar 1 W del sistema necesitara 0.45 W de energía eléctrica) para determinar el consumo del equipo capaz de cubrir la demanda.

En la Tabla XXII se muestra la demanda para cada material así como su costo anual. Estos valores son los costos de energía eléctrica necesaria para cubrir

las ganancias de calor a través de la cubierta. Esto un costo añadido al costo base de energía eléctrica relacionado a cubrir las ganancias de calor debido a: equipos, personas y volumen de las instalaciones.

	Superficie (m ²)	ΔT	horas	Demanda anual E (kWh)	Consumo del equipo anual kWh (consumo)	\$/kWh	Costo anual \$/año
Plancha Metálico	8100.5	7	2920	2.5E+09	1.2x10 ⁹	0.09	104,021,466.14
Panel Mixto con Poliuretano	8100.5	7	2920	1.2E+04	5.4x10 ³	0.09	483.82
Fibrocemento	8100.5	7	2920	7.1E+05	3.2x10 ⁵	0.09	29,029.25

Tabla XXII.- Costo eléctrico anual debido a pérdidas de temperatura por a través de la cubierta. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Se concluyó que la plancha galvalume ni siquiera es una opción viable debido al costo anual desorbitante. Esto lógicamente por el bajo espesor del material y la alta conductividad térmica que produce grandes pérdidas. Combinado esto con la gran superficie de cubierta que existe debido a la edificación tipo galpón industrial se produce un escenario casi cercano a enfriar un espacio abierto no confinado.

La diferencia de costos energéticos entre el poliuretano y el fibrocemento es de \$ 28,545.43 anuales esto a causa a los antes indicado de la gran superficie de cubierta. En otras palabras hay un ahorro de \$ 28545.43 anuales relacionado a la utilización del panel mixto con poliuretano en contraste con la utilización de plancha de fibrocemento.

6.3 Método Constructivo

6.3.1 Seguridad en la obra

En los últimos años, se ha ido incrementando en el sector industrial el interés en alcanzar y demostrar un sólido desempeño de la Seguridad y Salud en el trabajo (SST), mediante el control de los riesgos.

En el Ecuador, las empresas usan como guía los estándares OHSAS 18001:2007 sobre gestión de la SST y el decreto 2393 del IEES del Código de Trabajo, sobre Reglamentación de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Ambiente de Trabajo.

Al momento de instalar una cubierta de panel metálico, los obreros deben realizar una serie de actividades. Cada una de estas va de la mano de un riesgo potencial. Es necesario evaluar cada uno de estos, para saber las consecuencias y poder tomar acciones preventivas y correctivas.

6.3.2 Actividades y riesgos existentes

Previo a comenzar la instalación, es necesario delimitar el área de trabajo. Esto se realiza con una estructura de soporte (por lo general conos de color llamativo) y una cinta que haga visible el área.

El siguiente paso es armar el andamio o escalera telescópica que permita subir al personal a la estructura de cubierta. Durante esta actividad, es necesario que los instaladores carguen objetos de un peso considerable. Esto puede ocasionar golpes, lesiones en las manos, inflamación muscular, etc.



Fig. 6.2.-Escalera telescópica de acceso a la cubierta (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)



Fig. 6.3.- Personal realizando movimiento de los paneles (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Una vez colocada la escalera o el andamio, el personal sube a la estructura.

Durante el ascenso hay posibilidad de caídas de altura.



Fig. 6.4 Selección de paneles según su longitud para subida a estructura. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Uno de los instaladores deberá colocar una línea de vida que estará sujeta a la estructura metálica. Este procedimiento puede tener consecuencias como golpes, cortes o caídas.

El personal que se encuentra bajo la estructura, se encargará de la clasificación, corte y subida de paneles. Durante estas actividades hay gran posibilidad de cortes con los filos expuestos de los paneles, golpes por inestabilidad a la hora de movilizar los paneles, inflamación muscular por cargar pesos considerables durante periodos prolongados e irritación y

problemas respiratorios por las partículas de poliuretano enviadas al aire a la hora de realizar los cortes.

Cuando los paneles llegan a la cubierta, son acumulados por sectores para luego ser distribuidos hasta que lleguen a su posición final, donde serán empernados a la estructura. Durante esta actividad, el personal está expuesto durante largas horas a los efectos de la luz solar, lo cual puede causar quemaduras en la piel y el reflejo en los paneles puede encandilar los ojos.

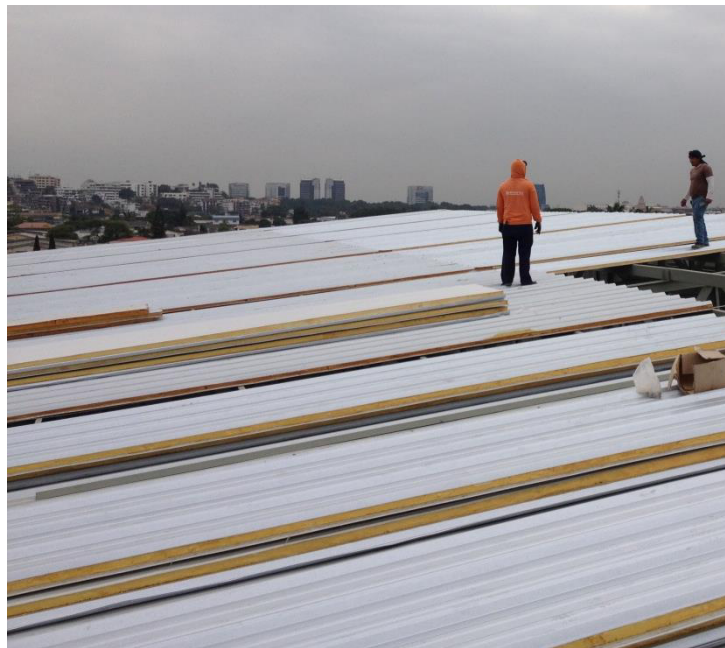


Fig. 6.5 Paneles distribuidos en cubierta. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)



Fig. 6.6.- Acumulación de paneles sobre cubierta. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

A la hora de realizar la instalación de los elementos de remate (acabados), se deben realizar cortes con precisión. Por esta actividad, el personal puede sufrir cortes por el uso de las tijeras o sierras y golpes a la hora de trasladar estos elementos a su posición final.

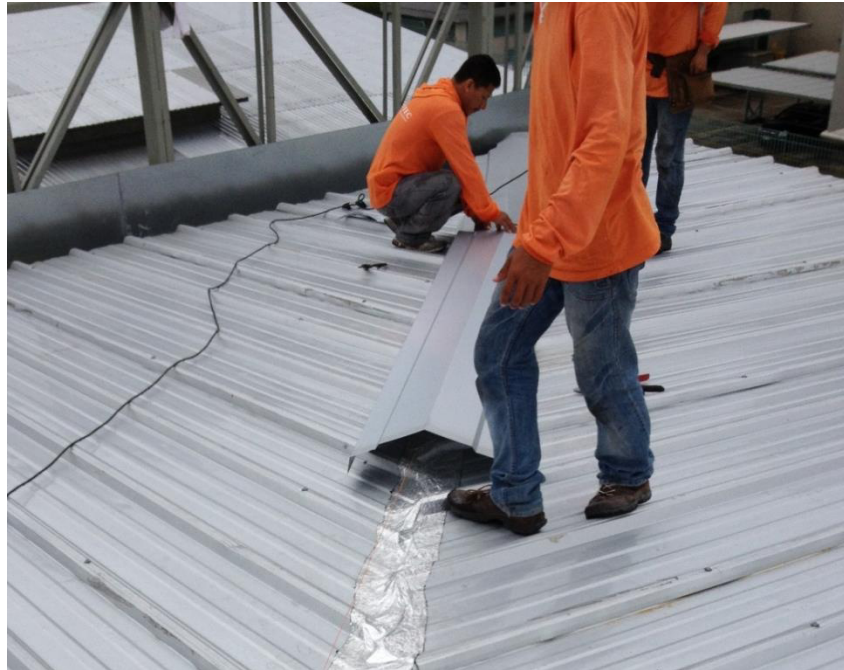


Fig. 6.7.- Instalación de remate tipo cumbrero. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

Cuando se culminan los trabajos, es necesario que el área de trabajo quede completamente limpia. Durante esta limpieza se pueden sufrir golpes por movilización de recortes de tamaño considerable, cortes por los filos metálicos expuestos e irritación y la inhalación de partículas producidas por los cortes de poliuretano.

6.3.2.1 Equipo de seguridad necesario

En el Art. 11 sobre Obligaciones de los Empleadores del Reglamento de Seguridad y Salud del IESS se estipula que se debe adoptar las medidas necesarias para la prevención de los riesgos que puedan

afectar a la salud y al bienestar de los trabajadores en los lugares de trabajo de su responsabilidad.

En este mismo artículo se menciona también la obligación del empleador de entregar gratuitamente a sus trabajadores vestido adecuado para el trabajo y los medios de protección personal y colectiva necesarios.

Para disminuir los niveles de riesgo durante la instalación de cubiertas de paneles metálicos, se debe utilizar los siguientes equipos de protección personal (E.P.P.).

- Casco con soporte

Estos deben cumplir lo exigido en el art. 177 del Reglamento de Seguridad y salud del IESS.

Sirven para proteger la cabeza del trabajador de golpes por caída de objetos. El soporte en el que se apoya la cabeza del usuario lo separa del material rígido del casco. Deberán estar fabricados de un material liviano que no cause fatiga por su uso y resistente a impactos. Constará con barbiquejo para evitar su caída a causa de movimientos. Carecerá de aristas vivas y de partes salientes que puedan lesionar al usuario.



Fig. 6.8.- Soportes al interior del casco. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)



Fig. 6.9 Casco con barbiquejo. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

- Línea de vida

Las líneas de vida son elementos del sistema de parada de caídas. Pueden ser permanentes o temporales. En todos los casos están unidos sólidamente a una estructura de alojamiento (generalmente a la estructura de la cubierta) con la resistencia suficiente como para soportar los esfuerzos derivados de una caída.



Fig. 6.10.- Línea de vida. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

- Arnés completo

Las especificaciones de estos elementos de seguridad estarán sujetas a las necesidades indicadas en el art. 183 del Reglamento de Seguridad y Salud del IESS.

Estos equipos funcionan directamente con la línea de vida y deben cumplir la norma ANSI Z359.1-07. Se utilizan para prevenir las caídas de altura. El arnés de cuerpo completo consta de los siguientes elementos.

- Anclaje: es la conexión a la línea de vida.
- Eslinga doble con sistema de amortiguación de cosido: deben cumplir lo estipulado en el art. 107 del Reglamento de seguridad y Salud del IESS. Consiste en un elemento que va sujeto al arnés mediante un mosquetón de seguridad, el mismo que tiene 3 extremos, uno de ellos con un sistema de amortiguamiento. En el caso de una caída, este se va descosiendo hasta su longitud total (variable entre 1.8 y 5 metros), amortiguando la caída. Los otros 2 extremos poseen los anclajes que van sujetos a la línea de vida. La necesidad de 2 anclajes se da porque cuando se realizan trabajos con mucho movimiento, el trabajador debe estar en todo

momento sujeto como mínimo en un punto, para que el otro gancho se fije en el próximo lugar de trabajo.

- Arnés: está formado de varias correas de nylon o cuero (no usado actualmente) cosidas con hilo de nylon. Estas se encuentran dispuestas de tal forma que provean de una sujeción total y cómoda del cuerpo del usuario. Poseen de 2 hasta 6 puntos de sujeción donde se conectan la eslinga con sistema de retracción. Los más comunes se encuentran en la espalda y en los costados de la cadera, siendo estos los más utilizados.



Fig. 6.11.- Arnés de seguridad. (Fuente: 3M)



Fig. 6.12.- Eslinga doble (Fuente: 3M)

- Botas con punta de acero

Exigidas por el literal a del art. 182 sobre protección de extremidades inferiores del Reglamento de Seguridad y Salud del IESS.

A simple vista aparentan ser botas normales de cuero. Pero en el interior de la punta poseen una protección de acero que cubre los dedos. De esta manera se evita que cualquier objeto de peso que caiga golpee o ampute uno de estos.



Fig. 6.13.- Zapatos con punta de acero. (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

- Chaleco reflector

Son chalecos de colores llamativos, que poseen bandas reflectantes. Se utilizan para hacer visible a los usuarios bajo cualquier condición climática.



Fig. 6.14.- Chaleco reflector (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

- Gafas

El uso de este equipo será obligatorio y deberá cumplir con las exigencias del art. 178 del Reglamento de Seguridad y Salud del IESS.

El personal de trabajo estará expuesto a la luz del día y más el que se encuentre sobre la estructura de cubierta. Los paneles metálicos poseen una gran reflectividad de la luz solar, lo cual

causa daño a las retinas de los instaladores. Del mismo modo a la hora de hacer los cortes de los paneles corren el riesgo de que las partículas de poliuretano entren en sus ojos. Por estos motivos las gafas son parte indispensable dentro del equipo de seguridad.

El diseño de las gafas debe ser ergonómico que no ocasione riesgos ni otros factores de molestia. Sus componentes deberán ser redondeados, sin aristas o salientes, resistentes a la abrasión y que eviten una excesiva irritación.

Su elaboración debe ser con materiales de calidad, que no tengan efectos nocivos en la salud o higiene del usuario.

Serán de uso personal, en prevención de problemas de salud e higiene.

Para prevenir su caída durante la actividad física, deberán constar con una liga, la cual pasa por detrás de la cabeza del usuario y es ajustable por motivos de comodidad.

- Guantes

A la hora de manipular e instalar un panel metálico, el personal dependerá de sus manos para realizar estos trabajos. La finalidad de los guantes es proteger las manos de cortes por filos expuestos del metal y de la temperatura que este pueda transmitir.



Fig. 6.15.- Guantes (Fuente: TOWA)

Los guantes son fabricados con una mezcla de fibras sintéticas y fibras de alta tenacidad para hacerlos resistentes al corte. Además se añade un baño de algún componente plástico (mayormente poliuretano) en la zona de la palma agregándole las características de antideslizamiento y resistencia mecánica.

- Jean y buzo con mangas largas y capucha

Es necesario que la menor cantidad de piel del personal se encuentre expuesta al intemperie debido a las condiciones climáticas y al peligro de los materiales utilizados en sus tareas.

- Bloqueador solar

Para las zonas que no puedan ser protegidas con algún tipo de vestimenta o equipo de protección, será necesario protegerlas

con bloqueador solar. Ya que los trabajadores en ocasiones se encuentran expuestos a los rayos solares por largos periodos de tiempo.

- Orejeras

El corte de los paneles mixtos se realiza con una sierra tipo sable. Al realizar esta actividad los niveles de ruido pueden llegar a ser muy altos. Incluso cuando no se encuentran realizando cortes, en el ambiente de construcción siempre tendrán la posibilidad de estar expuestos a sonidos fuertes.

El art. 55 del Reglamento de Seguridad y Salud del IESS habla sobre los ruidos permisibles y el tiempo al que un trabajador se puede exponer a dichos niveles.

Nivel Sonoro	Tiempo de exposición
(dB (A-lento))	(jornada/hora)
85	8
90	4
95	2
100	1
110	0.25
115	0.125

Tabla XXIII.- Tiempo de exposición a ciertos niveles sonoros (Fuente: IESS)

Es recomendable no esperar a que los niveles de ruido sobre pasen los límites impuestos, por lo que la utilización de orejeras se vuelve indispensable para el personal instalador. Los cuales deberán usarlas ininterrumpidamente durante su jornada laboral para evitar cualquier ruido fuerte generado por un impacto inesperado como es común en el ambiente de la construcción. Para cumplir con el art. 179 del Reglamento de Seguridad y Salud del IESS, estas deben ser ajustables para brindar mayor comodidad. La banda que pasa sobre la cabeza del usuario debe ser de un material resistente. Las orejeras deben contar con almohadillas en el contorno para minimizar la presión que estas ejercen. El material que las compone debe ser resistente a altas temperaturas (resistir $650^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ por 5 segundos sin crear llama o quedar incandescente).



Fig. 6.16.- Orejeras (Autor: Alfredo Bozano, José Vera)

- Mascarillas

El art. 180 del Reglamento de Seguridad y Salud del IESS se ordena que en aquellos lugares de trabajo en que exista un ambiente contaminado, con concentraciones de partículas superiores a las permisibles, se deberá usar obligatoriamente equipos de protección personal de vías respiratorias. Deberán cumplir las siguientes características:

- a) Se adapten adecuadamente a la cara del usuario.
- b) No originen excesiva fatiga a la inhalación y exhalación.
- c) Tengan adecuado poder de retención en el caso de ser equipos dependientes.
- d) Posean las características necesarias, de forma que el usuario disponga del aire que necesita para su respiración, en caso de ser equipos independientes.

En el caso de la instalación de paneles mixtos con aislamiento termo acústico, este equipo de protección será necesario a la hora de realizar los cortes con la sierra de sable, ya que se desprenderán partículas de poliuretano.

6.3.2.2 Evaluación de riesgos

En el artículo 4.4.2 del OHSAS y el art. 11 sobre las Obligaciones de los Empleadores del Reglamento de Seguridad y Salud del IESS se estipula que cualquier persona en relación de dependencia con la empresa, debe estar consciente de las consecuencias para SST reales o potenciales, de sus actividades laborales, de su comportamiento y de los beneficios para la SST de un mejor desempeño personal.

Para cumplir este fin, en muchas empresas se ha implementado el sistema de evaluación de riesgos. En el cual se documentan y especifican los riesgos reales y potenciales de las actividades que serán realizadas en un tiempo específico.

Los trabajadores involucrados reciben una charla donde se les explica dicho riesgos y las medidas de seguridad a tomar para prevenirlos. Según el art. 13 sobre las Obligaciones de los Trabajadores del Reglamento de Seguridad y Salud del IESS, los empleados están en la obligación de asistir e informarse sobre los peligros a los que estarán expuestos.

Una vez terminada cada charla el personal deberá firmar el documento que dará constancia de su conocimiento de los riesgos involucrados en sus labores.

6.3.3 Manipulación de Paneles

El adecuado almacenamiento, transporte, manipulación y preparado de los paneles es un factor decisivo para garantizar una larga vida útil de este.

Al manipular cantidades importantes de paneles el uso de una grúa ahorra tiempos de estibado. En el caso del uso de una, es conveniente utilizar dos cintas de nylon para manejar el traslado de paneles de manera segura (Figura 6.17).

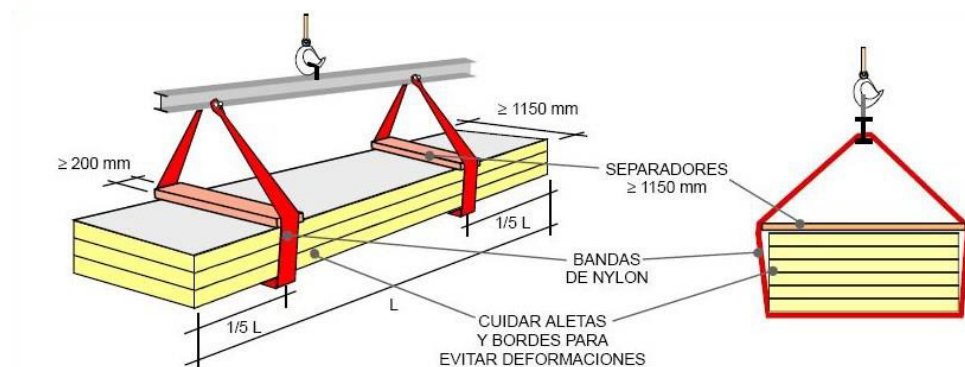


Fig. 6.17.- Manipulación de paneles con grúa (Fuente: METCOL)

Si se realiza el estibado a mano es recomendable hacerlo uno a la vez. Evitar arrastrar el panel para no provocar daños en la superficie. Al ser trasladado el panel tiene que estar de manera vertical para evitar que se deforme. Paneles mayores de 4 metros tiene que ser movidos por 3 personas.

En su almacenamiento deben ser estibados de tal manera no superen los 3 metros de altura. Si no se pueden almacenar en un sitio cubierto deben ser protegidos con material impermeable como lona o plástico procurando dejar una pendiente no menor al 5% evitando que se acumule el agua.

6.3.4 Instalación de Paneles

Para adelantar la instalación de los paneles se debe contar con sistemas de andamios apropiados, herramientas y sistemas de fijación acordes con la magnitud del proyecto. A continuación presentamos el grupo de herramientas básicas que se deben tener en cuenta para la instalación además de los equipos de seguridad indispensables anteriormente descritos:

- Taladro
 - Broca ≤ 10 mm (3/8")
 - Velocidad variable, reversible
- Sierras
 - Velocidad variable
 - Sierras de diente fino, apto para corte de lámina metálica

- Pinzas
- Playo
- Combo cabeza de caucho
- Espátula
- Plomada y nivel

6.3.4.1 Corte y preparación de paneles

La mayoría de paneles llegan de acuerdo con las longitudes solicitadas para su proyecto pero siempre habrán acabados que demandaran modificar algunos elementos en sitio antes del montaje: cortes longitudinales y/o transversales y traslapes.

Para hacer los cortes se deberá emplear cinta adhesiva en el recorrido del corte que además de ayuda como guía protege la superficie terminada del panel.

Se limpia toda escoria y polvo producto del corte. Esto es importante ya que cualquier polvo que quedara produciría oxidación con el paso del tiempo.

6.3.4.2 Montaje

Para el montaje de cubiertas se deben seguir estos cuatro pasos básicos:

1. Escuadra

Esto se logra mediante la utilización de piola, una en el sentido transversal y otra en el longitudinal. La colocación se recomienda que empiece desde la parte inferior. La colocación del primer elemento es de mucha importancia ya que si esta esta descuadrada afectar a las piezas subsecuentes.

2. Alineación

En la instalación una buena práctica es dejar una piola permanente en el sentido longitudinal, en la parte inferior y superior, como guía para mantener una buena alineación de las piezas.

3. Instalación paneles de cubierta y accesorios.

Se inician colocando los elementos en el contrapendiente, desde la parte inferior y terminando con los en la cumbrera y los remates.

Cuando existan ajustes en la primera y/o últimas piezas, recuerde que puede ser necesario realizar cortes longitudinales del panel

El izaje se lo puede realizar con dos cabos atados o utilizando un elemento llamado estribo (Ver Figura 6.18)

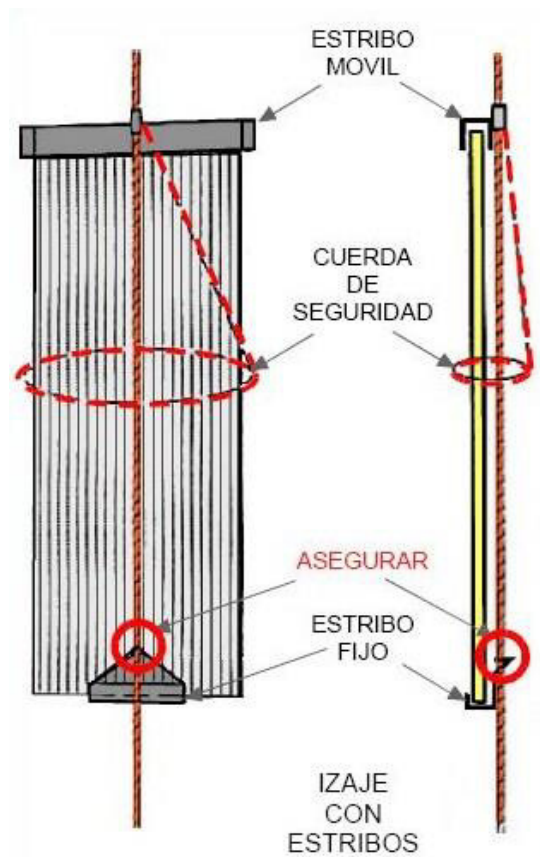


Fig. 6.18.- Izaje con estribos (Fuente: METCOL)

4. Fijación

Los paneles se fijan a los soportes, generalmente perfiles metálicos, mediante tornillos autoperforantes. La longitud de estos depende del espesor del panel. La cabeza del tornillo debe tener sello de neopreno para evitar infiltraciones. La fijación se la realiza sobre la cresta. (Ver

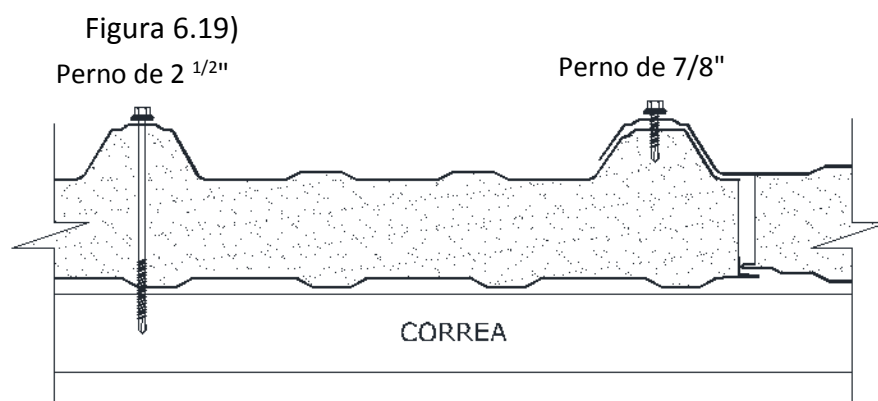


Fig. 6.19.- Fijación del panel a la estructura de cubierta (Fuente: METCOL)

Debido a que se usan tornillos autoperforantes, debe perforarse previamente cada punto de fijación con una broca de diámetro ligeramente menor al del tornillo.

6.3.5 Accesorios, acabados y hermetización

Las cubiertas de viviendas usualmente presentan formas variadas que requieren acabados y remates para poder brindar la suficiente hermetización de su cubierta. Entre los acabados que requiere un cubierta son:

- Caballete

En la cumbre de una cubierta la geometría del panel no permite techar esta área por lo que se recurre a este accesorio la Figura 6.20 presenta un esquema de instalación.

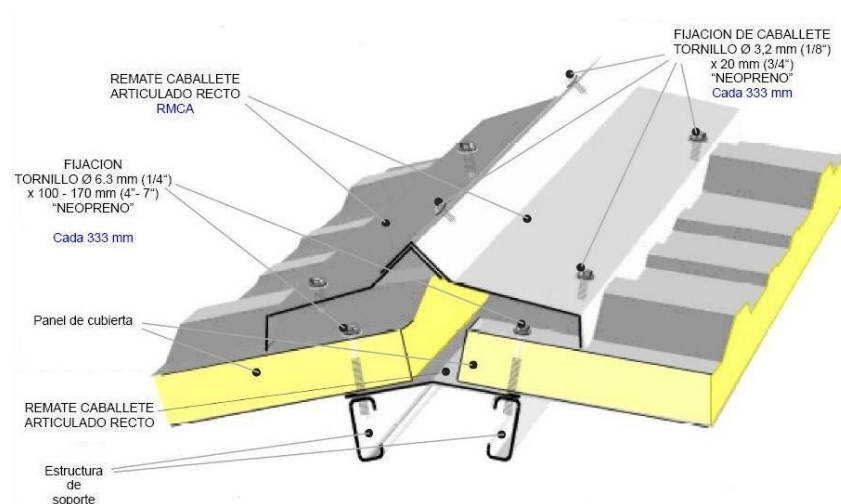


Fig. 6.20.- Esquema de instalación de caballete (Fuente: METCOL)

- Remate superior contra mampostería

En construcciones con cubierta oculta, generalmente se utiliza una pantalla con bloque. Para evitar en la infiltración en esta junta se presenta el esquema en la Figura 6.21

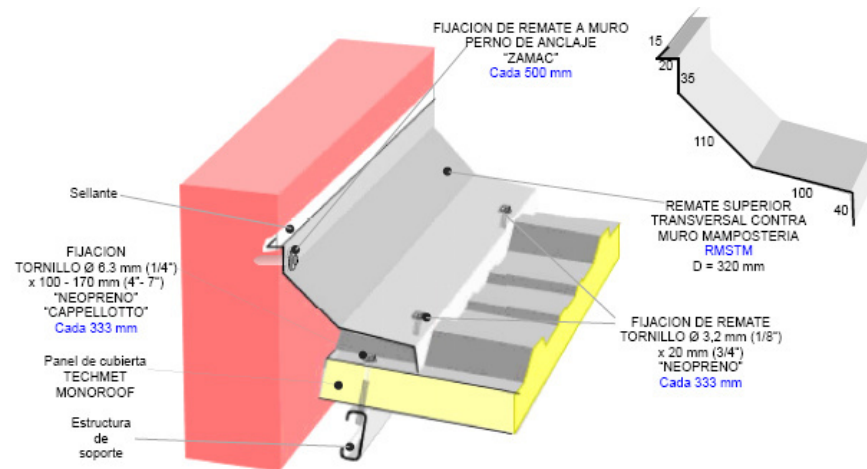


Fig. 6.21.- Remate panel con pared de mampostería (Fuente: METCOL)

- Descarga en canalón

En caso de utilizar un canalón o para las vertientes de descarga de aguas debe considerarse que por la sección transversal el agua escurrirá por la parte inferior creando goteos por lo que hay que hacer el acabado debido del panel en la Figura 6.22 se muestra la ilustración del mismo.

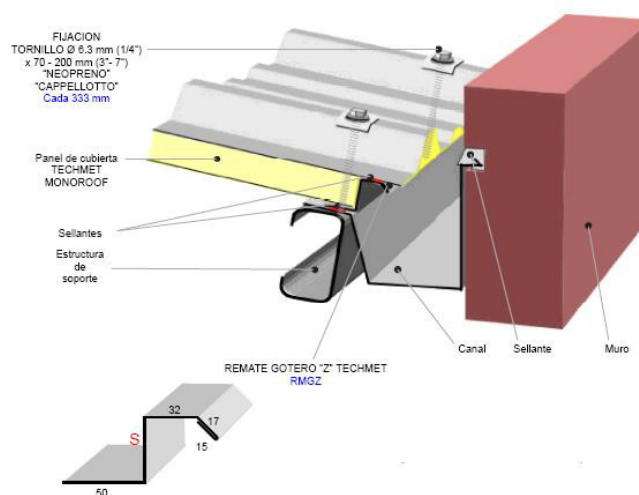


Fig. 6.22.- Descarga en canalón (Fuente: METCOL)

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- La facilidad del panel mixto en su fabricación e implementación en las construcciones ecuatorianas lo hace muy viable como remplazo de los materiales actualmente usados para cubiertas, como así, para el crecimiento de la industria encargada en su producción nacional.
- A pesar que durante el ensayo de carga puntual se demostró que esta clase de paneles pueden resistir la carga establecida en la norma INEN a distancias mayores a 3.9m de separación de correas, se recomienda que el distanciamiento en obras sea alrededor de 2.5 metros ya que pueden existir cargas ocasionales que sobrepasen las cargas últimas de diseño.

- Su resistencia a la flexión es muy superior a los materiales comúnmente usados como cubiertas, haciéndolo muy seguro para cubiertas transitables sin afectar el sistema estructural. Esto permite un ahorro en la estructura de soporte, que en el caso analizado resulto ser \$12,706.42 que es una reducción del 27%, pero que este ahorro solo representa el 6% del aumento de los costos por utilizar el panel mixto.
- El aislamiento acústico de esta clase de paneles no representan un motivo mayor para su utilización, ya que en las edificaciones los ruidos filtran también por puertas, ventanas y paredes.
- Actualmente el panel presenta mayores costos para su utilización esto debido a su reciente introducción al mercado que provoca una demanda baja, así como, la escasez de mano de obra calificada, que eleva costos de instalación. Esto se reflejo es una inversión inicial de aproximadamente 2.5 veces mayor frente al material tradicional que es la cubierta de fibrocemento.
- Gracias a la capacidad de aislamiento térmico permite un ahorro energético muy grande. En el caso analizado es de \$28,545.43 anuales. Lo que podría recuperar la diferencia de inversión inicial con el panel de fibrocemento de \$200,313.79 en 8 meses. Motivo por el cual el panel mixto es una excelente opción para edificaciones tipo

galpón que van a ser refrigerados debido a la gran superficie de cubierta que genera grandes ganancias de calor.

- El panel por ser compuesto de paneles de acero, se convierte en un material reciclable, contribuyendo así a un fácil manejo una vez que es desechado.

7.2 Recomendaciones

- La normativa INEN sobre estos materiales debería expandirse, de no solo una norma con requisitos hacia una norma para ensayar los paneles para comprobar sus propiedades y así estandarizar la calidad de la producción nacional de este material.
- No utilizar los paneles bajo cargas estáticas ya que el panel se deformara con el paso del tiempo debido a la fluencia lenta no siendo estéticas ni funcionales cuando esto ocurre.
- Realizar análisis estructurales personales para el material a utilizarse como cubierta, ya que las recomendaciones del fabricante para los espaciamientos de los apoyos de los paneles, o de cualquier otro material, como lo hemos comprobado con pruebas de carga tienden a ser muy conservadores encareciendo la construcción.

- Realizar estudios de la vida útil de los materiales de construcción para ser incluidos en los análisis de costos del ciclo de vida de edificaciones y así facilitar al consumidor inclinarse a edificios más eficientes. De esa manera el mercado de materiales de construcción se direccionará hacia productos más eficientes debido a consumidores más exigentes.

8 BIBLIOGRAFIA

1. **Prisacariu, Cristina.** *Polyurethane Elastomers*. Viena : Springer WienNewYork, 2011.
2. **Asociacion Tecnica del Poliuretano Aplicado.** *Libro Blanco del Poliuretano Proyectado*. Madrid : Atepa, 2010.
3. **The Engineering Toolbox.** Thermal Conductivity of some common Materials and Gases. *The Engineering Toolbox*. [En línea] [Citado el: 17 de Julio de 2013.] http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html#.UpJkkn9GYUU.
4. **Instituto Ecuatoriano de Normalización.** *PANELES DE ACERO. REQUISITOS*. Quito : Instituto Ecuatoriano de Normalizacion, 2008.
5. **PU EUROPE.** *Investigación ambiental del aislamiento con poliuretano*. Madrid : IPUR, 2010.
6. **ASTM International.** *Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions*. West Conshohocken : s.n., 2000.
7. **Metecno de Colombia S.A.** Manual de Instalacion. Bogota : s.n.
8. **European Convention for Constructional Steelwork.** *European Recommendations for Sandwich Panels*. s.l. : CIB Report, 2000.
9. **Institut für Sandwichtechnik.** Service. *Institut für Sandwichtechnik*. [En línea] [Citado el: 13 de Junio de 2013.] <http://www.sandwich.fh-mainz.de/service-e.html>.
10. **OHSAS 18001:2007** *Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo - Requisitos*. s.l. : AENOR, 2007.
11. **Asamblea Nacional Constituyente.** *Libro XI, Anexo 5 de la Constitución de la República*. Montecristi : s.n., 2008.
12. **IESS.** *Art. 11 Reglamento de Seguridad y Salud* .

ANEXOS

Anexo 1

Solución exacta de cálculo de deformaciones según E. Wölfle

Solución Exacta
$w = \frac{qL^2}{8} + \left[\frac{5}{384} + \frac{1}{8\alpha\lambda^2} \left(1 - \frac{8}{\lambda^2} f_1(\lambda) \right) \right]$
donde
$\alpha_1 = \frac{B_{F1}}{B_S} \quad \alpha_2 = \frac{B_{F2}}{B_S} \quad \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = \frac{B_{F1} + B_{F2}}{B_S}$
$f_1(\lambda) = 1 - \frac{1}{\cosh(\lambda/2)} \quad \lambda = L \sqrt{\frac{B}{B_{F1} + B_{F2}} \frac{G_C A_S}{B_S}}$

$B_{fx} = E_{fx} I_{fx}$ es la rigidez a la flexión

$B_S = (E_{f1} A_{f1} E_{f2} A_{f2}) x e / (E_{f1} A_{f1} + E_{f2} A_{f2}) x B$

$S = G_C A_S$, G_C es el módulo de cortante y A_S el área del núcleo

Anexo 2

Ensayo a Flexión



Hoja: 1 de 2
Nº Informe: 13-455

Fecha de emisión: 8/10/2013
Número de Orden: OT-257-13

DATOS GENERALES DEL CLIENTE

Nombre: VERA ARAY JOSE MANUEL			
Dirección: n/c			
Teléfono: 2203367	Correo electrónico: jomavera@espol.edu.ec	Fax: N/C	
Persona de Contacto: Sr. José Manuel Vera Aray			

DATOS DE LA MUESTRA

Código de Muestra	Descripción de la muestra	Fecha de Recepción	Muestreo realizado por	Condiciones de la muestra	Fecha de Ensayo
13-1774	Probeta No. 1	23/09/2013	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	OK	30/09/2013
13-1775	Probeta No. 2	23/09/2013	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	OK	30/09/2013
13-1776	Probeta No. 3	23/09/2013	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	OK	30/09/2013
13-1777	Probeta No. 4	23/09/2013	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	OK	30/09/2013
13-1778	Probeta No. 5	23/09/2013	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	OK	30/09/2013

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cdda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

Hoja: 2 de 2
Nº Informe: 13-455

Fecha de emisión: 8/10/2013
Número de Orden: OT-257-13

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE FLEXIÓN

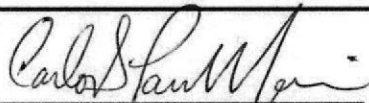
EQUIPO UTILIZADO: Máquina Universal de Ensayos AGIS 10KN
MATERIAL: Sanduche de poliuretano entre láminas metálicas.
NORMA/MÉTODO/PROCEDIMIENTO: Basado en ASTM C393/ Método de flexión con 3 puntos de apoyo.
VELOCIDAD DE ENSAYO: 5 mm/min

Código de muestra	Distancia entre apoyos (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Esfuerzo de fluencia (KPa)	Esfuerzo Máximo (Kpa)
13-1774	100,00	59,80	57,39	308,91	356,51
13-1775	100,00	52,54	56,06	391,76	524,05
13-1776	100,00	45,08	61,57	364,54	364,82
13-1777	100,00	78,23	90,17	337,97	379,31
13-1778	100,00	77,36	93,59	316,49	366,09
Promedio:				343,93	398,16
Desviación Estándar:				34,38	70,85

Tabla 1. Resultados de Ensayos de Flexión.

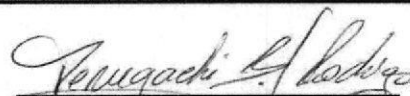
OBSERVACIONES:

El "Esfuerzo de fluencia" y el "Esfuerzo máximo" fueron calculados utilizando la siguiente ecuación:
 $Esf. = 3PL/2bd^2$; donde "P" es la carga, "L" es la distancia entre apoyos, "b" es la anchura y "d" es el espesor de muestra.
Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.



Ing. Carlos Parra M.

Director Técnico



Ing. Rodrigo Perugachi B.

Director de laboratorio

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

Anexo 3

Calculo de deformaciones usando la solución exacta de E. Wölfte

	1	2	3	4	
q	0.32	0.27	0.23	0.21	kg/cm
L	250	300	350	390	cm
e	5	5	5	5	cm
Gc	4.06	4.06	4.06	4.06	kg/cm ²
E_{f1}=E_{f2}	2100000	2100000	2100000	2100000	kg/cm ²
I_{f1}	7.308	7.308	7.308	7.308	cm ⁴
I_{f2}	0.00057711	0.00057711	0.00057711	0.00057711	cm ⁴
A_{f1}	4.9746	4.9746	4.9746	4.9746	cm ²
A_{f2}	4.328337	4.328337	4.328337	4.328337	cm ²
B_{f1}	15346800.00	15346800.00	15346800.00	15346800.00	kg cm ²
B_{f2}	1211.93	1211.93	1211.93	1211.93	kg cm ²
B_s	12151180053.25	12151180053.25	12151180053.25	12151180053.25	kg cm ²
B	12166528065.18	12166528065.18	12166528065.18	12166528065.18	kg cm ²
α₁	0.00	0.00	0.00	0.00	
α₂	0.00	0.00	0.00	0.00	
α	0.00	0.00	0.00	0.00	
λ	2.88	3.45	4.03	4.49	
f1(λ)	0.55	0.66	0.74	0.79	
w	0.58	0.83	1.10	1.32	cm

Anexo 4

**Análisis de Precios Unitarios de diferentes
materiales para cubierta**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DEL PROPONENTE

RUBRO:

DETALLE:

Cubierta de fibrocemento

UNIDAD : m2

CUBIERTAS

A.- EQUIPO

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	REND. H/U	COSTO
Herramienta menor	0.05	4.04	0.202	1	\$ 0.20
ANDAMIOS METALICOS	1	0.68	0.68	0.4	\$ 0.27

SUBTOTAL A: \$ 0.47

B.- MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	REND. H/U	COSTO
Inspector de obra	0.25	3.32	0.83	0.032	\$ 0.03
Albañil	1	3.09	3.09	0.032	\$ 0.10
Peon	2	3.09	6.18	0.032	\$ 0.20

SUBTOTAL B: \$ 0.32

C.- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Eurolit (1.83 x 0.92) 5 ondas perfil 7	u	0.7	12.4	\$ 8.68
Tirafondo de 100mm (4") conjunto	u	4	0.03	\$ 0.12
Cumbrero ancho 0.30 / 407 / 30	u	0.18	9.23	\$ 1.66

SUBTOTAL C: \$ 10.46

D.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/KM	TARIFA	COSTO
Eurolit (1.83 x 0.92) 5 ondas perfil 7	u	0.7	0.00276	0.0276	\$ 0.02
Tirafondo de 100mm (4") conjunto	u	4	0.00046	0.0046	\$ 0.02
Cumbrero ancho 0.30 / 407 / 30	u	0.18	0.00069	0.0069	\$ 0.00

SUBTOTAL D: \$ 0.04

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 11.30

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DEL PROPONENTE

RUBRO:

DETALLE:

Cubierta steel panel e=0.40mm

UNIDAD : m2

CUBIERTAS

A.- EQUIPO

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	REND. H/U	COSTO
Herramienta menor	0.05	\$ 0.22	0.010973714	1	\$ 0.01
ANDAMIOS METALICOS	1	0.68	0.68	0.4	\$ 0.27

SUBTOTAL A: \$ 0.28

B.- MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HF	COSTO HORA	REND. H/U	COSTO
Instaladores	3	3.09	9.27	0.023	\$ 0.21
Maestro	0.1	3.32	0.332	0.023	\$ 0.01
					\$ -

SUBTOTAL B: \$ 0.22

C.- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Estilpanel / techos prepintado AR-2000 e 0.	m2	1.02	10.69	\$ 10.90
Tirafondo de 100mm (4") conjunto	u	0.098	0.03	\$ 0.00
Cumbrero galva. E=0.40 mm. Ancho útil = 6	m	0.2	5.47	\$ 1.09

SUBTOTAL C: \$ 12.00

D.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/KM	TARIFA	COSTO
Estilpanel / techos prepintado AR-2000 e 0.	m2	1.02	0.00069	0.0069	\$ 0.01
Tirafondo de 100mm (4") conjunto	u	0.098	0.00046	0.0046	\$ 0.00
Cumbrero galva. E=0.40 mm. Ancho útil = 6	m	0.2	0.00069	0.0069	\$ 0.00

SUBTOTAL D: \$ 0.01

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 12.51

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DEL PROPONENTE

RUBRO:

DETALLE:

Cubierta panel mixto con poliuretano

UNIDAD : m2

CUBIERTAS

A.- EQUIPO

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	REND. H/U	COSTO
Herramienta menor	0.05	\$ 0.45	0.0225	1	\$ 0.02
ANDAMIOS METALICOS	1	0.68	0.68	0.4	\$ 0.27

SUBTOTAL A: \$ 0.29**B.- MANO DE OBRA**

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	REND. H/U	COSTO
Instaladores	3	2.5	7.5	0.04	\$ 0.30
Maestro	1	3.75	3.75	0.04	\$ 0.15

SUBTOTAL B: \$ 0.45**C.- MATERIALES**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Panel mixto con poliuretano	m2	1.02	35	\$ 35.70
Tirafondo de 100mm (4") conjunto	u	0.098	0.03	\$ 0.00
Cumbrero galva. E=0.40 mm. Ancho útil = 6	m	0.2	5.47	\$ 1.09

SUBTOTAL C: \$ 36.80**D.- TRANSPORTE**

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/KM	TARIFA	COSTO
Estilpanel / techos prepintado AR-2000 e 0.	m2	1.02	0.00069	0.0069	\$ 0.01
Tirafondo de 100mm (4") conjunto	u	0.098	0.00046	0.0046	\$ 0.00
Cumbrero galva. E=0.40 mm. Ancho útil = 6	m	0.2	0.00069	0.0069	\$ 0.00

SUBTOTAL D: \$ 0.01**TOTAL COSTO DIRECTO \$ 37.55**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DEL PROPONENTE

RUBRO:

DETALLE:

Correas 100x50x15x2 mm

UNIDAD : ml

CUBIERTAS

A.- EQUIPO

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	REND. H/U	COSTO
Herramienta menor	0.05	\$ 0.35	0.017583333	1	\$ 0.02
ANDAMIOS METALICOS	1	0.68	0.68	0.4	\$ 0.27

SUBTOTAL A: \$ 0.29

B.- MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/H	COSTO HORA	REND. H/U	COSTO
Soldador Maestro	1	3.75	3.75	0.056	\$ 0.21
Soldador Oficial	1	2.58	2.58	0.056	\$ 0.14

SUBTOTAL B: \$ 0.35

C.- MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
Perfil G 100x50x15x2 mm	ml	1	3.57	\$ 3.57
Soldadura 6011	kg	0.02	2.98	\$ 0.06
Pintura Anticorrosiva	gln	0.033	18.4	\$ 0.60
Diluyente	gln	0.033	5.3	\$ 0.17

SUBTOTAL C: \$ 4.41

D.- TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/KM	TARIFA	COSTO
Perfil G 100x50x15x2 mm	ml	1	0.00069	0.0069	\$ 0.01
Soldadura 6011	kg	0.02	0.00016	0.0046	\$ 0.00

SUBTOTAL D: \$ 0.01

TOTAL COSTO DIRECTO \$ 5.06