

**Ladrillos Aislantes (IFB)  
Manual de diseño e Instalación.**



## TABLA DE CONTENIDO.

Introducción.  
Fabricación del IFB.  
Ventajas y desventajas.  
Tamaños y Formas disponibles.  
Aplicaciones Mayores.  
Morteros y Métodos.  
Construcción de Paredes Rectas.  
Paredes Curvas.  
Paredes Divisorias.  
Arcos Bombeados.  
Sotabancos  
Cálculo de Arcos Bombeados.  
Domos y Coronas.  
Arcos y Paredes Suspendidas.  
Juntas De expansión.

### Lista de Figuras.

Figura 1.	Construcción de Pared Recta con IFB.
Figura 2.	Pared Curva Soportada Seccionalmente.
Figura 3.	Paredes divisorias.
Figura 4.	Tipos de Arcos Bombeados
Figura 5.	Arco Soportado Independientemente con Aislamiento.
Figura 6.	Sesgadura Sobre Muro Lateral.
Figura 7.	Colocación de Sotabanco. – No Recomendado.
Figura 8.	Sotabanco Integrado. – No Recomendado.
Figura 9.	Sotabanco para Arco Bombeado de 4½" de espesor.
Figura 10.	Sotabanco para Arco Bombeado de 9" de espesor.
Figura 11.	Cálculo de Arcos Bombeados.
Figura 12.	Presupuesto Típico de Material para Domo.
Figura 13.	Construcción de Varios Arcos Suspendidos.
Figura 14.	Revestimientos suspendidos de IFB de 4½" de espesor.
Figura 15.	Construcción de Pared Seccionalmente Soportada.
Figura 16.	Construcción Típica de Arcos y Paredes Suspendidas.
Figura 17.	Detalles Constructivos de Soportes Colgantes de 9" de espesor.
Figura 18.	Detalles de Construcciones de 4½" de espesor.
Figura 19.	Detalles de Construcciones de 9" de espesor.
Figura 20.	Detalles de ensamblado con Soportes Colgantes Tipo "D".
Figura 21.	Pared Suspendida, Construcción Completamente Flotante.
Figura 22.	Uso de Ladrillo T-Slot Densos en Anclaje de IFB.
<u>Figura 23.</u>	<u>Sin figura o título.</u>
<u>Figura 24.</u>	<u>Sin título en figura.</u>

### Lista de Tablas.

Tabla A.	Clasificaciones de IFB según ASTM C 155-84
Tabla B.	Clasificaciones de acuerdo a estándares ISO.
Tabla C.	Estándares Industriales Japoneses.
Tabla D.	Temperatura Media.
Tabla E.	Equivalencias de Ladrillos.
Tabla F.	Guía de Construcción de Paredes Curvas.
Tabla G.	Formas y Combinaciones de Arcos Bombeados.
Tabla H.	Constantes de Arcos Bombeados.
Tabla I.	Arco bombeado 4½", Serie 3", 1½" elevación por pie de envergadura.
Tabla J.	Arco bombeado 4½", Serie 3", 1¾" elevación por pie de envergadura.
Tabla K.	Arco bombeado 3" de espesor, Ladrillo de cuña 3", 1½" elevación por pie de envergadura.
Tabla L.	Arco bombeado 3" de espesor, Ladrillo de cuña 3", 1¾" elevación por pie de envergadura.
Tabla M.	Arco bombeado, Arcos de 60º, 1 <sup>19</sup> / <sub>32</sub> " elevación por pie de envergadura.
Tabla N.	Arco bombeado, 2" elevación por pie de envergadura.
Tabla O.	Arco bombeado, Cantidades de Ladrillo de cuña de 3" para Arco de 9" de espesor.
Tabla P.	Arco bombeado, Espesor de Serie 2½" Especial de Cara Angosta para Varios Radios Internos.

## Guía de Instalación y Aplicación IFB.

### Introducción.

Los Ladrillos Aislantes IFB fueron el primer refractario utilizado en forma masiva. Su uso data desde 1920, pero hasta entonces, las funciones principales de los refractarios habían sido:

1. Resistencia al ataque del calor.
2. Resistencia al ataque de químicos en aplicaciones de refinamiento de metales fundidos.

Los IFB añadieron una nueva cualidad a éstas funciones: la alta resistencia al flujo térmico o pérdida de calor. No es de sorprenderse que el ladrillo IFB fuera utilizado, en crudo, como aislante de respaldo para refractarios densos. También se empezó a utilizar como revestimiento de la cara caliente en equipos de proceso de alta temperatura. Con el tiempo, éste último uso se ha convertido en el más importante.

El primer ladrillo IFB fue producido en 1915 de los extensos depósitos de diatomita cerca de Lompoc, California. La diatomita es un material poroso, rico en sílice, muy ligero y con propiedades refractarias razonablemente buenas. Estos primeros IFB fueron literalmente cortados del depósito en forma canteras. Debido a la escasez de depósitos tan moldeables, el paso siguiente fue rápidamente alcanzado, es decir buscar depósitos de diatomita, extraerla, calcinarla y después comprimirla para formar ladrillos.

Sin embargo, la diatomita no es útil a temperaturas mayores a 1093°C (2000°F,) por lo que se comenzaron a crear el IFB a partir de arcillas refractarias naturales como sucede con otros refractarios. Esta labor inicia a principios de 1930 y se sigue desarrollando hasta hoy día.

### IFB y la Conservación de Energía.

Desde los años 1920's, se ha percibido que el IFB reduce las pérdidas de calor por medio de dos mecanismos térmicos. Primero, al igual que los refractarios densos, los ladrillos IFB tienen una alta resistencia al flujo de calor. Segundo, por su baja densidad, almacenan muy poco calor.

El interés inicial en los ladrillos IFB provenía de equipo de procesamiento cíclico o periódico de calor. En estas aplicaciones el beneficio es por ambos mecanismos, bajo flujo y almacenamiento de calor. Posteriormente, aunque lento, los ladrillos IFB encontraron uso en equipos de procesamiento de calor continuo como hornos de túnel y estufas de alta temperatura para la fabricación de acero. Gracias a su elevada eficiencia aislante además de ahorrar combustible, también reduce los costos de construcción al reducir el espesor de pared requerido del sistema refractario.

### El Futuro del Ladrillo Aislante IFB.

Durante los años 50's y 60's, llegó al mercado la fibra refractaria. En algunos casos, la fibra refractaria ofrece mayor eficiencia aislante y menor almacenamiento de calor que los ladrillos IFB. Sin embargo, hay muchísimas

aplicaciones donde los ladrillos IFB son el aislante refractario óptimo y aunado al inicio de la crisis energética en 1973 su uso se ha intensificado.

Su incremento en uso se da tanto en aplicaciones existentes como en nuevas, las existentes son estufas de altos hornos y de ráfaga caliente, principalmente dentro de complejos de fabricación de acero, actualmente es mucho más costeable el uso de ladrillos IFB. Así mismo se ha observado que su uso específico en nuevos diseños ha crecido tres veces.

Debido al alto costo de los energéticos y considerando que este seguirá en ascenso se prevé un incremento en aplicaciones prácticas. Anteriormente, los hornos de coque utilizados para fabricar coque carbonoso para hornos de ráfaga, utilizaban muy poco o ningún, refractario aislante; mientras que los nuevos diseños incluyen cantidades importantes. Otra aplicación nueva es como revestimiento primario para los hornos rotatorios usados en la fabricación de cemento Pórtland. Actualmente, es muy práctico revestir cualquier horno con ladrillos IFB.

Es claro el alentador el futuro para los ladrillos IFB y considerando nuestra amplia capacidad de fabricación y distribución, nuestros clientes de refractarios pueden contar con un oportuno suministro y disponibilidad para su uso. En este momento están en progreso programas de desarrollo para diseñar nuevos productos y es de esperar cambios en éstos productos en el futuro.

### La Fabricación de IFB.

El objetivo de cualquier proceso de fabricación de aislantes es maximizar la porosidad del material, para crear pequeñas cámaras de aire que aíslan. Para efectos de aislamiento, el material que los rodea no es de gran utilidad, sin embargo, su uso se centra suministrar una estructura resistente. Existen dos métodos utilizados para dar porosidad a los ladrillos IFB.

El primero es introducir un material que al desintegrarse con el calor produzca espacios vacíos. Se han utilizado diversos materiales como aserrín fino, carbón y corcho. El otro método es procesar arcilla de modo, que se expanda y cree porosidad en un agregado que subsecuentemente se convertirá en ladrillo.

El residuo de los ladrillos IFB es arcilla, o mezcla de arcilla, usadas para formar la estructura. Todos los ladrillos IFB, requieren arcilla de alta calidad. Esta proviene principalmente de caolín extraído en Georgia. Es el mismo material usado en China en finos utensilios de mesa y para recubrir las brillosas páginas de libros y revistas costosas. Para proporcionar fuerza estructural altas temperaturas se necesita arcilla de alta pureza. Así mismo para los grados de alta temperatura se agrega alúmina pura. Finalmente estos materiales se moldean en forma de ladrillo. En el proceso de cocimiento, las arcillas y los materiales a desintegrarse se mezclan y forman una losa o lingote por medio de diversos métodos. Uno de estos, es usare un filtro-prensa para exprimir el agua contenida y alcanzar la densidad deseada.

Otro es verter la mezcla en un molde. Un tercer método de fabricación, es prensar en seco el agregado expandido de modo similar al usado para hacer ladrillos densos.

Ya sea la formación de una losa o lingote esto es importante para la capacidad de fabricación del producto. Todos los ladrillos IFB se encogen al ser cocidos, lo que es importante considerar y hacer la losa o lingote de mayor tamaño. Un lingote es un ladrillo de una sola pieza, mientras que la losa será cortada en cuatro o más ladrillos.

La losa o el lingote es secado y cocidos a la temperatura requerida en hornos de túnel de operación continua. Estos procesos requieren estricto control para obtener las propiedades deseadas en el IFB. El paso más crítico en la fabricación de cerámica es generalmente el cocimiento.

El acabado de los ladrillos IFB es una operación importante. Para obtener los ladrillos y preformados en las diversas formas y dimensiones requeridas, se utilizan equipos de corte y desbaste altamente automatizados que trabajan la losa o los lingotes. Estos productos tienen menores tolerancias dimensionales que los ladrillos cocidos presados en seco.

Posteriormente los ladrillos IFB terminados son cuidadosamente empacados en cajas de cartón y entarimados (es opcional el empacado con termo-encogible) para ser embarcados al sitio de uso. Existen diversas formas de empacado para proteger el producto de la mejor manera de acuerdo a las condiciones particulares del lugar de instalación estas son útiles en trabajos extensos de construcción.

Los fabricantes de ladrillos aislantes utilizan diferentes procesos, materias primas y métodos de fabricación. De modo que el usuario debe esperar diferencias en los productos dependiendo del fabricante. Con nuestra gran variedad de productos de alta calidad, el usuario puede evaluarlos y estudiarlos para así elegir el producto que mejor satisface sus necesidades particulares.

### **Ventajas.**

Para hacer conciso este tema compararemos los ladrillos aislantes con los ladrillos densos:

Las ventajas son:

- Al ser altamente resistentes al flujo de calor, los IFB, dan una ventaja extra a la tradicional función refractaria.
- Los IFB son ligeros y almacenan mucho menos calor. Su ligereza, hace más rápida su instalación y apilado. Además, la estructura de soporte requerida, ya sea de acero o cimentación pueden ser más ligera y por tanto más económicas. El peso puede ser reducido en un 80%.
- Los IFB tienen la mayor resistencia a la compresión de todos los refractarios aislantes. Son estructuralmente estables a altas temperaturas. IFB son dimensionalmente compatibles con IFB Densos agregando firmeza a la construcción.
- Al ser maquinados para darles su acabado, tienen tolerancias más precisas que los ladrillos densos de arcilla cocida. Esto se traduce en construcciones más compactas con menos pérdida de calor a través de las uniones y una instalación más rápida.

- La mayoría de los IFB contienen mínimas impurezas que pueden afectar el desempeño de estos en muchas maneras. IFB son utilizados en muchos hornos donde la atmósfera predominante es de hidrógeno.
- Existen en una gran variedad de formas, tanto distribuidas por el fabricante como hechas a partir de losas sin juntas de mortero.
- Los ladrillos IFB son esporádicamente cortados o formados en el sitio de trabajo.

### **Desventajas:**

- Los ladrillos IFB son normalmente de menor dureza que los ladrillos de arcilla cocida. Esto define el diseño de grandes estructuras.
- Los ladrillos IFB son más proclives a deformaciones por cargas calientes a altas temperaturas.
- Los ladrillos IFB generalmente tienen baja resistencia a la abrasión. Por ejemplo, no deberían ser expuestos a flujos de alta velocidad o con material abrasivo presente. Los hornos para cemento son una excepción.
- Los ladrillos IFB son más propensos a astillarse por esfuerzos mecánicos ó térmicos, que la mayoría de los refractarios densos. Esto limita su uso en algunas aplicaciones muy exhaustivas. Por ejemplo la losa y horno de recalentado en molinos de rodillos de losa. Estas superficies muy exigidas mecánicamente y térmicamente.
- Los ladrillos IFB no deberán ser utilizados en ambientes químicos que puedan disolver un refractario de alúmina – sílice.

### **Tamaños y Formas Disponibles.**

#### **Grados de Temperatura IFB.**

La actual clasificación ASTM de IFB, apéndice C 155-88 Tabla A, clasifica a los ladrillos de acuerdo con su densidad bruta (esta es un buen indicador de su conductividad térmica) y el resultado de la prueba de cambio al recalentar.

Recuerde que la prueba de cambio al recalentar para cada grupo se realiza a una temperatura de 10°C (50°F) por debajo de la temperatura máxima recomendada de servicio. Por ejemplo, el ladrillo grupo 23, al cual se refiere al ladrillo de 1260°C (2300°F) y recomendada para esta temperatura, es probado a 1232°C (2250°F.) Se permite un encogimiento lineal máximo del 2% de. Es notable mencionar que en las propiedades publicadas para el IFB el encogimiento después de recalentar es comúnmente mucho menor a 2%.

Se debe recordar que en esta prueba de recalentamiento, el ladrillo está expuesto a calor en sus seis caras y el encogimiento será considerablemente mayor que en condiciones normales, donde solamente se expone al calor una de sus caras. Por lo que los ladrillos con un encogimiento menor a 2% a 1230°C (2250°F.) son considerados ideales para ser expuestos, en una sola cara, al calor directo de un horno a 1260°C (2300°F) en una atmósfera oxidante. Cuando se utiliza como aislantes de respaldo, los ladrillos IFB pueden ser usados con seguridad a temperaturas ligeramente mayores a las temperaturas normales de servicio recomendadas, procurando que la mayor parte del ladrillo se mantenga lo suficientemente fría para soportar la carga mecánica adecuadamente.

Identificación de Grupo.	Cambio de recalentado no mayor a 2% probado a:	Densidad a granel no mayor a:
Grupo 16	845°C (1550°F)	34 lbs. / pie <sup>3</sup> .
Grupo 20	1065°C (1950°F)	40 lbs. / pie <sup>3</sup> .
Grupo 23	1230°C (2250°F)	48 lbs. / pie <sup>3</sup> .
Grupo 26	1400°C (2550°F)	54 lbs. / pie <sup>3</sup> .
Grupo 28	1510°C (2750°F)	60 lbs. / pie <sup>3</sup> .
Grupo 30	1620°C (2950°F)	68 lbs. / pie <sup>3</sup> .
Grupo 32	1735°C (3150°F)	95 lbs. / pie <sup>3</sup> .
Grupo 33	1790°C (3250°F)	95 lbs. / pie <sup>3</sup> .

Tabla A. Clasificaciones IFB según ASTM C155-84.

Símbolo.	Temperatura a la cual el encogimiento de calentado no excede el 2% - en °C.	Densidad a Granel.	
		Adherido con L – g/cm <sup>3</sup> .	No Adherido con L – g/cm <sup>3</sup> .
90	900	0.70 máx.	excediendo 0.70
100	1000	0.70 máx.	excediendo 0.70
110	1100	0.75 máx.	excediendo 0.75
120	1200	0.80 máx.	excediendo 0.80
130	1300	0.80 máx.	excediendo 0.80
140	1400	0.85 máx.	excediendo 0.85
150	1500	0.95 máx.	excediendo 0.95
160	1600	1.15 máx.	excediendo 1.15
170	1700	1.35 máx.	excediendo 1.35

Tabla B. Clasificación de acuerdo a Estándares ISO.

Clasificaciones.		Símbolo	Temperatura a la cual el encogimiento de calentado no excede el 2% - en °C.	Densidad a granel – g/cm <sup>3</sup>	Resistencia a la compresión – Mpa	Conductividad térmica – Temperatura media 350 +/- 10°C – W/m·K
Grupo A	Clase 1	A1	900	0.50 máx.	0.49 min.	0.15 máx.
	Clase 2	A2	1000	0.50 máx.	0.49 min.	0.16 máx.
	Clase 3	A3	1100	0.50 máx.	0.49 min.	0.17 máx.
	Clase 4	A4	1200	0.55 máx.	0.78 min.	0.19 máx.
	Clase 5	A5	1300	0.60 máx.	0.78 min.	0.20 máx.
	Clase 6	A6	1400	0.70 máx.	0.98 min.	0.23 máx.
	Clase 7	A7	1500	0.75 máx.	0.98 min.	0.26 máx.
Grupo B	Clase 1	B1	900	0.70 máx.	2.4 min.	0.20 máx.
	Clase 2	B2	1000	0.70 máx.	2.4 min.	0.21 máx.
	Clase 3	B3	1100	0.75 máx.	2.4 min.	0.23 máx.
	Clase 4	B4	1200	0.80 máx.	2.4 min.	0.26 máx.
	Clase 5	B5	1300	0.80 máx.	2.4 min.	0.27 máx.
	Clase 6	B6	1400	0.90 máx.	3.0 min.	0.31 máx.
	Clase 7	B7	1500	1.00 máx.	3.0 min.	0.36 máx.
Grupo C	Clase 1	C1	1300	1.10 máx.	4.9 min.	0.35 máx.
	Clase 2	C2	1400	1.20 máx.	6.9 min.	0.44 máx.
	Clase 3	C3	1500	1.25 máx.	9.8 min.	0.52 máx.

Tabla C. Clasificación según estándares Industriales de Japón.

Temperatura Media Máxima.	Tipo de Ladrillo.
982°C (1800°F)	JM-20
1093°C (2000°F)	JM-23, IFB-23 Tile, JM-25, K-26, TC-26, JM-26, JM-28, K-20, K-23.
1204°C (2200°F)	JM-30
1316°C (2400°F)	JM-32

Tabla D. Temperaturas Medias.

### **Factores de Seguridad para Diseño.**

(Lo anterior se debe considerar como otra desventaja del IFB así como la deformación bajo cargas calientes.) La temperatura media (e.g. la temperatura en el punto medio,) del ladrillo se debe considerar para cada aplicación específica, para que la deformación por carga caliente, no sea un problema. Las guías para la temperatura media de cada ladrillo son:

Consulte a su representante autorizado de para la mejor combinación de productos de acuerdo a su proceso, temperatura y condiciones atmosféricas.

### **Otros tipos de IFB.**

Además de los ladrillos aislantes clasificados por ASTM, existen los denominados como especialidades. Tenemos disponible uno para 1371°C (2500°F,) el cual satisface los usos entre los productos del Grupo 23 y 26 y tiene usos especiales. Es una excelente alternativa para inventarios de mantenimiento de plantas, ya que un solo producto puede satisfacer todas las aplicaciones que van desde 1427°C (2600°F,) 1093°C (2000°F) hasta las de 1260°C (2300°F.) Además, el ladrillo de 1372°C (2500°F) es un a dureza mucho mayor a la de aquellos de menor temperatura y se tiene aplicaciones en revestimientos de hornos rotatorios para cemento y otros lugares, donde mayor dureza y resistencia a la abrasión son requeridas.

### **Formas estándar IFB.**

#### **Formas estándar de la Serie 3" (76 mm.)**

Ambos ladrillos de 2½" (65 mm) y 3" (76 mm) de espesor se encuentran disponibles. Es difícil entender porque se siguen utilizando los ladrillos de 2½" (65 mm.) Ambos tamaños tienen el mismo precio por área equivalente. Al utilizar ladrillos de 3" la instalación es más rápida, el número de elementos requeridos para un trabajo es menor y habría 17% menos de uniones que representan pérdidas de calor en la estructura refractaria. Nosotros aprobamos la desaparición de la serie 2½" (65 mm.) Sospechamos que este material se sigue utilizando debido a simple tradición y a antiguos dibujos, diseños y presupuestos de sistemas de calentamiento que muestran ese tamaño de ladrillo. Cambiar estas especificaciones es un asunto sencillo y bien vale la pena el esfuerzo.

Con las excepciones posteriores, los ladrillos IFB son suministrados en casi todas las formas estándar de refractarios. Las hojas técnicas y "handbook" de refractarios muestran estas formas y las diversas estructuras en las que son utilizadas. Sin embargo existen muchas excepciones que deben ser tomadas en cuenta.

### **Arcos Especiales, Cuñas Llave y Construcciones Circulares.**

A diferencia de los ladrillos densos, éstos ladrillos IFB pueden ser suministrados en tamaños especiales. Se pueden solicitar ladrillos de dimensiones convencionales para construir arcos abovedados, de este modo, se simplifica el trabajo al utilizar un sólo tamaño de ladrillos en todo el arco. Esto tiene como resultado una construcción más estable.

### **Espesor limitado.**

Normalmente los ladrillos IFB no se producen con espesores mayores a 3" (76 mm) debido a que son difíciles de cocer, por las propiedades aislantes de los mismos. Los espesores mayores de 3" son hechos pegando con mortero las piezas que sean necesarias.

### **Formas IFB Especiales.**

#### **Formas Grandes.**

Esta es otra gran ventaja, ya que los fabricantes que utilizan el método de losa pueden entregar piezas tan grandes como 24" X 9" X 3" (609.6 mm x 228.6 mm x 76 mm.) Esto reduce la cantidad de uniones en una construcción refractaria y los tiempos de instalación.

#### **Formas Especiales.**

Esta es otra ventaja de los ladrillos IFB ya que son fácilmente maquinados y algunos fabricantes tienen extensos talleres de maquinado. Las piezas demasiado grandes se fabrican uniendo varias piezas de ladrillos convencionales con un mortero de alto fraguado a ventilación y después maquinando el bloque a la forma final. Obviamente el proceso de losas implica que se pueden fabricar formas con un menor número de uniones.

La capacidad de manejar diversas formas es muy versátil. Básicamente se puede fabricar cualquier forma, cortando, desbastando o volteando la pieza inicial. Una precaución que se debe tomar es evitar formar esquinas con ángulos muy agudos ya que se pueden romper fácilmente. Otra es evitar secciones de cruce pequeñas. Considerará amablemente cualquier forma que usted pueda requerir.

### **Aplicaciones Mayores.**

Las principales aplicaciones para ladrillos IFB son revestimientos de cara caliente y aislamiento de respaldo de equipo de procesamiento de calor de alta temperatura. Este equipo es comúnmente utilizado en las industrias de metales primarios, formado final de metales primarios, fabricación de válvulas de alta presión, forjado, fundido, etc. La otra aplicación mayor se encuentra en las refinerías y plantas petroquímicas donde es necesario calentar el crudo ó alguna de sus fracciones a temperaturas muy elevadas para poder procesarlas. Sin embargo, se considera necesario examinar los métodos de aplicación y técnicas de construcción para este tipo de equipo.

Consideramos oportuno mencionar algunas otras aplicaciones. Cada día surgen nuevas fábricas que construyen este tipo de equipo. Por ejemplo, se están construyendo chimeneas para casa y oficinas prefabricadas. Se pueden emplear ladrillos IFB en estas unidades porque su bajo peso incrementa la velocidad de fabricación, reduce los cargos de embarque y apresura la construcción en el sitio.

Cada vez más personas se emplean en pasatiempos artísticos y uno de ellos es la fabricación de jarros, ollas y otros artículos cerámicos. Esto requiere un pequeño horno, el cual puede ser operado en casa o la escuela. Estos hornos de pasatiempo son revestidos con IFB. La mayoría emplea elementos de calentamiento eléctricos, los cuales son fijados al revestimiento de IFB por una variedad de métodos. El IFB se utiliza porque es fácilmente maquinado, es ligero y reduce las pérdidas de calor por almacenamiento en éstos en aplicaciones de operación cíclica.

El revestimiento de hornos rotatorios de cemento o cal con IFB es una de las aplicaciones más recientes. Con es de esperar, las exigencias térmicas y mecánicas en un horno rotatorio son sustanciales; sin embargo, los IFB se desempeñan satisfactoriamente en algunas áreas de éstos hornos.

En la fabricación del cemento Pórtland se requiere cocer materiales granulados a temperaturas muy elevadas para alcanzar las propiedades deseadas. Por lo que el revestimiento de éstos hornos está sujeto a altas y variadas temperaturas así como a la abrasión de éstos materiales granulados en movimiento de un extremo del horno rotatorio al otro. Sin embargo, el cemento cubrirá la superficie de los IFB y ésta capa será la superficie que resista las exigencias de la carga que viaja sobre ella. Por lo tanto, los IFB se pueden utilizar desde el extremo frío al principio del horno hasta la zona de mayor calor. La zona de cocido está localizada en el extremo de descarga del horno y la temperatura y severas condiciones hacen imposible el uso de IFB en ésta área. Por su parte, en las otras áreas del horno, estos reducen sustancialmente las pérdidas de calor y por tanto contribuyen a la conservación de la energía.

Los requerimientos de ésta aplicación son únicos y contamos con literatura disponible, especializada en el uso de los IFB.

#### General.

Para ésta sección, es necesario adquirir familiaridad con la construcción de refractarios en general. Este conocimiento es útil para trabajar con los IFB. Existen diversos "handbooks" sobre instalaciones de ladrillo refractario. Aunque, no olvidemos que los IFB requiere algunos métodos únicos de construcción debido a sus ventajas y limitaciones que ya hemos discutido.

#### Resistencia vs. Costo.

Existe una consideración muy particular en la construcción con IFB. Normalmente, el usuario de refractarios desea siempre utilizar el material más resistente disponible. Generalmente, a mayor rango térmico del IFB, mayor será su resistencia. Pero por otra parte, entre mayor sea su rango térmico, también será mayor su costo y menor su eficiencia como aislante. Por lo que es muy costoso sobre-diseñar una construcción para obtener la mayor resistencia. Es por ello primordial emplear suficiente tiempo para una buena selección de los IFB así como de los métodos de construcción para asegurar un balance favorable entre la inversión inicial, el consumo de combustible y el tiempo de vida útil del proyecto.

#### Equivalencias de Ladrillos.

La industria de los ladrillos refractarios densos o aislantes, ha estandarizado las dimensiones de estos. Ya que el ladrillo refractario difiere en tamaño del ladrillo para construcción, la industria de refractarios ha establecido una acepción adecuada para "ladrillo". Esto se ha hecho necesario por la necesidad de definir en forma estándar la cantidad total de ladrillos que se utilizarán en un proyecto.

Este término es "ladrillo equivalente" (BE.) Las medidas 228.6 mm X 114.3mm X 63.5mm (9" X 4½" X 2½" ) definen un ladrillo equivalente, en términos volumétricos hablamos de 1,66 dm<sup>3</sup> (101.25pulg<sup>3</sup>.) De modo que un ladrillo de 9" X 4½" X 3" (228.6 mm X 114.3 mm X 76 mm) es igual a 1.20 de ladrillo-equivalente. La construcción de un muro que requiere 1,200 ladrillo-equivalentes puede ser hecha ya sea de 1200 piezas de 9" X 4½" X 2½" (228.6 mm X 114.3 mm X 6.35 cm.) o 1000 piezas de 9" X 4½" X 3" (228.6 mm X 114.3 mm X 76 mm.) O bien la construcción puede ser de (400) 11¼" X 9" X 3" (29.38 cm. X 228.6 mm X 76 mm.) ya que estos contienen 3.00 ladrillo-equivalentes.

El concepto de ladrillo-equivalente es muy útil para determinar los requerimientos. Se puede calcular primero la cantidad de ladrillo-equivalentes requeridos y después convertirlos al número exacto de piezas de cada tamaño deseadas. La siguiente información es útil para estimar cantidades.

#### Número de Equivalentes de Ladrillo por Pie Cuadrado de Área de Horno.

Para calcular el número de ladrillos-equivalente (BE) necesarios para muros de diferentes espesores, se utilizan múltiplos de las medidas dadas en la tabla siguiente. Estas mismas se pueden utilizar en muros curvas empleando las dimensiones exteriores de estos .

Espesores de Muros.	Equivalentes de Ladrillos.
2½" (63.5 mm)	3.6 BE
4½" (114.3 mm)	6.4 BE
9" (228.6 mm)	12.8 BE
Un pie cúbico = 17.07 EdL.	Un EdL = 101.25 pulgadas cúbicas.

Tabla E. Ladrillo-Equivalente BE.

#### Morteros y Métodos de aplicación.

Los IFB requieren de un tipo de mortero específico. El uso de un mortero incorrecto afecta no solo los tiempos de instalación sino también compromete la resistencia y vida de la estructura construida.

#### Buenas Propiedades de Retención de Agua.

La primer característica importante de los morteros es que tienen un largo periodo de retención de agua y los IFB son porosos por tanto absorberán rápidamente el agua de estos. Esto en ocasiones, ocurre tan rápido que no se tiene tiempo de colocar el ladrillo y quitar el exceso de mortero. Peor aún, esto puede ser tan rápido que un ladrillo se afianza a otro y no permite deslizarlo a su posición correcta. En el mejor de los casos, resultará una junta gruesa donde el mortero estará defectuoso y tendrá pocas o nulas propiedades adhesivas. La mayoría de los fabricantes de IFB, ofrecen morteros formulados adecuadamente con buenas propiedades de retención de agua.

#### Morteros Duros Fraguados al Aire.

El mortero debe tener propiedades de fraguado al aire para darle al muro la rigidez y estabilidad requeridas.

Si los ladrillos no están unidos solidamente, se aflojarán y abombarán, haciendo necesaria la reconstrucción del revestimiento. Se utiliza un mortero de fraguado al aire, ya que es el tipo de mortero más resistente.

Otra buena razón para utilizar un mortero de fraguado al aire es el hecho de que los IFB se utilizan frecuentemente en hornos donde la temperatura no es lo suficientemente alta para lograr una buena adhesión con un mortero de fraguado con calor. Incluso en hornos operando a 1427°C (2600°F,) se debe recordar que la caída de temperatura a través de los IFB es tan grande que la temperatura suficiente para crear una buena adhesión solo penetrará de ½" a 1" (1.25 cm.) ya 2.5 cm.) de la cara caliente del ladrillo. El resto del muro no quedará adherido.

### Aplicación del Mortero.

Las uniones entre ladrillos IFB deben ser lo más delgadas posible. Lo ideal que los bordes sobresalientes del ladrillo tengan contacto físico mientras las cavidades entre estos sean rellenas con mortero.

### Uniones Sumergidas.

La forma más común y mejor de colocación de mortero es con "juntas sumergidas". El mortero es diluido hasta una consistencia cremosa, apenas líquida. El ladrillo se sumerge en esta mezcla antes de ser colocado. Es común que el mortero húmedo aplicado con cuchara requiera más agua para alcanzar esta consistencia cremosa. Una precaución al sumergir los ladrillos, es minimizar la cantidad de mortero depositado sobre la superficie que se va a ser la cara caliente en el revestimiento. Esta capa es propensa a desprenderse.

### Uniones a Cuchara.

Es difícil aplicar el mortero lo suficientemente delgado a un IFB, con una cuchara de albañil. Esta práctica es común, pero debe ser desechada, ya que requiere una gran habilidad que muy pocos albañiles experimentados tienen. Aquellos albañiles que ya han adquirido esta habilidad, avanzan rápidamente con el trabajo. Sin embargo esta técnica se utiliza comúnmente en las coronas.

### Empalmado de ladrillos.

La colocación de ladrillos debe estar dispuesta de tal forma que la caja de mortero se encuentre cerca del trabajo y el albañil pueda aplicarlo e inmediatamente empalmar el ladrillo. Esto no solo acelera la colocación de ladrillos, sino que asegura que el mortero este flexible y plástico cuando se coloque el ladrillo en posición. La manera más común de colocar ó empalmar un ladrillo es colocándolo sobre el muro a una distancia del espesor de un dedo y después deslizarlo en su lugar.

Si no se tiene disponible un mortero de alta capacidad de retención de agua, se puede remojar el ladrillo en una solución muy diluida de mortero antes de sumergirlos en el mortero cremoso para el colocado en posición. Esto tiene la desventaja de incrementar el tiempo de secado de la superficie terminada.

Los ladrillos también pueden ser colocados en seco. En algunas condiciones, esto es preferido. Colocar el ladrillo en seco ofrece la ventaja de permitir la expansión en las uniones individualmente, en tanto que la aplicación de mortero distribuye la expansión en las juntas de expansión. Los ladrillos utilizados como aislamiento de respaldo son comúnmente colocados en seco.

### Construcción de Muros Rectos. (ver figura 1.)

#### Recomendaciones.

Existen tres formas de apilar y entrelazar los ladrillos con forma de prisma. Consideremos que sus caras tienen tres dimensiones distintas y que la referencia para apilarlos o colocarlos será la cara caliente. Tenemos entonces apilado frontal si su cara caliente es la de menor área, longitudinal si su cara caliente es la de área intermedia y de canto si su cara caliente es la de mayor área. En la mayoría de las construcciones los ladrillos IFB son apilados frontalmente o bien combinando frontal y longitudinalmente, esto sólo se recomienda cuando factores externos así lo exigen.

### Altura máxima sin soporte.

Los muros de 4½" (11.42 cm) de espesor, es decir de apilado longitudinal, sin soporte, no deberán tener más de 3 pies (0.9 m) de altura. Los muros sin soporte de 9" (22.84 cm) de espesor, son construidos entrelazando frontal y longitudinalmente los ladrillos, estos pueden tener hasta 8 pies (2.4 m) de altura; muros de 13½" (34.29 cm,) apilados del mismo modo, pueden tener hasta 12 (3.55 m) pies de altura.

### Apilado Frontal.

#### Todo Frontal.

Muchos muros de 9" de espesor son construidos apilando los ladrillos en dirección frontal, esto es común especialmente para los hornos de cocido con forma de campana o iglú. La ventaja de este método es la gran estabilidad del muro y la uniforme y relativamente baja temperatura de la cara exterior con respecto de la interior. Esta última, es la razón por la cual los muros son construidos para trabajar cerca de su temperatura límite de operación.

### Predominantemente Frontal.

Este tipo de muro tiene muchas de las ventajas de uno construido totalmente de apilado frontal, pero es más rígido. Este muro contiene típicamente de tres a cuatro hiladas frontales por una longitudinal.

### Apilado Longitudinal.

#### Todo Longitudinal.

Considerando que no es muy rígido, **no se recomienda** para alturas mayores a 3 pies (0.9 m) o bien para muros donde existe otra estructura de soporte.

### Predominantemente Longitudinal.

Este tipo de apilado es muy utilizado cuando el ladrillo es sometido a impacto de escoria o cualquier otra acción erosiva. La ventaja de esto es que la cara exterior se puede reparar aplicándole un revestimiento de hasta 11.43 cm (4.5") de espesor bien adherido a los ladrillos.

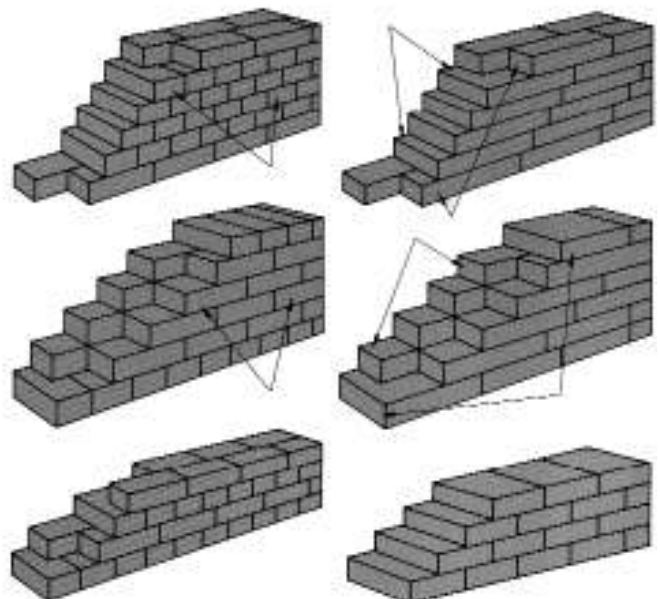


Figura 1. Construcción de paredes IFB rectas.



### Frontal y Longitudinal Alternadamente.

Los muros de 9" (228.6 mm) y 13½" (342.9 mm) de espesor, contruidos con empalmes frontales y longitudinales alternadamente proporcionan un muro muy estable y son considerados como una "buena práctica". Este tipo de muros son comúnmente contruidos en hornos para molienda, y normalmente se utilizan ladrillos densos.

### Colocado de Canto o Enchapado.

En un gran número de hornos modernos los muros son contruidos con revestimientos de ladrillos aislantes o densos con un respaldo aislante de ladrillos de menor temperatura o bloques de fibra cerámica. La mayoría estos hornos son contruidos con estructuras de acero. Cuando se usa esta combinación de materiales los muros nos se deben unir ya que los coeficientes de expansión son distintos. En estos casos se determina la altura del muro utilizando el espesor del muro interno.

*La colocación de canto ó enchapado de ladrillos IFB no se recomienda para exteriores de muro si estos no cuentan con una estructura sólida.*

### Muros Curvos.

La mayoría de los muros curvos se usan como revestimientos de chimeneas, hornos de fosa circulares y hornos redondos intermitentes. Algunas excepciones son los hornos cuyos muros laterales son hechos en forma curva para darle mayor estabilidad que si fuesen completamente rectos.

### Ventajas.

Un muro curvo contruido apropiadamente es mucho mas estable que uno recto en todos sus espesores. Por lo tanto, los muros curvos pueden tener alturas mucho mayores. Cuando muros con suficiente curvatura se encuentran dentro de una estructura (como es el caso de las chimeneas forradas interiormente,) la acción opresora del ladrillo evita que estos caigan hacia fuera, por lo que la única limitante en la altura es la capacidad del ladrillo de soportar el peso del resto del material bajo de condiciones de operación.

### Altura máxima.

Como ya se mencionó, en muros donde la curvatura es suficiente para hacerlo auto-soportable, la altura es limitada únicamente por la capacidad de carga del ladrillo de las hiladas inferiores, para soportar el peso de las hiladas superiores. Debido a que la capacidad de carga de todos los refractarios en función de la temperatura, la altura más segura para estos revestimientos es definida por del tipo de ladrillo utilizado y la temperatura de operación a la que son sometidas las hiladas inferiores.

### Formas de Ladrillos.

Las secciones de muro curvas son contruidas generalmente con ladrillos circulares ó "claves", juntas o etrelazadas. Cuando es necesario también se pueden utilizar ladrillos de cuña o arqueados, pero no son mucho muy recomendables.

Al utilizar ladrillos aislantes para contruir muros curvos ó bóvedas, siempre es preferible usar ladrillos de forma estándar que una combinación de estos con ladrillos con alguna otra forma como es común al utilizar ladrillos densos.

### Guía de Construcción.

#### Muros Curvos Soportados en Secciones.

Si los muros curvos son muy altos, estos pueden ser separados en secciones por juntas horizontales para soporte, así mismo, si se considera que la parte inferior del muro requerirá ser reconstruida antes que la superior. Esta junta se construye como indicado en la Figura 2. El ángulo ó estructura de soporte requiere ser lo suficientemente ancha para que la presión ejercida no dañe el ladrillo que está encima.

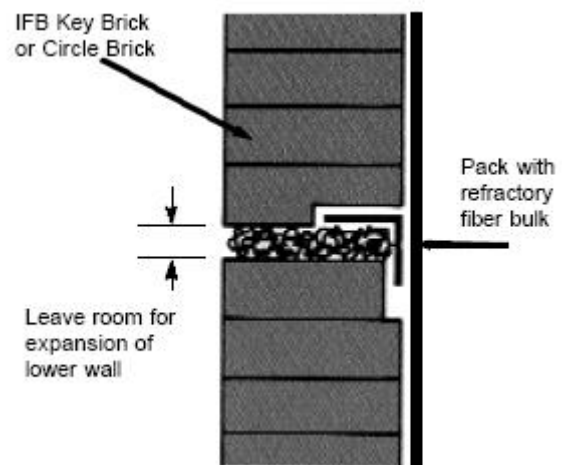


Figura 2. Pared Curva Seccionalmente Soportada.

#### Expansión en Muros Curvos.

Un muro circular no necesita juntas de expansión verticales. De hecho, las juntas de expansión, eliminarían el objeto de utilizar muros curvos. Sin embargo, la expansión a altas temperaturas de los muros curvos puede ser un problema, principalmente en diámetros grandes, como es el caso de los hornos circulares intermitentes. Para solucionar esto se puede utilizar una capa de aislamiento de respaldo elástica entre los IFB y la estructura de acero. Esta elasticidad absorberá cualquier expansión del muro.

### Muros Divisorios.

Ocasionalmente, los hornos son diseñados para contener varias cámaras de calentamiento, con muros compartidos entre ellas. Esta construcción es más costosa que si se utilizaran dos muros independientes, además de tener las debilidades que a continuación se resumen.

#### Temperatura de Operación.

En un horno ordinario, los muros sólo se calientan en una de sus caras, esto tiene como resultado una caída de temperatura del interior al exterior. El exterior del ladrillo permanece firme, mientras las secciones internas se acercan a su punto de fusión. Debido a su alta temperatura de operación, se requiere un ladrillo de mayor resistencia al calor en un muro divisorio que en los exteriores. Además, el interior del ladrillo estará sujeto a la misma temperatura que la cara de exposición al calor, por lo que es necesario utilizar un ladrillo de la misma resistencia térmica o superior, que en el exterior del muro. En la mayoría de los casos, los ladrillos IFB no son recomendados para muros divisorios.

El ángulo de soporte es firmemente soldado a la estructura exterior de acero. Se debe monitorear la temperatura en el borde caliente del ángulo de acero para definir si es necesario el uso alguna aleación resistente al calor. Una unión de soldadura continua a la estructura de acero facilitaría la disipación de calor hacia esta.

Espesor de Muro.	Ladrillo recomendado.	Otros ladrillos posibles.
4½" (114.3 mm)	Circular.	Los ladrillos arqueados se utilizan en algunas ocasiones pero no son recomendados. 6¾" (114 mm) para 4½" (114 mm.)
9" (228.6 mm)	Clave.	Una combinación de ladrillos circulares y clave se puede utilizar, utilizando cualquier combinación para pared recta. Use todos los ladrillos clave para diámetros grandes.
13½" (342.9 mm)	Clave.	Igual que para 9" (228.6 mm.) De ser necesarios ladrillos de cuña y más pesados pueden ser utilizados en paredes bajas, no recomendados.

**Tabla F. Guía de Construcción de Muros Curvados.**  
**Construcción.**

En la figura 3-A, las bases de los arcos están soportadas por una sólida columna de ladrillo refractario. La figura 3-B, muestran estas bases soportadas por paredes independientes separadas con ductos ó canales horizontales. Esta construcción, con o sin ductos, permite la reparación de un arco sin afectar el otro. Sin embargo, los ductos son necesarios, para disipar el calor.

Los conductos de aire en los muros divisorios (Figura 3-C) permiten la salida del calor hacia el exterior. Estos se pueden formar horizontales, verticales o de ambos, al colocar los ladrillos. Cuando sólo se hacen conductos de ventilación horizontales, el aire es generalmente removido por medios mecánicos o por conectándolo a una corriente vertical o en uno de sus extremos.

#### Espesor.

El espesor de los muros divisorios debe ser por lo menos 4½" (114.3 mm) mayor que los muros exteriores. Si la pared va ha soportar dos arcos, el espesor no deberá ser menor al espesor de las dos bases ó sotábanco juntas.

#### General

Las bóvedas con forma de arco son las más comunes en los equipos de procesamiento de calor. Su construcción es relativamente sencilla y requieren de menos elementos mecánicos de soporte.

Estos arcos se soportan en ambos lados sobre sotábanco los cuales transmiten la carga a las secciones soportantes del horno. El sotábanco o base más aceptada es el integrado de ladrillo de corte estándar de 9", sin embargo el sotábanco monolítico también es ampliamente usado. Considerando que el movimiento de los sotábanco puede ocasionar el colapso de toda la bóveda, los hornos son construidos de forma rígida.

Las bóvedas arqueadas para exposición directa pueden ser construidas con ladrillo aislante IFB o ladrillo denso. Para ambos tipos de ladrillo se aplican los mismos principios de construcción. A pesar de que el IFB tiene menor resistencia por unidad en peso que algunos tipos de ladrillo denso, funcionan bien en claros ó envergaduras relativamente grandes, ya que cualquier deficiencia en resistencia se compensa por la baja densidad y su tamaño más uniforme que los ladrillos densos. La uniformidad en el acabado de los ladrillos maquinados IFB proporciona una distribución equitativa de la carga sobre todos los ladrillos en el arco. Con ladrillos densos, que varían significativamente de tamaño, las cargas se concentran en las secciones de mayor espesor. Lo cual requiere mayor precisión al cementar los ladrillos y mejores técnicas de aplicación del mortero en la construcción de estos arcos.

#### Claros ó Envergaduras Máximas de IFB Recomendadas.

- 5 pies para arcos de 4½" de espesor (1.5m. / 114.3mm)
- 12 pies para arcos de 9" de espesor (3.6m. / 228.6mm)
- 18 pies para arcos de 13½" de espesor (45m. / 342.9mm)
- 

#### Formas de Ladrillos Utilizadas.

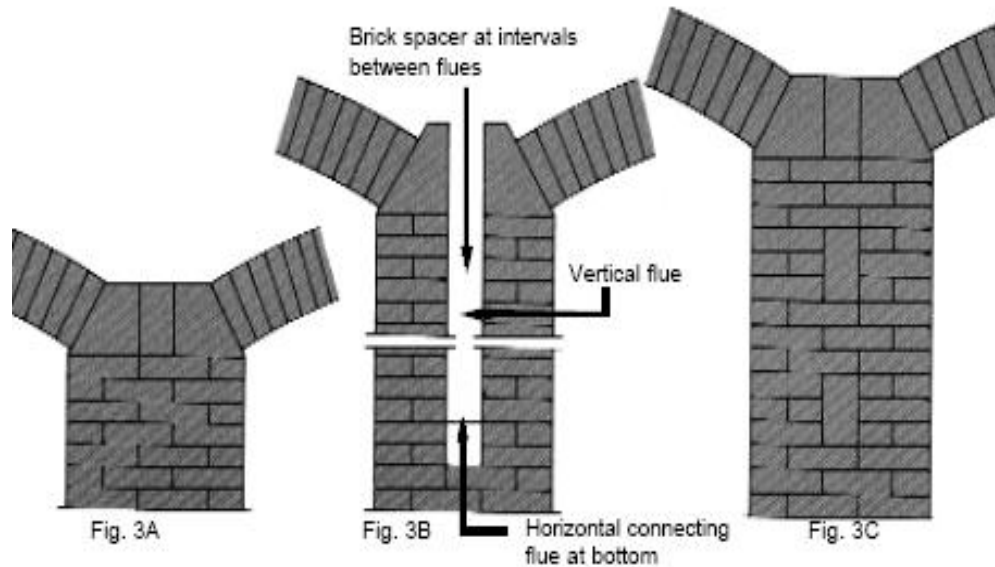
Debido a que los ladrillos densos son moldeados y no pueden ser maquinados, se han adoptado las siguientes formas estándar: en arco, cuña y llave; designándolas como No.1, No.2 y No.3 respectivamente. Las bóvedas en arco se construyen combinando las tres formas junto con los rectos, para dar la forma circular requerida.

Los IFB, en cambio son maquinados, después de ser quemados, para adquirir el tamaño y forma deseados utilizando las herramientas adecuadas. Esto proporciona construcciones más robustas y simplifica su colocación, ya que solo se usa una forma de ladrillo. Los ladrillos maquinados permanecerán en su lugar más fácilmente que los ladrillos rectos. Si es necesario y no se dispone de suficiente tiempo, se pueden utilizar los ladrillos con forma recta, en lugar de los IFB maquinados. Las formas estándar utilizadas para los distintos espesores de arco son:

#### Alzamiento de Arcos.

El mínimo de elevación de un arco es de 1½" por pie de claro ó envergadura (12.5 cm. /m.) Es muy común construir arcos con una elevación de 1.608" por pie (13.4 cm. /m) ya que da como resultado un ángulo incluido de 60° y un radio interno igual al claro ó envergadura. Esto simplifica el trazado así como el cálculo de cantidades y tamaños de ladrillo. En la medida de lo posible, se recomienda, que para arcos de arco ó envergadura amplia, la elevación sea por lo menos 1¾" por pie (14.6 cm..) Mientras que para arcos de alta temperatura, 1427°C (2600°F) o más, la elevación deberá ser de, 1½" por pie (12.5 cm.) de claro ó envergadura.

Se ha determinado que la máxima elevación de un arco sea de 3" por pie (25 cm. /m.) Mayor de eso, la estructura es inestable. Un rango óptimo de elevación es de 1½" a 2½" por pie (12.5 cm. a 20.8 cm.) de claro ó envergadura.



#### Tipos de Arcos Bombeados (ver Figura 4.)

El arco "unido" es el diseño más utilizado y el óptimo para la mayoría de las condiciones de operación, ya que la construcción está sólidamente unida. En un arco "unido" si uno o varios ladrillos fallan, la carga será soportada por alguno de los dos extremos del mismo y el arco se mantendrá en su lugar hasta que sea reparado.

Con el arco tipo "anillo", si uno de los ladrillos falla, el arco entero caerá, haciendo imposible su reparación. La mayor ventaja de este tipo de arco es la agilidad de colocación, en especial cuando se utiliza una combinación de formas estándar.

El arco "acanalado" es principalmente utilizado cuando existe desgaste en los ladrillos. Los canales refuerzan el arco y le dan estabilidad aun después de que el ladrillo se ha erosionado.

Los arcos "Jack" tienen muy pocas aplicaciones, básicamente se usan en superficies abiertas, ya que son costosos y poseen pocas ventajas sobre los otros tipos.

#### Contracción y Astillado en Arcos y Domos.

Los Arcos y domos construidos con ladrillo aislante IFB, tienen un gran diferencial de temperatura entre sus caras interna y externa. La expansión en la cara interna será mayor que en la cara externa. Esto puede ocasionar problemas al concentrar toda la carga sobre la cara interna del ladrillo. Esto es una deformación por calor de la cara interna del ladrillo. Cuando el arco o domo es enfriado la contracción y astillado se aprecian como fracturas entre las juntas de los ladrillos de la cara caliente. En casos extremos toda la cara expuesta al calor se caerá.

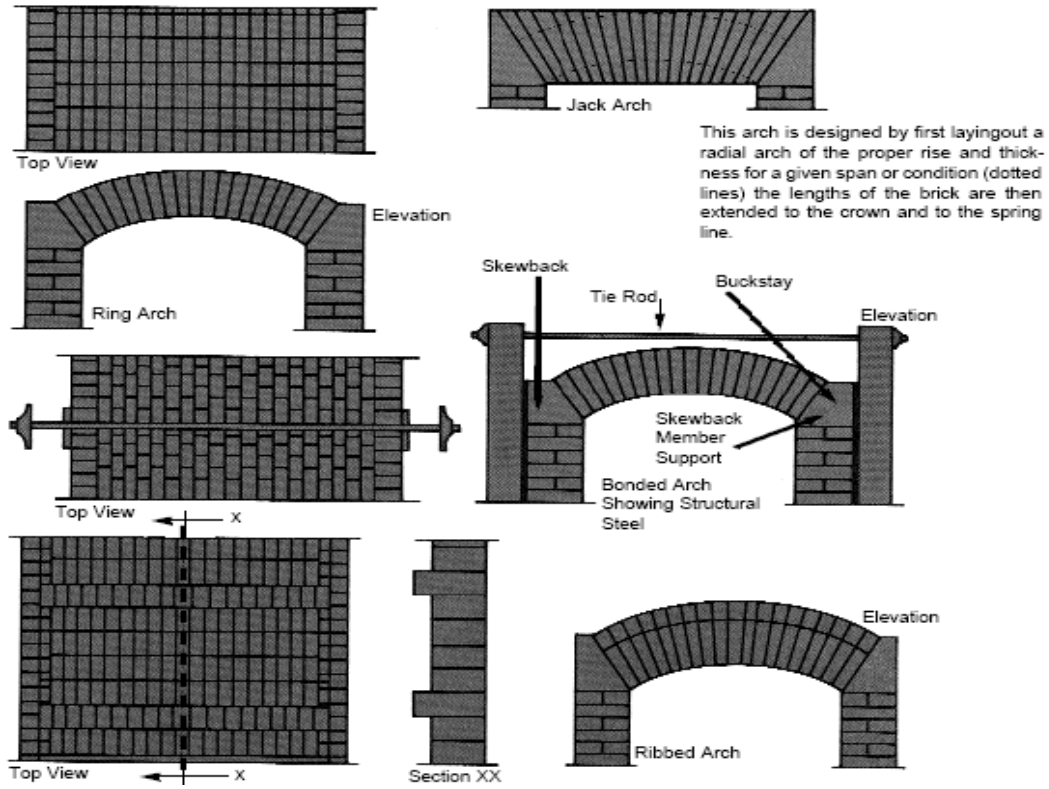
Este problema se elimina con una sólida junta de mortero correctamente aplicado. Otra técnica es utilizando aislamiento de respaldo en la parte superior del domo o arco, para disminuir la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior del mismo. Si se utiliza este método, es necesario calentar y enfriar el horno lentamente, para que el calor tenga oportunidad de disiparse a través de los ladrillos. Un rápido calentamiento puede ocasionar una expansión de la cara interna del ladrillo y así como una excesiva carga sobre esta, sin que el calor pueda atravesar y expanda la cara externa de los ladrillos.

#### Sotabancos o Salmers.

Las bases de arco o "Salmers" consisten en ladrillos, con caras de ángulos e inclinaciones específicas, con una estructura interna de acero. Las bóvedas arqueadas descansan sobre las bases de arco o "Salmers", las cuales transmiten los esfuerzos mecánicos a las estructuras de soporte del horno. Ya que el movimiento en las bases de arco o "Salmers" puede causar que la bóveda falle, los hornos deben ser construidos rígidamente.

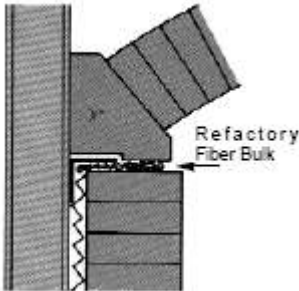
Factores que pueden ocasionar movimiento de las bases de arco o "Salmers" son:

- Colapso de paredes laterales donde descansan las bases de arco o "Salmers".
- Insuficiente rigidez o fuerza de las estructuras de soporte de las bases de arco o "Salmers" resultando en deformaciones permanentes ó falla en las uniones de la estructura.
- Sobre calentamiento del elemento de soporte de las bases de arco o "Salmers".
- Colocación de material comprimible detrás de las bases de arco o "Salmers".
- Colocación inapropiada de las bases de arco o "Salmers".



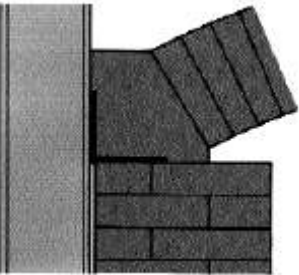
### Bases ó "Salmers Soportadas Independientemente.

Es cada vez más común el separar mecánicamente las bases de arco o "Salmers de la pared adyacente. Esto conlleva dos ventajas, como se ilustra en la Figura 5. La primera, es reconstruir una pared por completo sin afectar la bóveda. La estructura es lo suficientemente fuerte para soportar la bóveda sin ayuda de la pared lateral. Se ha observado que las paredes laterales se vencen antes que el domo ó bóveda, lo que hace que este método sea práctico y útil.



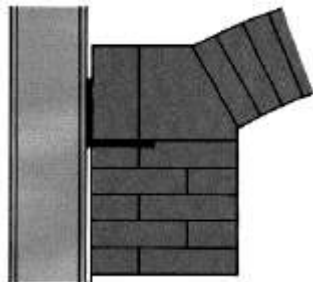
**Figura 5. Arco Soportado Independientemente con Aislamiento.**

La segunda ventaja es que las paredes laterales se pueden expandir y contraer sin afectar con la estabilidad estructural de la bóveda domo alargando su vida. Debido a la posición del quemador así como a la heterogeneidad de las áreas dentro del horno, es común que una pared se expanda y se mueva. Esto ocasiona que la bóveda o domo se tuerza o distorsione. Se debe dejar espacio suficiente, entre la cima de la pared y la base de la bóveda ó "Salmer" para permitir esta expansión. Como en cualquier otra junta este espacio se rellena con fibra refractaria granel.



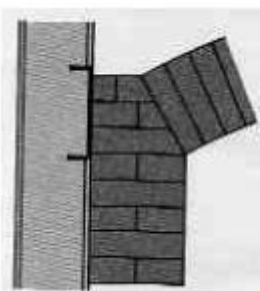
**Figura 6. Sotabanco Reposado en Muro Lateral.**

La base de la bóveda ó "Salmer" debe estar bien soportada. Aunque no se muestra, es necesario tener una sección de canal o ángulo de acero bien soldado al muro para asegurar el borde trasero de la base y soportar la fuerza horizontal.



**Figura 7. No recomendado. En Especial en Hornos Operando Cerca de la Temperatura Límite del Bloque.**

El resto de las figuras de ésta sección muestra la base soportada directamente sobre el muro lateral. Este tipo de construcción es aceptable, pero se debe considerar que el tiempo de vida de la bóveda o domo será menor, ya que cualquier movimiento en las paredes también moverá la bóveda o domo. Algunas construcciones requieren de un ángulo de acero colocado como se muestra en la figura 6. Se debe notar que cuando la pared se expanda y se eleve ésta torcerá la base de la bóveda ó "Salmer" y éste será aún más inestable.



**Figura 8. Sotabanco Integrado. No tan Deseable como se Muestra en la Figura 2.**

Aunque esta construcción ofrece economía al soportar las fuerzas horizontales y verticales con un ángulo de acero, no es recomendada.

### Muros laterales aislados.

Cuando las paredes de los hornos, son aisladas con material comprimible, es muy importante que el aislamiento no sobrepase el inicio de la base de la bóveda ó "Salmer". Estos deben hacer contacto con el elemento metálico soportante como se muestra en las Figuras 5 y 6. Si el aislante se coloca detrás de la base de la bóveda ó "Salmer", la fuerza de empuje de la bóveda comprimirá el material aislante, permitiendo movimiento y una posible falla en el arco.

### Colocación de la base de la bóveda ó "Salmer".

Cuando la pared y la bóveda ó domo tienen el mismo espesor, la base de la bóveda ó "Salmer", esta debe ser del mismo ancho que el muro y deberá ser colocado justo por encima del muro de soporte como se muestra en la figura 6. La construcción mostrada en la figura 7 no es recomendada ya que la base de la bóveda ó "Salmer" está colocado en la parte caliente de la pared.

### Tamaño de la base de la bóveda ó "Salmer".

Las Figuras 9 y 10 muestran algunas bases de la bóveda ó "Salmer" recomendados para bóvedas o domos de 4½" y 9" (114.3 mm a 228.6 mm,) con diferentes elevaciones. La pendiente de la base de la bóveda ó "Salmer" se puede calcular, con la fórmula utilizada en bóvedas arqueadas. Las bases de bóveda ó "Salmer" de IFB se pueden construir para cualquier altura de domo. Para minimizar el número piezas para construir la base de bóveda ó "Salmer" se recomienda usar ladrillos de 3" (76 mm.)

Para evitar fracturas, se recomienda evitar puntas al diseñar las bases de bóveda ó "Salmer". Si es necesario hágase un corte ó saque para asentar el ángulo soportante como se muestra en las figuras 5 y 6. Estos se pueden hacer al fabricarlos ya que es difícil tener exactitud en la obra. Además en trabajos muy extensos resulta más económico que el fabricante realice los cortes ó saques a las bases de bóveda ó "Salmer".

### Material Para la Base de la Bóveda ó "Salmer".

La base de la bóveda ó "Salmer" deberá ser del mismo material que la bóveda ó domo. El análisis de los esfuerzos revela que no hay más esfuerzo en la base de la bóveda ó "Salmer" que en cualquiera de los ladrillos la misma. Por lo tanto, no hay ninguna ventaja en hacer la base de la bóveda ó "Salmer" de algún material con mayor capacidad de carga.

**Cálculo de Bóvedas ó Domos Arqueados.**

Las ecuaciones básicas para una bóveda se muestran en la figura 11. Sin embargo no es común realizar los cálculos ya que existen tablas disponibles. Sin embargo, ésta información puede ser útil para algún arco en especial.

Se han desarrollado constantes para las elevaciones por pie de claro más comunes. Estas se encuentran en la Tabla de Bóvedas ó Domos Arqueados 1. Como una información adicional en los cálculos.

**Cálculos Para Ladrillo IFB Estándar.**

Para determinar las cantidades requeridas de ladrillos o arena radica por bóveda ó domo:

(A menos que se indique, los cálculos son para ladrillos IFB de 3" (76 mm))

1. Determine la longitud externa del arco en pulgadas =  $2\dot{A}R$ .
2. Para el arco completo, divida la longitud externa entre 3 (3 series de ladrillos o arcos,) o  $4\frac{1}{2}$ " para ladrillos clave. Esto determina la cantidad requerida.

3. Para arcos bombeados, multiplique la circunferencia exterior por la parte de circulo de una elevación por pie de envergadura dada (ver tabla de arcos bombeados 1,) y divida entre 3" para obtener la cantidad de arcos o ladrillos de cuña o entre  $4\frac{1}{2}$ " (114.3 mm) para ladrillos clave.
4. Dimensión de cara menor del ladrillo.

a. Arco o Ladrillo de cuña. =  $\frac{3r}{R}$  (todos en pulgadas)

b. Ladrillo Clave =  $\frac{4\frac{1}{2}r}{R}$  (todos en pulgadas)

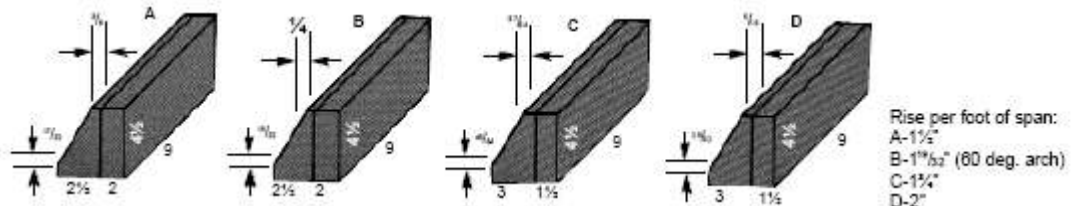


Figura 9. Sotabancos para arcos de 4 1/2" de espesor.

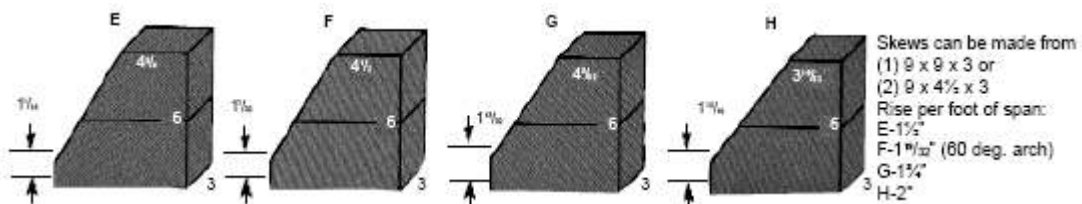


Figura 10. Sotabancos para arcos de 9" de espesor.

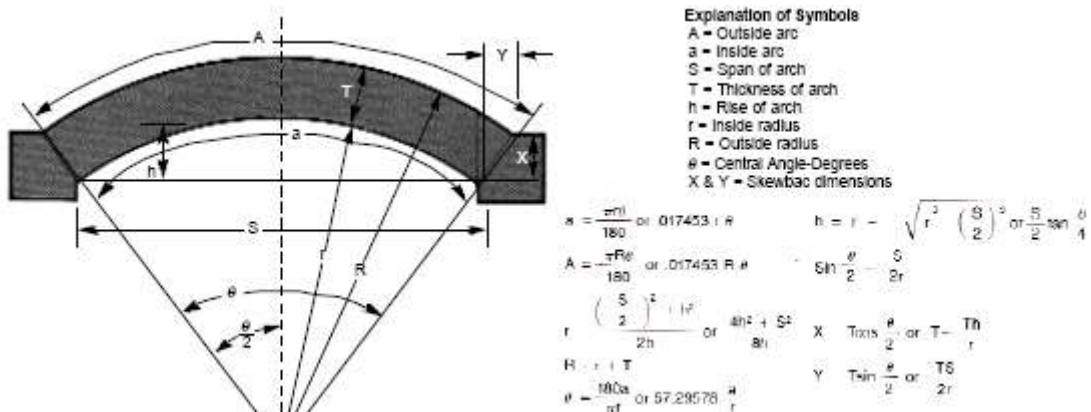


Figura 11. Ecuaciones de cálculo para Arcos Bombeados.

**Tablas Para Ladrillos IFB Estándar.**

Las siguientes tablas de proporcionan información para determinar cantidad y tamaños de ladrillos IFB estándar.

**Tabla H. Constantes de Arcos Bombeados.**

Elevación por pie de envergadura, Pulg.	Deg. Central	Angulo min.	Radio interno.	Arco interno.	Parte de círculo.	Sotabanco X	Y
1.50	56	8.7	1.06250 S	1.04117 S	0.15596	0.88235 T	0.47059 T
1.608	60	0.0	1.00000 S	1.04720 S	0.16667	0.86603 T	0.50000 T
1.75	65	2.5	0.93006 S	1.05579 S	0.18067	0.84320 T	0.53760 T
2.00	73	44.4	0.83333 S	1.07251 S	0.20483	0.80000 T	0.60000 T
2.25	82	13.4	0.76042 S	1.09125 S	0.22840	0.75342 T	0.65753 T
2.50	90	28.8	0.70417 S	1.11200 S	0.25133	0.70414 T	0.71006 T
2.75	98	29.7	0.66004 S	1.13464 S	0.27360	0.65280 T	0.75753 T
3.00	106	15.6	0.62500 S	1.15912 S	0.29517	0.60000 T	0.80000 T

**Tabla I. Arco bombeado 4 1/2", Serie 3", 1 1/2" elevación por pie de envergadura.**

Envergadura		Elevación		Radio Int.		Ladrillo p/ fila.
Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	
1	6	0	2 1/4"	1	7 1/8"	8
1	9	0	2 5/8"	1	10 5/16"	9
2	0	0	3	2	1 1/2"	10
2	3	0	3 5/8"	2	4 11/15"	12
2	6	0	3 3/4"	2	7 1/8"	13
3	0	0	4 1/2"	3	2 1/4"	14
3	6	0	5 1/4"	3	8 3/8"	17

**Tabla J. Arco bombeado 4 1/2", Serie 3", 1 3/4" elevación por pie de envergadura.**

Envergadura		Elevación		Radio Int.		Ladrillo p/ fila.
Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	
1	6	0	2 5/8"	1	4 3/4"	8
1	9	0	3 1/16"	1	7 17/32"	9
2	0	0	3 1/2"	1	10 5/16"	11
2	3	0	3 15/16"	2	1 1/8"	12
2	6	0	4 3/8"	2	3 29/32"	13
3	0	0	5 1/4"	2	9 15/32"	15
3	6	0	6 1/8"	3	3 1/16"	17
4	0	0	7	3	8 21/32"	19

**Tabla K. Arco bombeado 3" de espesor, Ladrillo de cuña 3", 1 1/2" elevación por pie de envergadura.**

Envergadura		Elevación		Radio Int.		Ladrillo p/ fila.
Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	
1	6	0	2 1/2"	1	7 1/8"	9
1	9	0	2 5/8"	1	10 5/16"	11
2	0	0	3	2	1 1/2"	12
2	3	0	3 5/8"	2	4 11/15"	13
2	6	0	3 3/4"	2	7 1/8"	14
3	0	0	4 1/2"	3	2 1/4"	16
3	6	0	5 1/4"	3	8 3/8"	18
4	0	0	6	4	3	20
4	6	0	6 3/4"	4	9 3/8"	22
5	0	0	7 1/2"	5	9 3/4"	24
5	6	0	8 1/4"	5	10 1/8"	26
6	0	0	9	6	4 1/2"	29
6	6	0	9 3/4"	6	10 7/8"	30
7	0	0	10 1/2"	7	5 1/4"	33
7	6	0	1 1/14"	7	11 5/8"	34
8	0	1	0	8	6	37
9	0	1	1 1/2"	9	6 3/4"	41

**Tabla L. Arco bombeado 3" de espesor, Ladrillo de cuña 3", 1 3/4" elevación por pie de envergadura.**

Envergadura		Elevación		Radio Int.		Ladrillo p/ fila.
Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	
1	6	0	2 5/8"	1	4 3/4"	10
1	9	0	3 1/16"	1	7 17/32"	11
2	0	0	3 1/2"	1	10 5/16"	13
2	3	0	3 15/16"	2	1 1/8"	14
2	6	0	4 3/8"	2	3 29/32"	14
3	0	0	5 1/4"	2	9 15/32"	16
3	6	0	6 1/8"	3	3 1/16"	18
4	0	0	7	3	8 21/32"	21
4	6	0	7 1/8"	4	2 7/32"	23
5	0	0	8 3/4"	4	7 13/15"	25
5	6	0	9 5/8"	5	1 3/8"	27
6	0	0	10 1/2"	5	6 31/32"	29
6	6	0	11 3/8"	6	1 1/32"	31
7	0	1	1 1/4"	6	6 1/6"	33
7	6	1	1 1/8"	6	11 11/16"	36
8	0	1	2	7	5 9/32"	38
9	0	1	3 3/4"	8	4 1/15"	42
10	0	1	5 1/2"	9	3 19/32"	46
11	0	1	7 1/4"	10	2 1/4"	51
12	0	1	9	11	1 1/16"	54

Tabla M. Arco bombeado, Arcos de 60°, 1<sup>19</sup>/<sub>32</sub>" elevación por pie de envergadura.

Envergadura		Elevación		Radio Int.		Ladrillo p/ fila.
Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	
1	6	0	2 <sup>13</sup> / <sub>32</sub> "	1	6	10
1	9	0	2 <sup>13</sup> / <sub>16</sub> "	1	9	11
2	0	0	3 <sup>7</sup> / <sub>32</sub> "	2	0	12
2	3	0	3 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "	2	3	13
2	6	0	4 <sup>1</sup> / <sub>32</sub> "	2	6	14
3	0	0	4 <sup>13</sup> / <sub>16</sub> "	3	0	16
3	6	0	5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> "	3	6	18
4	0	0	6	4	0	20
4	6	0	6 <sup>7</sup> / <sub>16</sub> "	4	6	23
5	0	0	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> "	5	0	24
5	6	0	8 <sup>1</sup> / <sub>32</sub> "	5	6	27
6	0	0	9 <sup>21</sup> / <sub>32</sub> "	6	0	29
6	6	0	10 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> "	6	6	31
7	0	0	11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> "	7	0	33
7	6	1	1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> "	7	6	35
8	0	1	1 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> "	8	0	37
9	0	1	2 <sup>5</sup> / <sub>32</sub> "	9	0	41
10	0	1	4 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> "	10	0	45

Tabla N. Arco bombeado, 2" elevación por pie de envergadura.

Envergadura		Elevación		Radio Int.		Ladrillo p/ fila.
Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	Pies.	Pulg.	
1	6	0	3"	1	3"	11
1	9	0	3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	1	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	12
2	0	0	4"	1	8"	13
2	3	0	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	1	10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	14
2	6	0	5"	2	1	15
3	0	0	6"	2	6	17
3	6	0	7"	2	11	19
4	0	0	8"	3	4	22
4	6	0	9"	3	9	24
5	0	0	10"	4	2	26
5	6	0	11"	4	7	28
6	0	1	0"	5	0	30
6	6	1	1"	5	5	32
7	0	1	2"	5	10	34
7	6	1	3"	6	3	37
8	0	1	4"	6	8	38
9	0	1	6"	7	6	43
10	0	1	8"	8	4	48
11	0	1	10"	9	2	52
12	0	2	0"	10	0	56
13	0	2	2"	10	10	60
14	0	2	4"	11	8	64

Tabla O. Arco bombeado, Cantidades de Ladrillo de cuña de 3" para Arco de 9" de espesor. "Para arcos de 4<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" de espesor, dividir cantidades entre dos para determinar la cantidad requerida.

Ladrillo p/ fila.	Longitud de Arco.										
	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	9"	1' 1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	1' 6"	1' 10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	2' 3"	2' 7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> "	3'	6'	9'	12'
10	10	20	30	40	50	60	70	80	160	240	320
11	11	22	33	44	55	66	77	88	176	264	352
12	12	24	36	48	60	72	84	96	192	288	384
13	13	26	39	52	65	78	91	104	208	312	416
14	14	28	42	56	70	84	98	112	224	336	448
15	15	30	45	60	75	90	105	120	240	360	480
16	16	32	48	64	80	96	112	128	256	384	512
17	17	34	51	68	85	102	119	136	272	408	544
18	18	36	54	72	90	108	126	144	288	432	576
19	19	38	57	76	95	114	133	152	304	456	608
20	20	40	60	80	100	120	140	160	320	480	640
21	21	42	63	84	105	126	147	168	336	504	672
22	22	44	66	88	110	132	154	176	352	528	704
23	23	46	69	92	115	138	161	184	368	552	736
24	24	48	72	96	120	144	168	192	384	576	768
25	25	50	75	100	125	150	175	200	400	600	800
26	26	52	78	104	130	156	182	208	416	624	832
27	27	54	81	108	135	162	189	216	432	648	864
28	28	56	84	112	140	168	196	224	448	672	896
29	29	58	87	116	145	174	203	232	464	696	928
30	30	60	90	120	150	182	210	240	480	720	960
31	31	62	93	124	155	186	217	248	496	744	992
32	32	64	96	128	160	192	224	256	512	768	1024
33	33	66	99	132	165	198	231	264	528	792	1056
34	34	68	102	136	170	204	238	272	544	816	1053
35	35	70	105	140	175	210	245	280	560	840	1120
36	36	72	108	144	180	216	252	288	576	864	1152



Tabla O. Continuación...

Ladrillo p/ fila.	Longitud de Arco.										
	4½"	9"	1' 1½"	1' 6"	1' 10½"	2' 3"	2' 7½"	3'	6'	9'	12'
37	37	74	111	148	185	222	259	296	592	888	1184
38	38	76	114	152	190	228	266	304	608	912	1216
39	39	78	117	156	195	234	273	312	624	936	1248
40	40	80	120	160	200	240	280	320	640	960	1280
41	41	82	123	164	205	246	287	328	656	984	1312
42	42	84	126	168	210	252	294	336	672	1008	1344
43	43	86	129	172	215	258	301	344	688	1032	1376
44	44	88	132	176	220	264	308	352	704	1056	1408
45	45	90	135	180	225	270	315	360	720	1080	1440
46	46	92	138	184	230	276	322	368	736	1104	1472
47	47	94	141	188	235	282	329	376	752	1128	1504
48	48	96	144	192	240	288	336	384	768	1152	1536
49	49	98	147	196	245	294	343	392	784	1176	1568
50	50	100	150	200	250	300	350	400	800	1200	1600
51	51	102	153	204	255	306	357	408	816	1224	1632
52	52	104	156	208	260	312	364	416	832	1248	1664
53	53	106	159	212	265	318	371	424	848	1272	1696
54	54	108	162	216	270	324	378	432	864	1296	1728
55	55	110	165	220	275	330	384	440	880	1320	1760
56	56	112	168	224	280	336	392	448	896	1344	1796
57	57	114	171	228	285	342	399	456	912	1368	1824
58	58	116	174	232	290	348	406	464	928	1392	1856
59	59	118	177	236	295	354	413	472	944	1416	1888

Tabla P. Arco bombeado, Espesor de Serie 2½" Especial de Cara Angosta para Varios Radios Internos

Radio Interno del Arco.		Arco de Espesor 4½"	Arco de Espesor 9"	Arco de Espesor 13½"	Radio Interno del Arco.	Arco de Espesor 4½"	Arco de Espesor 9"	Arco de Espesor 13½"	
Pies.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	Pies.	Pulg.	Pulg.	Pulg.	
1	6	2.4	2.00	1.71	6	0	-	2.66	2.53
1	9	2.47	2.10	1.82	6	3	-	2.68	2.54
2	0	2.53	2.18	1.92	6	6	-	2.69	2.56
2	3	2.57	2.24	2.00	6	9	-	2.70	2.57
2	6	2.60	2.30	2.08	7	0	-	2.71	2.58
2	9	2.64	2.35	2.14	7	6	-	2.72	2.60
3	0	2.66	2.45	2.18	8	0	-	2.75	2.63
3	3	2.69	2.45	2.23	9	0	-	2.77	2.66
3	6	2.71	2.47	2.27	10	0	-	2.78	2.70
3	9	2.72	2.50	2.30	11	0	-	2.81	2.72
4	0	2.74	2.52	2.34	12	0	-	2.82	2.75
4	3	2.76	2.54	2.38	13	0	-	-	2.76
4	6	-	2.57	2.40	14	0	-	-	2.77
4	9	-	2.59	2.42					
5	0	-	2.60	2.45					
5	3	-	2.62	2.47					
5	6	-	2.64	2.50					
5	9	-	2.65	2.52					

**Determinación de la Cantidad y Tamaño de IFB Para un Domo de 9" de Espesor Utilizando las Tablas No. K – P.**

- Ejemplo 1 (Tomando en cuenta los siguiente):
- Longitud de Arco = 12 pies (3.6m.) Claro ó Envergadura = 6 pies (0.3m.) Elevación = 1¾" por pie (14.6 cm. /m.)

La Tabla K. indica 29 ladrillos por fila con un radio de 5 pies 6<sup>31</sup>/<sub>32</sub>" (1.5m 17.42cm.)

De la Tabla O, un arco de 12 pies (3.6m.) de largo con 29 ladrillos por fila requiere 928 ladrillos.

De la Tabla P, para un radio de 5 pies 6<sup>31</sup>/<sub>32</sub>" (1.5m 17.42cm) y un arco de 9" (228.6mm,) el ladrillo será ajustado a 2.64" (6.6cm.) Si el arco está entrelazado, requeriría una fila o 29 de las mencionadas arriba como cuñas grandes de 9" (9" x 4½" x 3" a 2.64".)

Agregar de 3 a 5% al requerimiento de 928 como factor de desperdicio y ruptura.

- Ejemplo 2 (Tomando en cuenta lo siguiente):
- Longitud de Arco = 7 pies (2.13 m.) Envergadura = 5 pies 5" (1.52m 12.70cm.) Radio = 4 pies 8" (1.22m 20.32cm.)

De la Tabla K, determine la combinación de elevación y radios más cercana a las dimensiones dadas. Las combinaciones se encuentran bajo la columna "2" elevación por pie, con una envergadura de 5 pies 6" (1.52m 15.24cm) y un radio de 4 pies 7" (1.22m 17.78cm,) dando como resultado: 28 ladrillos por fila.

De la Tabla L, se requieren 448 ladrillos para un arco de 6 pies (1.83m) de largo y 84 necesarios para un arco de 1 pie 1.5" (0.30m 3.81cm) de largo o un total de 532.

De la Tabla P, se requieren ladrillo de cuña de 9" (22.86cm) para un radio de 4 pies 8" (1.22m 20.32cm) ajustados a 2.59" (6.58cm.)

Por lo tanto, se requieren 532 ladrillos de cuña con dimensiones de 9" x 4½" x 3" ajustados a 2.59" (22.86cm x 11.43cm x 7.62 cm. ajustar a 6.58cm,) a menos de que parte de ellos se requiera grande (Ejemplo 1.)

Con el método descrito, se obtendrán cantidades y tamaños lo suficientemente precisos para bóvedas ó domos. Al calcular cantidades es necesario añadir siempre de un 3% a un 5% como factor de desperdicio o rompimiento. Esto significa que cualquier inexactitud en el cálculo por la interpolación de tablas, será cubierta por los ladrillos adicionales pedidos.

**Tablas para Ladrillos IFB Estándar.**

Para determinar cantidades de ladrillos densos existen libros de bolsillo con diversas tablas disponibles de ladrillos densos,

en arco #1, #2 y #3, en cuña, clave y rectos. Estas tablas aplican igualmente para ladrillos aislantes IFB y por su accesibilidad no están incluidas aquí.

**Domos y Coronas.**

**General.**

Una bóveda ó domo en arco describe una sección longitudinal de un cilindro mientras que una bóveda, domo ó corona convencional describe una sección de una esfera.

El espesor recomendado para una bóveda convencional es de 9"; hecha de ladrillos clave en combinación con cuñas y arqueados. Cada ladrillo es marcado al fabricarse sobre alguna de sus caras más largas para su rápida identificación en el lugar de trabajo.

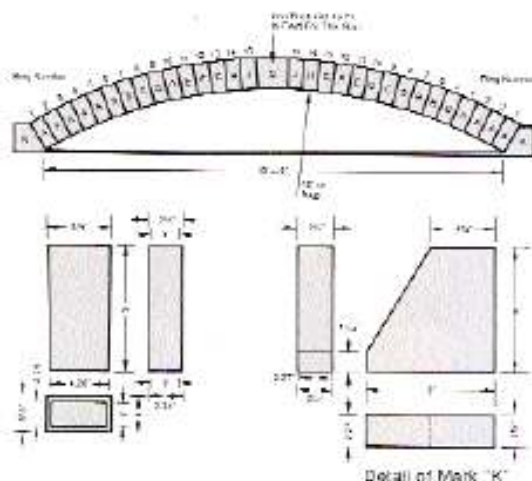
Todos los ladrillos tienen el mismo corte en llave para absorber la diferencia de longitud entre la superficie interior y exterior de la bóveda. Así mismo, algunos ladrillos tienen un estrechamiento de cuña y otros de arco. Los ladrillos de 4½" son colocados en forma de espiral hasta que el domo se cierra, excepto por el hueco del centro. Los domos ó bóvedas convencionales, a diferencia de los arqueados, no necesitan cimbra de soporte, debido a que el mortero tiene suficiente agarre para soportar los ladrillos colocados hasta que cada anillo es terminado. Frecuentemente durante su construcción se utiliza una plantilla. Esta consiste de un marco de madera unido a un tubo, colocado verticalmente por debajo del domo. Este marco puede girar libremente en el tubo y teniendo la forma final de la superficie interior del domo, actúa como cimbra para cada ladrillo.

**Base de Bóveda Convencional ó "Salmer".**

La figura 12 muestra una base de bóveda para domo convencional. Las base de bóveda ó "Salmer" son iguales a aquellos utilizados en los domos arqueados excepto que estos construidos para ser colocados en un círculo ó perimetralmente apropiadamente a la estructura del horno.

**Domos Soportados Independientemente.**

Una aplicación común de estos domos son los hornos intermitentes circulares comúnmente utilizados en plantas estructurales de arcilla para la fabricación de ladrillos domésticos. Estos hornos tipo "Colmena", están construidos de IFB de 9" en el domo e IFB de 9" junto con aislamiento de respaldo en las paredes laterales. La estructura externa esta hecha de hoja de acero de 3/16 a 1/4" de espesor. Es común separar el domo ó bóveda de los muros para permitir la reparación ó reconstrucción de acuerdo al desgaste de cada zona así como la diferente expansión de estas.



Mark	Number Required	Dimension X	Dimensions Y
A	636	2.34"	2.19"
B	368	2.28"	2.13"
C	193	2.22"	2.07"
D	90	2.15"	2.01"
E	69	2.10"	1.96"
F	57	2.01"	1.88"
G	45	1.89"	1.77"
H	35	1.68"	1.57"
J	24	1.29"	1.21"

10 straight brick 9" x 4½" x 3½" required for center plug mark "B".  
Approximately 500lbs. of Blakite® required.

Notes: All brick to be marked with letter. Quantities given include no allowance for waste.

Se suelda un ángulo de hierro rolado en el interior de la estructura donde se apoya el domo. Este tipo de construcción es sencilla, económica y versátil.

#### Cálculo de Domos por Computadora.

Los fabricantes de IFB suministran información sustancial sobre la aplicación y servicios de los domos. Los domos de mayor calidad se construyen con ladrillos estándar y maquinados especialmente para ese uso. La cuantificación de materiales se puede elaborar a partir de los cálculos disponibles con los fabricantes de IFB.

La mayoría de los fabricantes cuentan, con programas computacionales para hacer estos cálculos. La información de diseño se ingresa a la computadora, la cual, calcula un listado completo de materiales que se puede enviar como orden de pedido a planta. Esta es técnica más utilizada para realizar un estimado de materiales, ya que son muy laboriosos para ser hechos manualmente.

#### Mortero para Domo.

Siempre se utiliza mortero para construir los domos, ya que debido a los costados planos de los ladrillos se pueden generar vacíos en intervalos en los anillos del domo. El mortero sellará efectivamente estos, evitando pérdidas de calor excesivas y produciendo una superficie de soporte uniforme evitando que el ladrillo esté sujeto a cargas en un solo punto. Se recomienda hacer las juntas convencionales con cuchara de albañil.

#### Arcos y Muros Suspendidos.

Un arco o muro suspendido son aquellos no soportados por sí mismos, si no que los soporta otra estructura y estos son sujetos a su lugar con medios mecánicos. Estos soportes son generalmente ganchos de metal suspendidos que se acoplan ó ensamblan en orificios, hendiduras, o sobre protecciones en los ladrillos. En algunas construcciones, se usan estas formas especiales de cerámica. Aun cuando existen literalmente cientos de tipos de construcciones de arcos suspendidos, solo algunos son los más populares y son: de Tubo, Barra T, Barra y de Dispositivos Formados Especialmente. Algunos de éstos se muestran en la figura 13. El sistema más utilizado es el de barra suspendida, debido a la caja de piezas que fabrican. Sin embargo tiene sus desventajas que más adelante se describirán. Los ganchos cerámicos tienen la ventaja de que se puede utilizar aislamiento de respaldo pesado.

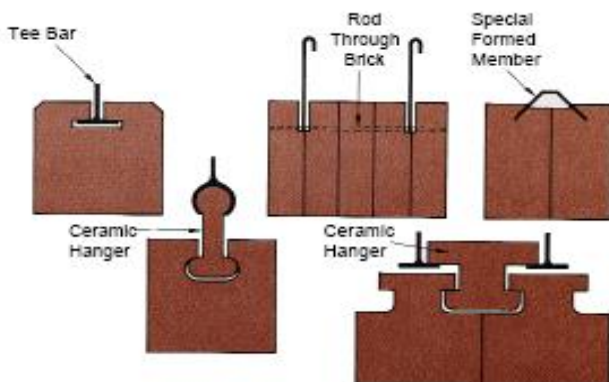


Figura 13. Varios tipos de construcción suspendida.

Existen dos tipos de paredes suspendidas: enfriadas por aire, donde hay un conducto de ventilación para el flujo de aire en la parte posterior del refractario; y aisladas, donde el aislamiento es colocado directamente detrás del refractario. Ambas paredes, con carril de ventilación y aislada, sirven para proteger la estructura metálica de la alta temperatura.

#### Porqué son utilizadas.

Las principales razones por las que se utilizan arcos y paredes suspendidos son:

- Es posible construir arcos planos de gran envergadura ó claro y paredes delgadas y livianas con alta eficiencia térmica y estabilidad estructural. La altura de las paredes y ancho del domo está limitado por la capacidad de los elementos estructurales para soportar la carga.
- Para permitir diseños especiales de hornos haciendo posible el uso de diversos mecanismos de transportación especial y un control más preciso de combustión o radiación. Con el uso de paredes auto-soportantes, bóvedas ó domos arqueados, la variación de formas de hornos es un tanto limitada, en cambio, con la utilización de paredes suspendidas, se puede construir cualquier tamaño o forma de acero estructural y luego revestirlo con refractario.
- Ahorros en la altura de los hornos, especialmente en los de granes claros ó envergadura.
- Permitir la construcción de grandes secciones removibles.
- Para actuar ocasionalmente como anclaje en paredes de otra manera auto-suficientes.

#### Ventajas.

Los costos de reparación son generalmente más bajos, gracias a la facilidad con la que los ladrillos pueden ser retirados y reemplazados y también porque las reparaciones se pueden limitar a los ladrillos que se encuentran dañados. En algunos casos, las reparaciones se pueden realizar durante la operación del horno, evitando así pérdidas en la producción.

En las bóvedas arqueadas suspendidas, la mayor carga es dirigida a la estructura de soporte mientras que los refractarios soportan cargas ligeras y por lo tanto tienen menor tendencia a deformarse a altas temperaturas que en estructuras auto-soportantes. Para evitar esfuerzos que puedan causar fracturas, se puede dar una tolerancia definida para permitir la expansión térmica, tanto horizontal como vertical. Según las condiciones de operación se pueden tomar provisiones para el enfriamiento por ventilación o por agua. Si el peso del techo está sujeto a una construcción suspendida, las hiladas superiores de las paredes deben necesariamente estar sujetas a la estructura del horno por anclajes de metal o clips para evitar la inclinación ó pandeo de estas hacia adentro.

#### Desventajas.

La mayor desventaja es el costo, ya que para el mismo espesor, el costo de la mayoría de las construcciones suspendidas es mayor que para auto-soportantes. Esto se debe no solamente al costo adicional de la estructura de acero, sino también a las piezas con formas especiales requeridas. También hay que mencionar que muchas construcciones suspendidas, no tienen la capacidad de soportar demasiado esfuerzo mecánico, como las auto-soportantes. Los IFB proclives al desprendimiento de su cara caliente no deberán ser utilizados para domos arqueados ya que el desprendimiento se acelerará.

### Espesor.

El espesor para domos arqueados y paredes suspendidos está limitado por las restricciones de fabricación de las formas de los ladrillos; sin embargo, 4½" y 9" (114.3 mm y 228.6 mm) son los más comunes. Muy pocos domos ó paredes son construidos con espesores menores a 4½" (114.3 mm) o mayores a 9" (228.6 mm)

### Tamaño de la unidad.

Los domos y paredes suspendidos requieren ladrillos con absoluta uniformidad en forma y tamaño, para asegurar un ensamblado justo y eliminar la posibilidad de infiltración de aire ó fuga de gas. El ladrillo aislante IFB más común para éste propósito es la serie de 3" (76mm) recto, aunque muchas construcciones suspendidas emplean un ladrillo más grande, de 9" (225mm.) Los ladrillos de mayor tamaño se utilizan para reducir el trabajo en acero y el número de soportes requeridos. Frecuentemente el uso de ladrillos de mayor tamaño disminuye los costos de acero, mano de obra y refractarios en comparación al uso de ladrillo de 3" (76 mm.)

### Aislamiento de respaldo.

El uso de aislamiento de respaldo en para domos y muros suspendidos debe ser evaluado muy cuidadosamente ya que la mayoría de los anclajes y dispositivos de suspensión son metálicos con límites de temperatura muy reales. Los dispositivos anclaje pueden fallar por oxidación a altas temperaturas o a por arrastramiento o fallas físicas de los metales.

Comúnmente, el único aislamiento de respaldo que se utiliza es una capa de una a dos pulgadas hormigón ó concreto aislante ó colchoneta de fibra refractaria. El propósito principal de esta capa es contribuir a sellar el techo. Cuando se utiliza algún aislamiento de respaldo, se debe calcular precisa y cuidadosamente el flujo de calor, para asegurar que el equipo metálico no estará expuesto a temperaturas excesivas. Se debe mencionar que esta limitante no aplica en sistemas de anclaje cerámico.

### Paredes Delgadas y Domos Arqueados.

Las construcciones suspendidas hacen también posible construir de domos arqueados y paredes de 2½" o 3" (87.5mm o 75mm.) de espesor. La construcción mostrada en la figura 14 se puede utilizar con éste propósito. Sin embargo el uso de tal construcción no es común por las pérdidas de calor comparativamente altas, debido a las paredes delgadas, se le puede encontrar en hornos temporales de liberación de esfuerzos, donde el costo de operación es secundario al o para cualquier condición donde se requiere un panel movable y delgado que resista altas temperaturas. Este tipo de construcción se ha utilizado extensamente en recámaras de alta temperatura.

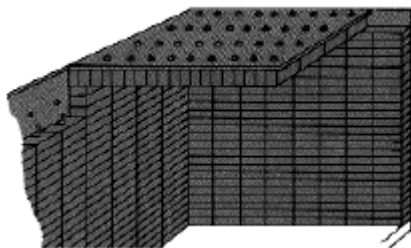


Figura 14. Recubrimientos suspendidos de ladrillo aislante de 4½" espesor.

### Puertas de Hornos.

Las puertas de los hornos, como regla, están sujetas a mayor abuso que cualquier otra parte del equipo. Por lo que siempre ha sido conveniente anclar eficientemente los refractarios de puertas grandes. Sin embargo el costo de la construcción del anclaje completo es excesivo por la cantidad de soportes y anclas necesarios. El resultado en la mayoría de los casos es una construcción riesgosa usando anclajes improvisados, los cuales dan considerables problemas aflojando los ladrillos en funcionamiento; o bien al utilizar un material tipo hormigón o concreto, la puerta es demasiado pesada en proporción al valor aislante obtenido.

### Paredes soportadas seccionalmente.

El diseño de muro m de la figura 15 es muy útil y nos muestra varios aspectos importantes. El diseño es apropiado para muros altos o bien puede ser usado sin los soportes intermedios en paredes de soporte bajas. Los injertos de ángulo metálico para los ganchos de varilla, les permiten moverse haciendo la pared completamente flotante.

Su construcción en campo es sencilla y no se requieren formas especiales de ladrillos. El sobrante de la barra se corta con una sierra circular de mano al tiempo que se van colocando ladrillos. Las piezas metálicas pueden ser fácilmente fabricadas en algún taller local. No se requieren planos para su elaboración.

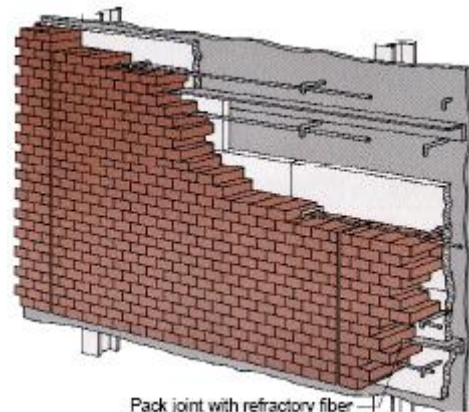


Figura 15. Construcción de pared soportada en secciones, diseño de anclaje de barra horizontal utilizando formas estándar.

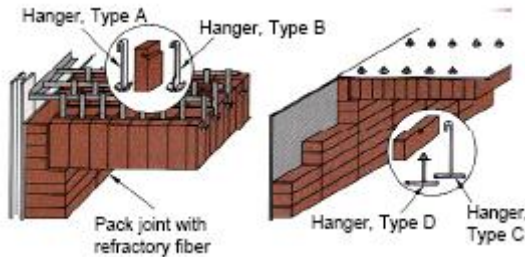


Figura 16. Construcción típica de domos arqueados y paredes suspendidas.

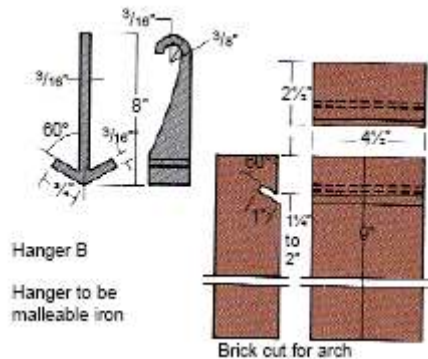


Figura 17. Detalles constructivos de anclas y ladrillo tipo B de 9" de espesor.

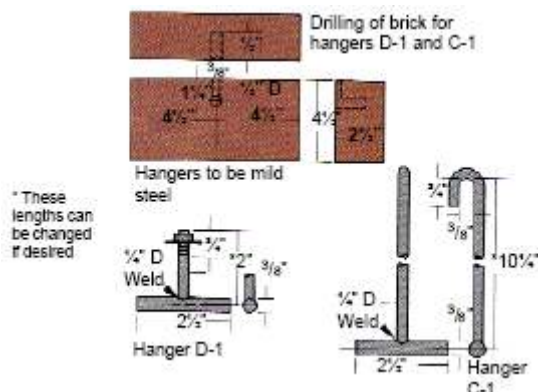


Figura 18. Detalles de construcción suspendida de 4 1/2" de espesor.

#### Soportes ó Anclas de Techo Recomendados.

Los soportes ó ganchos que han sido tan extensivamente utilizados para el ladrillo aislante IFB, son los tipos A, B, C y D, mostrados en la figura 16. Considerando su costo y desempeño, estos soportes son tan económicos y eficientes como cualquier otro, aunque haya muchos otros tipos de soportes. El ladrillo aislante IFB puede ser cortado para acoplarse a casi cualquier tipo de soporte, excepto donde las patentes no lo permiten. Donde aplican estas patentes, estos pueden ser modificados con un permiso del propietario esta. Se debe considerar que las construcciones suspendidas requieren planos, dibujos, listas de materiales individuales para cada trabajo. Por lo que, los usuarios de estos sistemas deben estandarizar sus necesidades para reducir costos.

#### Soportes ó Anclas Tipo A:

Aunque este soporte no es tan fuerte como los tipos B, C o

D, se puede fabricar en cualquier hoja de metal disponible de calibre 16 o superior.

#### Soportes ó Anclas Tipo B.

Estos soportes están hechos de hierro fundido moldeado y son excelentes para su uso con IFB. Además usa la misma ranuración que el tipo A, siendo un producto moldeado proporciona un ajuste mucho más preciso en la ranura del ladrillo y una sujeción más uniforme en los refractarios. De los cuatro tipos el B es normalmente el más económico, ya que se hace en un molde múltiple y en grandes cantidades. Desde un punto de vista de cantidad y desempeño, no hay mucho que elegir entre los tipos B, C y D. Es en gran medida una decisión de cual se obtiene más fácilmente y la preferencia del usuario.

#### Soportes ó Anclas tipo C y D.

Estos soportes están hechos de barras de acero soldadas unas con otras. Difieren únicamente en el hecho de que el tipo D tiene una caña roscada para roscarse en los orificios de una placa en la estructura, mientras el tipo C posee un gancho para asirse de miembros soportantes, generalmente tubos. Una de las principales ventajas de este tipo de soporte, es su flexibilidad de diseño. Esto a diferencia del tipo B, donde cualquier cambio representa una gran inversión en un molde nuevo y la flexibilidad del diseño se debe obtener utilizando ensambles intermedios o cambiando los soportes superiores.

Donde se requiere cualquier cantidad de soportes tipos C ó D, éstos son más económicamente si se fabrican con soldadura de electrodo revestido que con soldadura de arco u oxi-acetileno. Si solo se requieren unos pocos, o en una urgencia, se pueden hacer con cualquier método común de soldadura y pueden ser construidos con el equipo disponible en la mayoría de las plantas industriales. Los soportes tipo C se usan principalmente en domos arqueados. Los soportes tipo D se usan extensivamente en recamaras y envolturas aislantes.

La perforación de los ladrillos para los soportes tipo C y D es también una tarea sencilla que se puede hacer con cualquier taladro de banco. Por lo tanto, aunque los ladrillos se pueden solicitar ya perforados, de ser necesario también se pueden perforar fácilmente en el área de trabajo.

Estos soportes tienen una gran resistencia y la resistencia de ruptura de los ladrillos aislantes IFB es muy superior a lo necesario. Se estima que los ladrillos aislantes IFB tienen de 25 a 50 veces más resistencia que la requerida por la aplicación. El gran factor de seguridad disponible con este tipo de soporte es inmediatamente claro.

#### Ventajas de los Soportes ó Anclas Tipos A, B, C y D.

Una de las ventajas de los soportes tipos A, B, C y D, es que todos son comparativamente económicos y utilizan formas IFB estándar que no son costosas.

#### Transferencia de Calor.

Estos soportes tienen una importante porción de sí mismos extendiéndose a través del ladrillo y expuesta al aire, lo cual tiende a disipar el calor rápidamente haciéndolo fluir hacia la cabeza del soporte. Esto es muy importante. Las cabezas están enterradas en el ladrillo y por lo tanto son sujetas al calor, si este es excesivo, el soporte se oxidará, dilatará y eventualmente el refractario se romperá o se caerá. Los soportes de acero o hierro que liberan este calor pueden ser usados a temperaturas considerablemente altas en lugar de aquellos que no permiten el flujo de calor.

**Se Pueden Remover Dos Ladrillos Cualesquiera.**

En construcciones, como las ilustradas previamente, los soportes tipo C y los amarres ó ensambles del tipo B deben ser suficientemente largos para que los ladrillos del domo puedan ser levantados y reemplazarlos en pares individuales. Esto requiere un claro entre la parte inferior del acero de soporte y la parte superior de los ladrillos del arco por lo menos de 1/2" (12.5mm) más, del espesor del arco.

**Se Pueden Hacer Económicos a Partir de Aleaciones.**

Estos soportes utilizan un mínimo de metal y de ser necesario se pueden construir económicamente con aleaciones de acero. Sin embargo aún en condiciones donde esto es necesario, no es muy común encontrarlas en los ladrillos aislantes IFB. Si se utiliza el suficiente espesor de refractario aislante para proporcionar una pérdida de calor razonable, el acero simple ó hierro moldeable tendrán suficiente resistencia térmica. Las aleaciones serán probablemente requeridas si se desea aislamiento de respaldo.

**Flexibilidad de Uso.**

Cualquiera de los soportes hasta ahora mencionados son muy flexibles en cuanto a su uso se refiere. Prácticamente cualquiera de los tres tipos básicas puede ser utilizado en las construcciones mostradas y de innumerables maneras, para conseguir cualquier el resultado deseado en techos suspendidos, paredes, ó construcción de puertas.

**Comparación con Soportes ó Anclas de Barra.**

La principal ventaja de los soportes tipo A, B, C y D es la facilidad de hacer fluir el calor, mientras que en las construcciones como aquella en la figura 13, donde las varillas atraviesan los ladrillos y son roscadas. En estas condiciones, hay muy poco metal disponible para transferir el calor acumulado por la barra.

Los soportes tipo A, B, C y D también permiten remover dos ladrillos cualesquiera, en caso de reparación, sin perjudicar el resto de la estructura. Con las barras incrustadas en el refractario, se debe remover la fila o sección entera.

**Paredes Totalmente Flotantes Soportadas en Secciones.**

La Figura 21 muestra un soporte tipo D modificado para hacer completamente flotante el refractario. Este muro puede también ser soportado seccionalmente como se muestra en la Figura 15.

**Comparación con Soportes ó Anclas T Slot.**

Las anclas T-Slot se desarrollaron primordialmente para su uso en ladrillo refractario. La conveniencia de tales soportes no se recomienda con ladrillos aislantes debido a la debilidad de estos a la tensión antes mencionada. Además, la idea del diseño de estas anclas es que el orificio sea formado al moldear el refractario. Con los ladrillos IFB, el orificio debe ser maquinado. El maquinado de cortes en forma de T es mucho más costoso que el maquinado requerido para los soportes A, B, C y D.

Sin embargo, se pueden combinar ladrillos densos con cortes en T para anclar los muros completos de ladrillos IFB como se muestra en la Figura 22. Este tipo de sistema es útil cuando se espera que un ladrillo aislante IFB reciba desgaste físico. Claramente, se requiere un mortero muy resistente. Las anclas para ladrillos refractarios tipo T se colocan en la pared conforme se requieran.

**Soportes ó Anclas de Perno Transversales.**

Este sistema se muestra en la figura 23, es particularmente

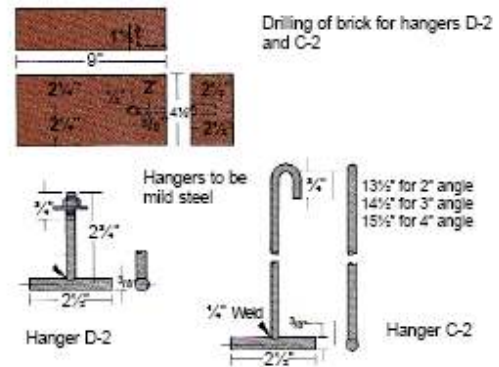


Figura 19. Detalles de construcción suspendida de 9" de espesor.

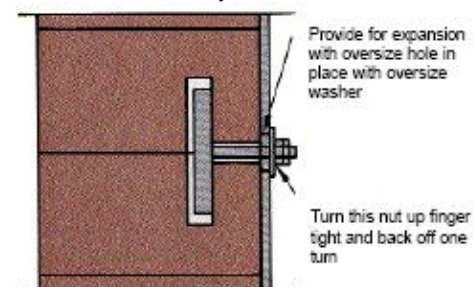


Figura 20. Detalles de ensamblado con soporte tipo D.

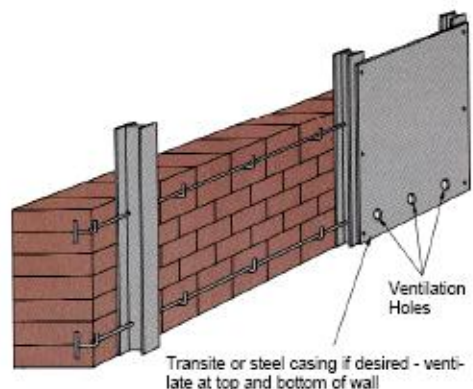


Figura 21. Pared suspendida, construcción completamente flotante.

Útil para reparar muros dañados o cuando se necesitan solo unas cuantas anclas. Sin embargo su uso se limita a 1204 °C (2200°F.)

**Soportes ó Anclas Cerámicas.**

Estas costosas anclas se utilizan únicamente donde se requiere una resistencia a temperaturas altas, como en refractarios densos con aislamiento de respaldo.

Sin embargo, en equipos de temperaturas extremas, hay una mayor necesidad de utilizar aislamiento de respaldo así como de ladrillos aislantes IFB en lugar de ladrillos densos y los soportes cerámicos funcionan con ambos. Estos son hechos por fabricantes de refractarios densos en una variedad de formas y materiales. El ladrillo aislante IFB, se puede maquinado para ajustarse a cualquier configuración que se considere apropiada.

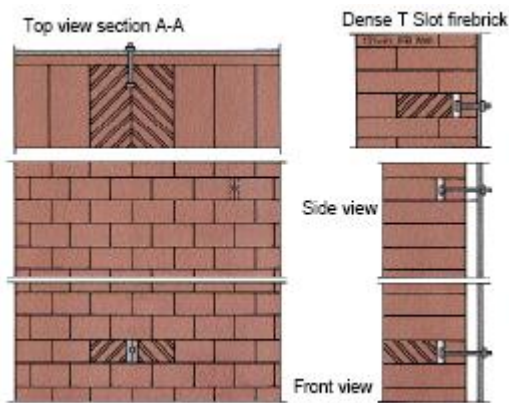


Figura 22. Uso de ladrillo denso con agujeros en T para anclajes IFB.

## Juntas de Expansión.

### General.

Cuando estos se calientan los ladrillos refractarios se presentan dos diferentes de cambios dimensionales. Uno, es permanente y el otro es la expansión térmica reversible. El cambio dimensional permanente, llamado cambio de "recalentado", sucede cuando el refractario es calentado a alta temperatura y después enfriado a temperatura ambiente. Este se debe a cambios cerámicos en el refractario y pueden dar como resultado el encogimiento o expansión del mismo. Esta propiedad se muestra generalmente en fichas técnicas del producto. Usualmente el cambio de recalentado es un encogimiento, pero en algunos los productos con alto contenido de Alúmina se pueden expandir. En hormigones refractarios de arcilla, este cambio dimensional permanente no se considera al diseñar juntas de expansión. Sin embargo, se debe ser cuidadoso en productos con cambios de recalentado sustanciales.

### Expansión Térmica Reversible.

Como la mayoría de los materiales estructurales, los refractarios se expanden al ser calentados y cuando se contraen en la misma proporción al ser enfriados; por lo que la expansión, se denomina reversible. En un revestimiento el propósito de las juntas de expansión es absorber estas continuas expansiones y contracciones. La magnitud de la expansión térmica reversible depende tanto de la naturaleza del material y como de la temperatura a la cual es llevado. Los ladrillos aislantes IFB son menos resistentes que los ladrillos densos y tienen una estructura celular, la cual les permite absorber parte de esa expansión. Por esta razón, cuando se utilizan ladrillos aislantes IFB, únicamente se toma en cuenta la mitad de la expansión de los ladrillos densos.

### Reglas Típicas de Expansión.

La regla típica para prever la expansión es permitir  $1/18"$  a  $3/22"$  (1.4mm a 3.46mm) de expansión vertical por pie de altura de pared de ladrillo aislante IFB o techo a 1093°C (2000°F.) La otra regla típica es permitir  $3/4"$  a  $7/8"$  (19.05mm a 22.2mm) de expansión por cada 10' de longitud (3.04m) de paredes de horno a 1093°C (2000°F.) Este espacio se reducirá o expandirá  $1/8"$  por cada 10' (3.18mm a 3.04m) de pared por cada reducción a adición de 500°F (260°C) de temperatura.

### Expansión Para Domos Arqueados y Abovedados.

La mayoría de los Domos Arqueados y Abovedados apenas se elevan por la expansión, así que no es necesario tomar previsiones en este sentido a menos que se desee mantener una elevación fija en el domo donde se requerirán barras de longitud ajustable. Sin embargo sí se debe considerar la expansión lineal de la misma manera descrita en las reglas típicas.

Es difícil mantener empacada una junta de expansión a lo largo del claro de un domo arqueado, excepto como se indica a continuación, y los ladrillos están propensos a fallas y las juntas son muy endebles. Por esta razón, para arcos menores a 20' (6.06m) de longitud se recomienda que las juntas de expansión solo se coloquen en el final del arco. En estas construcciones el domo puede formar un punto de expansión intermedio al fracturarse, pero esto es aceptable considerando los posibles problemas de una junta de expansión diseñada en el centro.

### Métodos Construcción de Juntas de Expansión.

El método más moderno y comprobado para diseñar y construir juntas de expansión es empacándolas con diversas fibras refractarias. Antes de discutir esto, se deben mencionar algunas consideraciones y lineamientos generales, útiles para experiencias en campo. Existen libros de bolsillo de refractarios con amplia información sobre este tema, por lo que serán cubiertas someramente, en este documento.

### Número de Juntas.

Es preferible emplear un mayor número de pequeñas juntas de expansión que un menor número mayor tamaño. Por ejemplo, tres juntas de  $1/4"$  (6.38mm) de ancho, en lugar de una de  $3/4"$  (19.05mm,) aunque la práctica común varía entre estos dos extremos. Si la junta es demasiado grande, pretendiendo compensar un gran claro, la pared puede experimentar demasiado movimiento y formar otra junta, fracturándose entre las grandes. A través de las juntas pequeñas hay menor pérdida de calor por radiación de la junta y restringen las expansiones y contracciones totales del muro en cualquier dirección. Este último factor es especialmente importante en muros con un gran número de aperturas, como hornos de rodillo, donde los rodillos se extienden a través de las paredes.

### Las Juntas Pequeñas Evitan el Astillado.

Cuando los ladrillos IFB son expuestos al calor por ambas caras, estos son más propensos a astillarse que los ladrillos densos. Esto se puede evitar no haciendo la junta de expansión demasiado ancha y manteniéndola completamente empacada por la cara caliente. Se debe poner especial cuidado y observar que las juntas están colocadas suficientemente cerca entre sí y en cada lado. Sin embargo, se debe mencionar que gracias a la fibra refractaria es posible hacer las juntas en esquinas lo cual es muy recomendable.

### Método de Construir Juntas de Expansión.

Es difícil construir una pared dejando espacios para juntas de expansión. Por lo que se ha hecho costumbre colocar algún material en el espacio de expansión, que se pueda remover cuando la pared este terminada, o bien que se calcine cuando el horno se caliente. Los materiales comúnmente utilizados son tabla aislante o cartón corrugado. También se puede utilizar madera cuando se emplean ladrillos densos, pero no se recomienda con ladrillos IFB, a menos que esta



Figura 23.

sea removida manualmente, ya que la temperatura puede no ser suficiente para quemar toda la madera y dejar residuos que podrían restringir la expansión.

La Figura 24, muestra algunas juntas de expansión en forma de laberinto que no dependen del empaque de fibra refractaria. Los libros de refractarios muestran muchos más. Las juntas desfasadas aseguran que la temperatura del horno no se radiará y concentrada en una área de la cubierta.

En los dibujos, se puede observar que para tener una expansión adecuada, los ladrillos deben estar superpuestos a modo de entrelazarlos, pero dejando pequeños espacios. Es difícil asegurar que el mortero penetrará los espacios entre los ladrillos que se van a despegar. Las especificaciones indican que se debe colocar papel encerado en los espacios para asegurar que el mortero no penetrará en estos y bloqueará las caras. De lo contrario el ladrillo simplemente se fracturará formando su propia junta de expansión.

#### Juntas de Expansión Empacadas de Fibra Refractaria.

La disponibilidad de fibra refractaria para empaquetar y rellenar juntas de expansión durante los últimos 20 años ha revolucionado muchas de las apreciaciones para localizar y construir juntas de expansión. Lo expuesto antes sugiere muchas razones para ello. Algunas de las ventajas son:

- En una junta no empaquetada el calor del horno ataca las esquinas de los ladrillos, facilitando el rompimiento de las esquinas.
- La junta rellena, previene radiación directa a la estructura del horno. Las juntas de laberinto o desfasadas ya no son necesarias. Una sencilla junta en un extremo puede solucionar el problema.

- Una junta abierta, debe ser limpiada periódicamente para asegurar que funciona, mientras que una empaquetada elimina este mantenimiento.

#### Tipos de Juntas de Expansión de Fibra Refractaria.

Existen dos métodos básicos de empaquetar eficientemente una junta de expansión con fibra refractaria. La primera es dejar una junta abierta y al final empaquetarla. La desventaja de este método es que el albañil debe colocar cuidadosamente el ladrillo para lograr una junta abierta bien distribuida. La ventaja es que se puede empaquetar con la fibra refractaria más económica que es la fibra a granel. La mayoría de las plantas industriales tienen fibra a granel en su inventario, disponible para este propósito. La fibra simplemente se introduce y compacta en la junta hasta alcanzar la mayor densidad posible para asegurar que esta bien llena. También se puede utilizar colchoneta de fibra refractaria doblándola e introduciéndola en la junta.

El otro método de construcción es empleando tablas de fibra refractaria o colchonetas, colocándolas en posición, y construyendo el muro sobre estas. De este modo se acelera la construcción y la fibra refractaria ya se encuentra en su lugar, evitando subsecuentes operaciones de relleno.

Se ha desarrollado un producto para esta aplicación. Es un fieltro con suficiente ligante orgánico para hacerlo rígido y manejable. Al ser expuesto a altas temperaturas, el ligante orgánico se calcina permitiendo la expansión de la fibra refractaria sellando la junta.

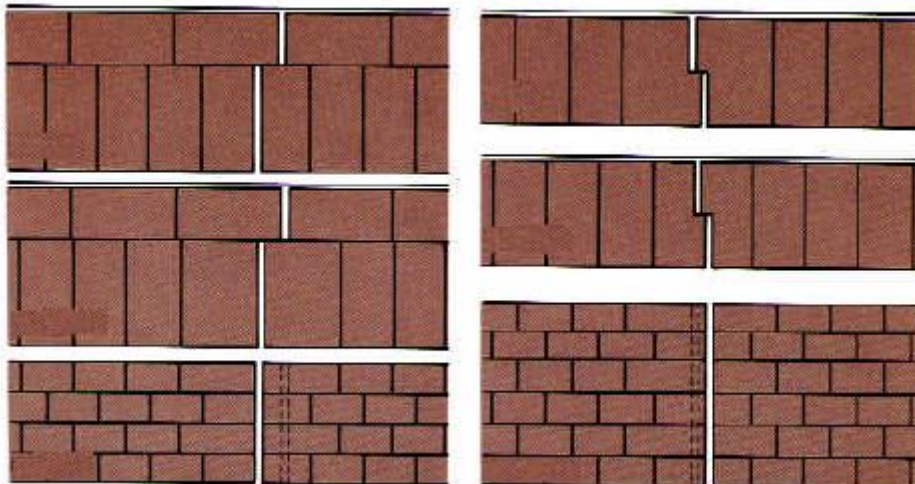


Figura 24.



La fibra refractaria ha hecho posible las juntas terminales horizontales para muros soportados seccionalmente así como coronas y domos arqueados soportados independientemente. El empaque aísla el soporte.

Las juntas de expansión empacadas con fibra refractaria son también utilizadas en hornos de alta temperatura donde se excede el límite de temperatura de la fibra. Si la fibra refractaria es expuesta a una temperatura excesiva, se encogerá y perderá su fuerza. Este no es un problema en esta aplicación ya que siempre existe una caída de temperatura a través de la pared y en algún punto en la junta, la fibra refractaria permanecerá flexible y fuerte, cumpliendo su función de selladora.

#### **Arcos suspendidos.**

La junta de expansión de fibra refractaria en tabla ó colchoneta hace posible construir una junta acústica en techos. Durante la construcción de la junta, clavos de aleación son atravesados por la tabla ó fibra y penetran en los ladrillos, sujetándolas firmemente y evitando que se desprendan.

#### **Problemas Ocasionados por la Expansión.**

La expansión térmica se da en todas direcciones. Al calentar una pared refractaria, ésta se expande a lo ancho, alto y longitudinalmente. La expansión a lo ancho no es realmente problema. La expansión vertical en ocasiones se manifiesta como una grieta horizontal en la cara fría. El revestimiento interior se expande más que el ladrillo más frío del exterior y ya que la pared en su totalidad esta unida, la pared interior levanta los ladrillos exteriores ocasionando grietas en la parte exterior.

Si no hay el espacio adecuado entre los miembros estructurales y los refractarios, los refractarios pueden empujar contra ellos y ser obligados a soportar parte de la carga que debe ser soportada por el acero.

La expansión en la cara caliente del muro, tanto horizontal como vertical tiende a abombar el revestimiento hacia el horno. Esto puede ocasionar que las hiladas superiores de ladrillos, que mantienen a los elementos internos y externos unidos se aflojen y desprendan ocasionando que el muro interno eventualmente se caiga por completo.

Sin juntas de expansión adecuadas, se pueden generar fracturas que no solo debilitan la estructura, sino también reducen la eficiencia del horno permitiendo fugas de calor o el ingreso de corrientes de aire frío, al horno, a través de estas aperturas. La falta de suficientes juntas de expansión puede ocasionar rompimientos, esfuerzos o desprendimientos en la cara caliente del ladrillo, pandeo de columnas de soporte y en algunos casos fractura de la cimentación.

#### **Corte Ladrillos Aislantes.**

No es impráctico pretender determinar todos los

tamaños de ladrillos requeridos para una construcción. Consecuentemente, es normal tener que cortar algunos en el área de trabajo, sin embargo, si se han ordenado de manera precisa no será necesario cortar demasiados ladrillos. Por otro lado, en una urgencia es posible requerir cortar todos los ladrillos de arco o cuña, para un techo, a partir de ladrillos rectos guardados en almacén. Los IFB son fácilmente cortados sin herramientas especiales. Esto es, en contraste con los ladrillos densos, los cuales se tienen que cortar a alguna forma con discos abrasivos. Sin embargo, el equipo de corte de ladrillos densos, cortará sin problemas los IFB.

Para un corte a mano, una segueta para podar es ideal, ya que el diseño de los dientes evitará cualquier intento de atascarse. Esta segueta también puede cortar aislamiento de respaldo. Un serrucho de carpintero también se puede utilizar para este trabajo. Una ordinaria sierra circular ó sierra copa se puede ajustar fácilmente para IFB ordenando una cuchilla abrasiva.

Cuando se requiere reducir levemente el tamaño de un ladrillo, los ladrillos pueden ser tallados unos con otros, o contra una lija gruesa o superficie abrasiva.

#### **Resumen,**

Este manual está diseñado para servir como guía en el uso y diseño de estructuras IFB y revestimientos. Sería imposible cubrir todos los aspectos que se pueden presentar en aplicaciones nuevas y existentes. Por lo que a continuación se enlistan por región el personal capacitado para asistirle en el uso, diseño o aplicación de ladrillos aislantes IFB.

