

REFUGIOS ANTIAEREOS

Por JOAQUIN RODRIGUEZ MONTEVERDE

Ingeniero de Construcción y Electricidad.

Este interesante trabajo fué publicado en la Revista ASINTO, y su reproducción la consideramos muy adecuada para que muchos de nuestros lectores que se interesan en construcciones de esta naturaleza, queden informados del estado actual del asunto. Agradecemos la amable autorización para insertar en nuestras columnas el mencionado artículo.

El gran desarrollo de los medios de destrucción a partir de la segunda Guerra Mundial, unido a la inestabilidad de la situación internacional, con la amenaza constante de una nueva guerra, ha impulsado en todos los países el armamento y la preparación de los futuros combatientes, y ha creado una enorme preocupación por la protección de la población civil contra un posible ataque aéreo, especialmente contra un ataque con bombas termonucleares.

Esta preocupación se ha reflejado en el desarrollo de estudios específicos de la Defensa Pasiva, cristalizando en la promulgación de leyes y disposiciones complementarias, especialmente sobre la evacuación de la población civil a zonas menos amenazadas y sobre la construcción de refugios antiaéreos adecuados a las nuevas exigencias. Siguiendo estas normas, se está desarrollando en diversos países la instrucción a la población civil sobre su comportamiento en caso de ataque aéreo atómico.

El sentir general de los legisladores en casi todos los países es considerar fundamental la construcción de refugios antiaéreos, y así, en las leyes sobre defensa civil se señala expresamente como absolutamente obligatoria la construcción de refugios antiaéreos por los propietarios de edificios destinados a vivienda y por las empresas industriales y comerciales, tanto públicas como privadas. Concretamente, en la Ley de Defensa civil de la República Federal Alemana, de 9 de octubre de 1957, se establece (capítulo V, art. 22) la obligatoriedad de construcción de refugios en todos los edificios de viviendas que se construyan en las poblaciones de más de 10.000 habitantes. En otras legislaciones (por ejemplo, la noruega, publicada en julio de 1953), la obligatoriedad corresponde a las Empresas públicas y privadas, y no sólo para sus obreros y empleados, sino con capacidad también para los habitantes de los edificios próximos.

En España se ha promulgado recientemente una nueva Ley de Defensa civil, que modifica la Ley de Defensa Pasiva de 1941, hasta ahora vigente, y, como consecuencia de ella, se han constituido recientemente las Juntas Provinciales y Locales de Defensa civil; sin embargo, no sabemos que hasta ahora se hayan dictado nuevas normas sobre la construcción de refugios antiaéreos, por lo que seguirían vigentes los

Decretos de 20 de julio y 13 de noviembre de 1943, en el primero de los cuales se disponía la obligatoriedad de construcción de refugios antiaéreos en todas las poblaciones de más de 20.000 habitantes; esta obligatoriedad fué declarada en suspenso transitoriamente, dada la carestía de la vivienda, por lo que en el segundo de los Decretos citados se disponía que la obligatoriedad quedaba en vigor solamente para los edificios del Estado y los edificios particulares no destinados a viviendas. Ya veremos, al final de este artículo, el ligero aumento de coste que puede significar para el edificio la construcción de un refugio antiaéreo interior.

Creo de gran interés el airear el tema de los refugios antiaéreos, especialmente entre los Ingenieros Militares, a quienes, a mi juicio, atañe muy particularmente. En este artículo recojo, en líneas generales, el artículo que publiqué en la revista "Ejército" en mayo de 1960, si bien he dedicado alguna mayor atención a los detalles técnicos que allí se omitían por su menor interés para la esfera más amplia a que iba destinado.

I.- Necesidad y efectividad de la protección antiaérea.

Muchas de las experiencias realizadas por los Estados Unidos con las bombas nucleares y termonucleares, tanto en los desiertos de Nuevo México, como en las islas del Pacífico, se han encaminado, más que a comprobar la potencia de las bombas, a estudiar los efectos de las explosiones en los organismos vivos, edificios, subsistencias, etc.

Ciñéndonos a los efectos de los explosivos nucleares y termonucleares, diremos que los efectos principales son los siguientes:

- Onda de presión.
- Onda de succión.
- Onda de calor.
- Radiactividad inicial.
- Radiactividad remanente o lluvia radiactiva.

Como resumen de una serie de experiencias, se han determinado los posibles porcentajes de bajas en

diversas circunstancias y a distintas distancias del punto cero. En el cuadro de la figura 1.^a hemos recogido, en la forma más expresiva posible, los resultados que se obtendrían en la zona crítica y en la zona inmediata a ésta (prescindiendo de las restantes zonas, pues creo que con estas dos es suficiente para comparar resultados). El diagrama se divide en tres partes, dando respectivamente los porcentajes de muertos, heridos e ilesos en la zona A (zona crítica) y en la zona B (inmediata). Para cada caso se expresan los porcentajes de bajas e ilesos en las tres circunstancias siguientes:

- Ataque atómico inesperado (sin alarma) cuando no existen refugios.
- Ataque atómico con alarma previa, cuando no existen refugios.
- Ataque atómico con alarma previa, cuando existen refugios.

Este gráfico habla por sí mismo.

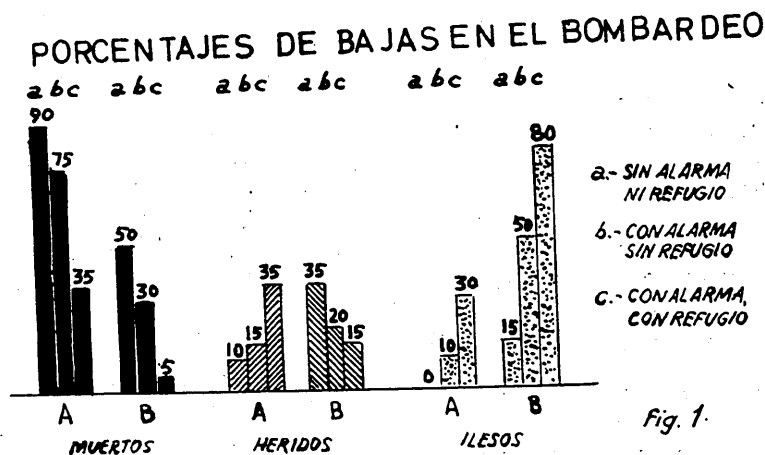


Fig. 1.

Consecuencia: de esto se deduce que para la efectividad de la defensa pasiva se precisan las condiciones siguientes:

- Red de detección extensa y de gran alcance.
- Enlace perfecto entre la red de detección y la red de alarma.
- Instrucción completa de la población civil.
- Existencia de un número suficiente de refugios antiaéreos bien protegidos.

II. - Contra qué efectos deben proteger los refugios antiaéreos.

Podemos decir, abreviadamente, que deben proteger contra las armas A, B y Q, es decir, contra las armas atómicas, biológicas y químicas. Pero conviene detallar algo más:

1.º *Armas clásicas:* Es decir, las bombas explosi-

vas clásicas. Según el tipo de refugio, podrá proteger contra el impacto directo, contra una explosión próxima o sólo contra los efectos de explosiones relativamente alejadas.

2.º *Bombas nucleares en explosión aérea:* La protección debe ser suficiente contra los cinco efectos que antes hemos indicado.

3.º *Agresivos químicos y biológicos:* Aunque su empleo está prohibido por los convenios internacionales, no hay que descartar esta posibilidad.

4.º Caída de escombros y acumulación de éstos. En líneas generales, las condiciones que deberán reunir los refugios antiaéreos serán las siguientes:

a) La protección contra las ondas de presión y succión, conmoción del terreno y sobrecarga dinámica, exigen que la resistencia a compresión y la rigidez del refugio sean adecuadas. Dada la larga duración de la fase de presión, los refugios sometidos a la acción

directa de las explosiones atómicas deben estar contruidos como cámaras herméticas capaces de resistir grandes presiones de aire. En el capítulo correspondiente al cálculo de resistencia detallaremos cuáles son las máximas sollicitaciones a considerar según el tipo de refugio.

b) La onda de calor y el peligro de incendios exigen el empleo de materiales incombustibles, espesor suficiente de los muros envolventes y una disposición y seguridad especiales en los accesos y salidas de emergencia.

La explosión de una bomba nuclear o termonuclear libera gigantescas cantidades de energía, pero, en general, para los refugios antiaéreos no tiene demasiada importancia la onda calorífica inicial. Si el refugio es del tipo enterrado, el recubrimiento de tierra amortigua tanto la energía calorífica recibida, que ésta, ni debilita los materiales, ni llega a alcanzar el interior del refugio. En las partes envolventes de hormigón armado que no estén protegidas, puede considerarse suficiente el recubrimiento normal de las armaduras.

Otro cosa ocurre si se producen incendios en el exterior. En este caso el aire exterior puede alcanzar temperaturas muy elevadas y hacerse irrespirable, por lo que puede llegar a ser necesario el cierre transitorio de los dispositivos de ventilación.

c) Bombas explosivas en impacto directo: Exigen una rigidez total del refugio y la suficiente resistencia local en todos los elementos envolventes del refugio. Más adelante detallaremos algunas normas constructivas.

d) Agresivos químicos y biológicos: En general será suficiente con que los refugios cuenten con un sis-

absorbe la mitad de los rayos gamma incidentes. Es decir, el espesor del valor mitad reduce la dosis de radiactividad a un medio de su valor; un espesor doble de éste reduce la intensidad a $1/4$ de su valor, y, en general, n veces el espesor del valor mitad reducirá la intensidad radiactiva a $1/2^n$ veces el valor inicial.

Los materiales de que en principio disponemos para protegernos son la tierra y el hormigón armado. El "espesor del valor mitad" para el hormigón (densidad, 2,5) es de 14 cm.; el de la tierra (densidad, 1,7) es de 18 centímetros. Para que la protección con-

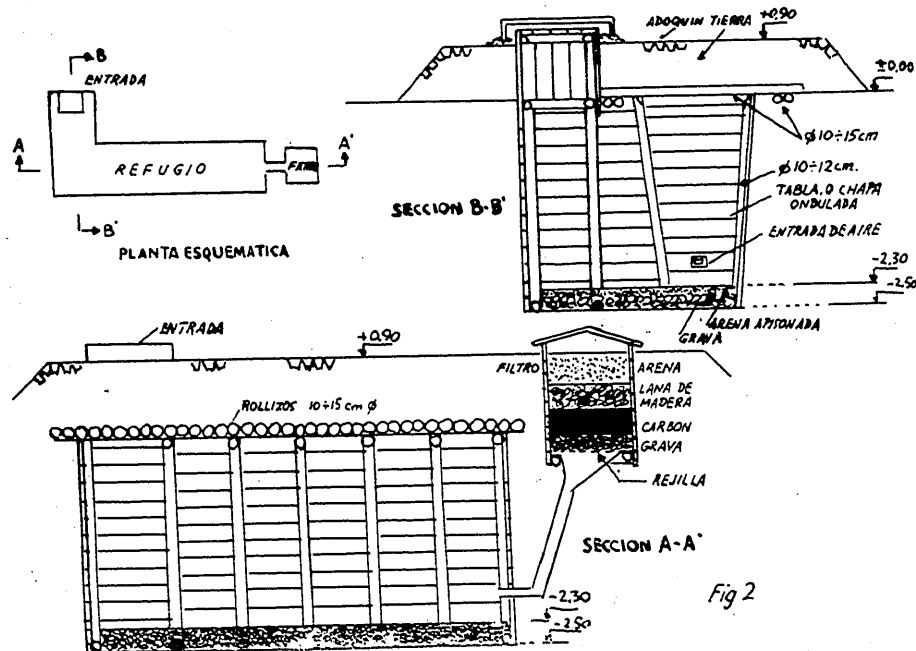


Fig 2

tema de ventilación forzada, de tal modo que el aire exterior penetre a través de unos filtros adecuados.

e) Radiactividad: Ya hemos dicho que son dos los efectos radiactivos que se producen, la radiactividad inicial y la radiactividad remanente. Es preciso que los refugios estén contruidos de tal forma que la dosis inicial de radiactividad en el interior del refugio quede dentro de unos límites admisibles; de igual modo debe quedar limitada la dosis de radiactividad debida a la lluvia radiactiva.

Sabemos que los efectos radiactivos se deben a los rayos gamma. Estas radiaciones se absorben o atenúan al atravesar los diversos materiales. Como regla general podemos decir que la atenuación de la intensidad de la radiación depende de la masa de materiales dispuesta entre el manantial radiactivo y el punto de observación. El efecto de un material dado en relación con la limitación de la intensidad de radiación viene representada por una magnitud a la que se suele denominar "espesor del valor mitad". Esta magnitud es el espesor del material de que se trate que

tra la radiación inicial sea suficiente, el espesor de hormigón debe ser de 1,50 metros.

La radiación gamma se transmite por la atmósfera exactamente igual que la onda de calor, por lo que un punto determinado resulta alcanzado por rayos gamma procedentes de todas direcciones, si bien la mayor parte de la radiación recibida por un punto provendrá de la dirección del punto de explosión; sin embargo no hay que olvidar, a efectos de protección, que una buena parte de la radiación proviene de otras direcciones. La protección más elemental de los puntos más vulnerables, que son los accesos, consiste en que éstos tengan frecuentes y bruscos cambios de dirección que cortan el paso a la transmisión de la radiación.

III. - Clasificación de los refugios antiaéreos.

Con respecto a su situación los refugios pueden clasificarse en:

- interiores (situados en el interior de un edificio),
- exteriores;

a su vez, ambos tipos de refugios pueden ser:

- enterrados,
- semienterrados,
- de superficie,

según su situación respecto a la superficie del terreno natural.

Según las condiciones de resistencia de los refugios, podemos clasificarlos en cuatro tipos, en el bien entendido que tanto la clasificación como la designación abreviada, aunque lógicas, obedecen simplemente a un criterio personal, y con el objeto de facilitar las alusiones que se hagan posteriormente. Los cuatro tipos de refugios son los siguientes:

- Refugios ligeros de circunstancias (RLC).
- Refugios ligeros semipermanentes (RLS).
- Refugios ligeros permanentes (RLP).
- Refugios reforzados permanentes (RRP).

IV. - Refugios antiaéreos ligeros de circunstancias.

La protección que pueden ofrecer es muy limitada, pero suficiente contra los efectos de las radiaciones en las explosiones atómicas aéreas, siempre que la capa protectora de tierra sea de espesor suficiente; en

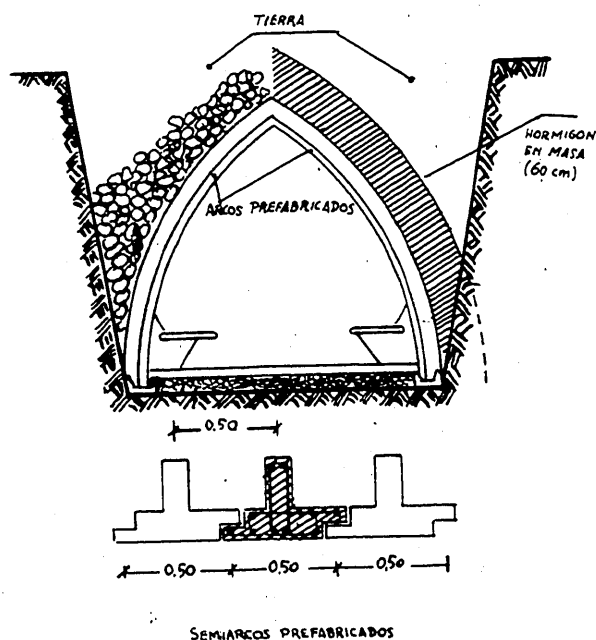


Fig. 4.^a — Refugios ligeros semipermanentes (R.L.S.) prefabricados.

general, y teniendo en cuenta que solamente están destinados a servir de protección en zonas alejadas de la zona crítica, será suficiente un espesor de un metro de tierra aproximadamente. Sus principales características son:

- Rapidez y facilidad de construcción.
- Empleo de materiales de circunstancias o de fácil adquisición.

Aunque su construcción no ofrece grandes problemas, describiremos someramente un tipo muy sencillo, análogo a los tipos ensayados en Fort Belvoir por los "Engineers Research and Development Laboratories". Consiste en una simple zanja con revestimiento de tabla o de chapa ondulada y cubierta con rollos, cubiertos a su vez por una capa de tierra de 0.90

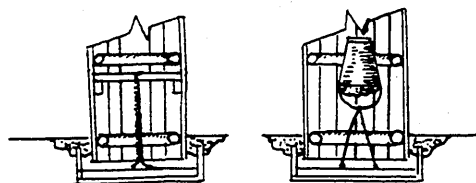
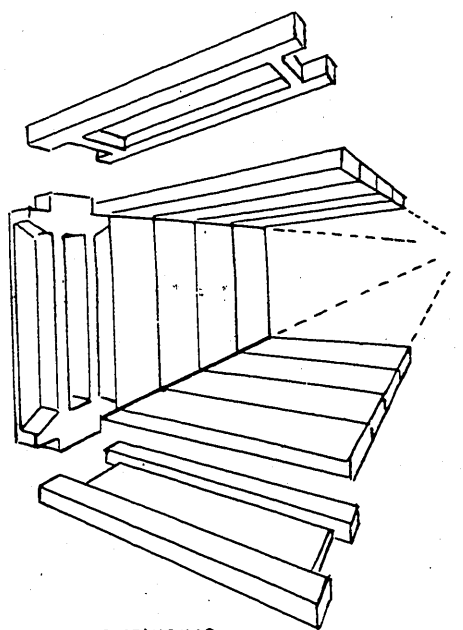


Figura 3.^a

a 1 m. de espesor; esta capa protectora puede, a su vez, ir protegida por una capa de adoquines, cascotes o ladrillos, con objeto de provocar la explosión de pequeñas bombas incendiarias, evitando su penetración en la capa de tierra. Este refugio ofrece protección suficiente contra las radiaciones gamma procedentes de una bomba atómica de 20 KT. que haga explosión a una distancia de 800 a 1 000 m. del refugio.



GALERIA RECTANGULAR

En la figura 2.^a damos diversos detalles, entre ellos la construcción del filtro de aire. La ventilación forzada se consigue mediante un fuelle o ventilador de accionamiento manual. La entrada al refugio es vertical con objeto de economizar espacio. La estanquidad de la trampilla de entrada se consigue en forma muy ingeniosa, tal como se indica en la figura 3.^a (según el Dr. Dräger en "Luftschutz-Aussenbauten").

V. - Refugios antiaéreos ligeros semipermanentes.

Estos refugios, análogos en cierto modo a los RLC, se caracterizan por el empleo de piezas prefabricadas, bien sean metálicas o de hormigón, lo que les da una características resistentes superiores a aquéllos, y permiten también desmontarlos y transportarlos con relativa facilidad. Por otra parte, es fácil también transformarlos en refugios ligeros permanentes (RLP) sin más que reforzar la envuelta de hormigón, sirviendo en este caso las piezas prefabricadas a modo de encofrado perdido. Admiten infinidad de formas, pero los más adecuados son los refugios tubulares o en bóveda. En la figura 4.^a se representan, a título de ejemplo, dos tipos: uno, en bóveda, y otro, de sección rectangular.

La instalación de ventilación natural y ventilación forzada deben asemejarse a las de los RLP.

VI. - Refugios antiaéreos ligeros permanentes.

Pueden definirse como sistemas constructivos completamente cerrados, generalmente de hormigón armado y de capacidad reducida, que permiten una breve estancia (limitada a unas horas). Las principales características son las siguientes:

- No son capaces de resistir el impacto directo de las bombas explosivas.
- Podrán resistir los efectos de las bombas explosivas clásicas, siempre que el cuerpo del refugio quede fuera del embudo producido por la explosión.
- Resistirán perfectamente la caída y acumulación de escombros.
- Protegerán contra los efectos de la explosión nuclear y termonuclear, es decir: ondas de presión y succión, radiaciones térmicas y radiactivas.
- Protegerán contra los agresivos químicos y bacteriológicos.

I. CARACTERÍSTICAS GENERALES.

En las Normas sobre construcción de refugios antiaéreos, dictadas por el Ministerio de la Vivienda de la República Federal Alemana, en julio de 1955 (1), se clasificaban estos refugios en tres tipos, según sus condiciones de resistencia:

Tipo A: Capaz de resistir una sobrecarga instantánea de 9 atmósferas (90 Tn./m.²). Se calcula el refugio para una sobrecarga estática permanente de 30 Tn./m.² y una succión de 10 Tn./m.². El espesor de sus muros debe ser de 60 cm.

Tipo B: Sobrepresión instantánea de 3 atmósferas

(30 Tn./m.²). La carga permanente de cálculo es de 10 Tn./m.² y la succión de 5 Tn./m.². Espesor, de 0,40 a 0,60 m., según que el refugio vaya en el interior o en el exterior del edificio.

Tipo C: Sobrepresión instantánea de 1 atmósfera (10 Tn./m.²). La carga permanente de cálculo es de 3 Tn./m.² y la succión es de 1,5 Tn./m.². El espesor de muros de 0,30 a 0,50 m.

Para el cálculo estático, ha de tenerse en cuenta que nunca se producen simultáneamente los efectos de presión y succión. El suelo es del mismo espesor que el techo y las paredes.

Según la FCDA ("Federal Civil Defence Administration"), de acuerdo con las experiencias realizadas, es recomendable que los refugios sean capaces de resistir, como *mínimo*, una presión de 30 psi. (unas 21 Tn./m.²), pero indica al mismo tiempo que tampoco resulta económico el construirlos de resistencia superior, pues el aumento de coste por persona se eleva en forma totalmente desproporcionada a su eficacia.

2. DIMENSIONES Y DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS.

Capacidad máxima: 50 personas.

Superficie necesaria: Entre 0,50 y 1 m.² por persona, pudiendo, en casos extremos, reducirse a 0,33 metros cuadrados por persona.

Volumen necesario: 1,20 a 1,50 m.³ por persona: el volumen mínimo admisible sería de 0,76 m.³ por persona.

Altura de techo: 2,30 m.; mínima admisible, 2 m.

Su disposición en planta puede ser cualquiera, dependiendo del espacio disponible, pero se aconseja la planta rectangular o circular. En el primer caso, la relación entre los lados no debe ser superior a 1 : 2.

La cubierta puede ser plana o en bóveda de cualquier tipo.

Se construirán normalmente de hormigón armado, teniendo en cuenta las condiciones siguientes:

a) *Hormigón.* — Deberá elaborarse cuidadosamente, seleccionándose y dosificándose adecuadamente los áridos; el hormigón deberá vibrarse perfectamente y con preferencia se emplearán los vibradores de aguja, preferibles a los superficiales o de encofrado. Es de desear que el hormigón obtenido alcance una resistencia cúbica de 300 Kg./cm.².

b) *Armaduras.* — Se puede emplear el acero normal de construcción, cuyo elástico sea de 2 400 kilogramos/cm.². La armadura se dispondrá en dos emparrillados, uno interior y otro exterior, con una separación máxima de 15 centímetros entre barras. Las armaduras de cada una de las partes constructivas (techo, solera y paredes) deberán solaparse a la forma usual. Los dos emparrillados que constituyen la armadura de los muros deberán enlazarse entre sí por unas armaduras transversales, que pueden ser de 8 mm. de diámetro, en número de cuatro como mínimo por metro cuadrado.

(1) Recientemente (abril de 1961) se han dictado nuevas Normas, que no han llegado aún a mi poder.

c) *Dimensiones.* — Los refugios serán, en general, rectangulares, como ya se ha dicho antes, de dimensiones 3×6 m. (capacidad: 50 personas). Si las dimensiones fuesen mayores habría que compartimentar por medio de muros de hormigón armado, pues no es aconsejable que las luces máximas sobrepasen estas dimensiones.

En la figura 5.^a se representa una planta tipo de refugio para 50 personas.

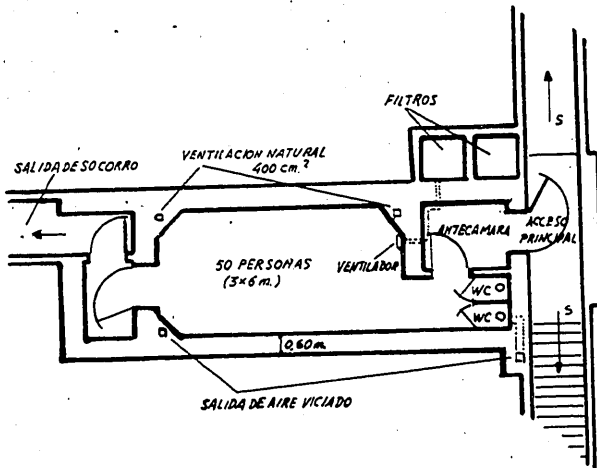


Fig. 5.^a — Planta tipo de un R.L.P.

3. ACCESOS.

Todos los refugios deben disponer de un mínimo de dos accesos: una, entrada normal, y otra, de emergencia. Estos accesos no deben quedar próximos entre sí para evitar su destrucción u obstrucción simultánea.

Tanto el acceso principal como el de emergencia serán, normalmente, horizontales; pero, en el caso de que con esta disposición no fuese fácil alcanzar la zona prevista libre de escombros, será necesario disponer el acceso de socorro en vertical.

La zona que puede quedar cubierta de escombros, que suele denominarse "sombra de escombros", tiene una anchura aproximadamente igual a $0,5 H$, siendo H la altura de cornisa del edificio. En los accesos verticales la boca de entrada debe quedar por encima de $0,25 H$, por ser ésta la máxima altura previsible de escombros (fig. 6.^a).

En todos los refugios hay que prever una doble puerta, dejando entre ambas puertas una antecámara de unos tres metros cuadrados de planta, que sirve de esclusa de aislamiento en el caso de ataque con agresivos químicos. Ambas puertas deben ser de cierre hermético, tipo autoclave, y la exterior debe ser capaz de resistir la misma presión para la que esté calcu-

lado el refugio. Ambas puertas deben abrir hacia afuera.

4. VENTILACIÓN.

Los refugios deben disponer de un doble sistema de ventilación:

- Ventilación natural.
- Ventilación forzada.

a) *Ventilación natural.* — Se requiere que el aire se renueve por lo menos una vez y media por hora; para ello, los tubos de ventilación deben tener una sección mínima de 400 cm.^2 (22,5 cm. de diámetro) por cada 25 personas. Los tubos de entrada y salida de aire deben ir situados en muros opuestos, efectuándose la entrada de aire fresco por la parte inferior y la salida de aire viciado por la parte superior de la cámara; los tubos de salida serán verdaderas chimeneas para establecer el tiro; uno de los tubos de salida, por lo menos, debe ir situado en la zona destinada a los servicios higiénicos para evitar malos olores. Tanto los tubos de entrada como los de salida irán provistos de dispositivo de cierre hermético para cuando deba ponerse en funcionamiento la ventilación forzada (figs. 5.^a y 7.^a).

b) *Ventilación forzada.* — Para prevenir un ataque por gases, el aire se renovará a través de un filtro de arena. Este filtro consiste en una caja cúbica de hormigón, abierta por arriba y protegida por un tejadillo ligero. La capacidad del filtro es de 1 m.^3 de arena por cada 25 personas. En la parte inferior

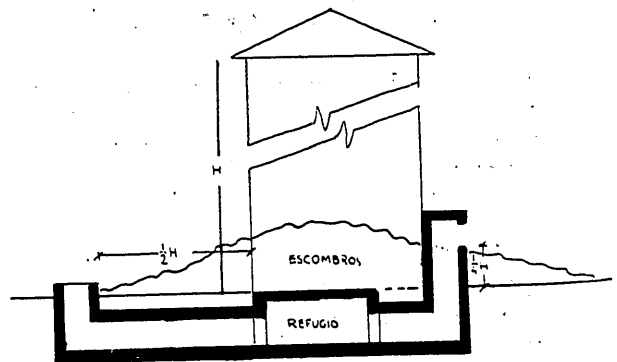


Fig. 6.^a — Disposición esquemática de las salidas de socorro.

del filtro debe situarse un pequeño tubo de drenaje. El ventilador o impulsor de aire será eléctrico, pero debe existir también un dispositivo de accionamiento manual. En la figura 5.^a se ha indicado una posible situación de los filtros y la entrada de aire, no así la salida, que puede ser la misma que en la ventilación natural, a condición de que los tubos vayan provistos

de una válvula de retención que impida la inversión de la circulación de aire; esta válvula permite la salida del aire viciado merced a la ligera sobrepresión que en el interior del refugio crea el ventilador.

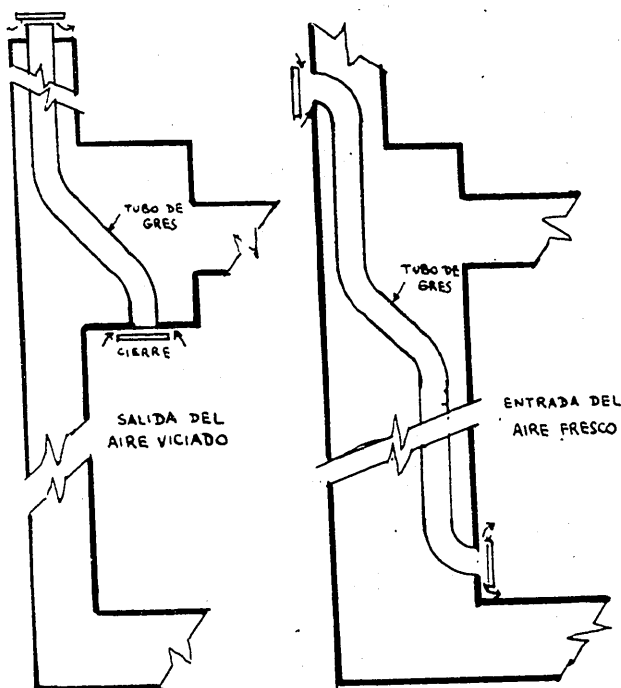


Fig. 7.- VENTILACION NATURAL

5. INSTALACIONES Y SERVICIOS.

a) *Abastecimiento de agua.* — Además de la acometida a la red general de la población, debe existir un depósito con capacidad para cinco litros de agua por persona, como mínimo.

b) *Instalación eléctrica.* — Debe provenir de la red general, pero es preciso disponer de una batería de acumuladores para el alumbrado de emergencia. Debe existir, también, un cierto número de linternas, cuyas pilas deben revisarse periódicamente para mantenerlas siempre en servicio.

c) *Servicios sanitarios.* — Dada la pequeña capacidad de estos refugios no es necesario que dispongan de instalación especial. Puede disponerse de un pequeño botiquín para curas elementales. Sin embargo, dada la conveniencia de que estos refugios, en lugar de ser totalmente independientes, estén enlazados entre sí por galerías, puede preverse un puesto central de socorro, que serviría a todos los refugios de una manzana para las curas de urgencia y descontaminación de gaseados o afectados por radiaciones, los cuales, por ningún concepto, deben penetrar en los refugios sin haberse sometido previamente a la descontaminación.

d) *Servicios higiénicos.* — Cada refugio dispondrá de un retrete, por lo menos, por cada 25 personas. Estos servicios deben evacuar a la red general de alcantarillados; los desagües deben estar provistos de válvulas de retención para evitar el reflujo de las aguas fecales. Solamente debe recurrirse al empleo de letrinas secas cuando sea totalmente imposible efectuar la acometida al alcantarillado; en este caso deben seguirse escrupulosamente todas las prescripciones de desinfección.

e) *Asientos y literas.* — Deben estar firmemente unidos al suelo, y su distancia a los muros será de 10 centímetros, por lo menos. Normalmente, serán rebatibles para que no entorpezcan la entrada y salida del personal.

f) *Viveres.* — Puede disponerse de un pequeño depósito, con capacidad para un máximo de cuarenta y ocho horas.

g) *Útiles y herramientas.* — Debe existir una pequeña cantidad de picos, palas y otras herramientas, para el caso de que sea preciso proceder al descombro de la salida. Deben existir unos extintores de incendios, de sustancia no tóxica.

6. PROTECCIÓN CONTRA LAS RADIACIONES.

Aparte de la envuelta resistente de hormigón armado, que ya de por sí constituye una eficiente protección contra las radiaciones, puede lograrse una protección más eficaz mediante una envuelta de hormigón en masa o tierra. Según las normas alemanas antes mencionadas, los espesores requeridos son los siguientes:

- Refugio tipo A: 1.20 m. de tierra ó 0.60 metros de hormigón en masa.
- Refugio tipo B: 1.10 m. de tierra ó 0.40 metros de hormigón en masa.
- Refugio tipo C: 0.90 m. de tierra ó 0.30 m. de hormigón en masa.

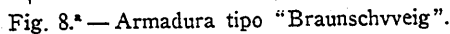
El hormigón en masa debe estar dosificado para que su resistencia cúbica sea del orden de 160 Kg. por centímetro cuadrado.

VII. Refugios reforzados permanentes.

Se trata de refugios de hormigón armado de capacidad superior a los RLP y calculados para resistir solicitaciones más violentas. Permiten también una estancia más prolongada. Están calculados para resistir los efectos siguientes:

- Impacto directo de bombas explosivas hasta 1.000 Kg.
- Explosión próxima de bombas de peso superior a 1.000 Kg.

- El espacio total se deberá subdividir en zonas con capacidad para unas 50 personas.



2. DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS.

El espesor de la losa de cubierta y muros perimetrales debe ser, como mínimo, de 3 m., con la disposición de armaduras que luego indicaremos (fig. 8.^a). En cuanto al espesor de la losa del suelo, que en los RLP era idéntica a la de muros y cubierta, dependerá aquí de la profundidad a que vaya situado el refugio.

- Nivel de piso a menos de 5 m. por debajo del nivel del terreno, el espesor será de 3 m.
- Si el nivel del piso está a más de 8 m. por debajo del nivel del terreno, el espesor de la solera puede ser de 1,50 m.
- Para niveles intermedios puede interpolarse linealmente.
- Si el refugio se construye con más de una planta, los forjados intermedios serán losas de hormigón armado de 1 m. de espesor, como mínimo.

En cuanto a las características de los materiales a emplear y otras disposiciones a adoptar durante la construcción, hay que señalar lo siguiente:

a) *Hormigones*. — La calidad del hormigón debe ser inmejorable, seleccionando cuidadosamente los áridos, empleando con preferencia los procedentes de machaqueo y dosificándolos perfectamente para que su curva granulométrica se aproxime lo más posible a la curva óptima señalada en las normas; la dimensión máxima de la grava será de 30 mm., excepto en la losa de cubierta, cuya última capa, en un espesor de 1 m., deberá llevar grava más gruesa, hasta 100 mm. de dimensión máxima, pero con la condición de que la resistencia de ambas capas de hormigón habrá de ser la misma. El agua de amasado no debe contener materias orgánicas o arcillosas en suspensión, tolerándose una proporción ínfima.

Las normas alemanas que antes hemos citado exigen que la resistencia cúbica del hormigón debe ser de 450 Kg./cm.² a los veintiocho días. Se comprende, pues, que debe vigilarse cuidadosamente todo el proceso de preparación, puesta en obra y curado del hormigón. En el caso de construirse por contrata, debe extremarse el rigor en los pliegos de condiciones facultativas en la parte referente a hormigones, y adjudicar la obra a una Empresa de prestigio y solvencia acreditadas.

Al estudiar las condiciones de resistencia del refugio es preciso tener en cuenta los efectos de retracción de fraguado y cambios de temperatura, con objeto de evitar las juntas de dilatación.

El hormigón de todas las partes del refugio deberá vibrarse cuidadosamente, con vibradores de aguja (o de inmersión) precisamente.

Las inevitables juntas de hormigonado se dejarán en planos normales a las superficies de forjados y muros, es decir, que serán horizontales en los muros y verticales en los forjados. En la losa de cubierta del refugio no deben dejarse juntas de hormigonado.

b) *Armaduras*. — Puede emplearse el acero ordinario redondo para construcción, con 2400 Kg./cm.², pero es preferible emplear aceros de calidad, y mejor aún aceros de laminación especial, con nódulos y nervios para mejorar la adherencia (aceros Isteg, Thor,

etcétera). En España se encuentran actualmente en el mercado algunos tipos de acero que reúnen estas condiciones.

Las armaduras se dispondrán en varias capas, distribuidas en todo el volumen del hormigón. Las normas alemanas recomiendan el empleo de la armadura tipo "Braunschweig", representado en la figura 8.^a; consiste en cuatro emparrillados, uno exterior, situado a un metro de la superficie, y otros tres interiores, distantes entre sí 30 cm., los cuatro emparrillados van unidos entre sí por unos estribos de 30 mm., en U, distantes entre sí 1,30 m.; el recubrimiento mínimo debe ser de 1 cm.

La armadura debe estar totalmente montada al iniciarse el hormigonado.

c) *Orificio para paso de tubos*. — Todas las partes envolventes del refugio (muros, solera y cubierta) pueden estar atravesadas por las tuberías necesarias para ventilación, etc., siempre que su sección sea inferior a 200 cm.² (14 cm. de diámetro). Todas estas tuberías deben atravesar las diversas partes envolventes siguiendo líneas quebradas.

3. ACCESOS.

Cada refugio debe disponer, como mínimo, de dos accesos normales, uno de los cuales, por lo menos, debe quedar fuera de la "sombra de escombros".

Los accesos deben tener 1,20 m. de anchura por cada 180 personas que hayan de utilizarlo, pero la anchura total no debe pasar de 2,40 m.

El sistema de doble puerta y antecámara deberá ser el mismo que en los RLP; la antecámara debe ser de 4,50 m.² y la puerta exterior estará calculada para resistir 90 Tn./m.².

Las puertas exteriores deben quedar protegidas por una pantalla de hormigón de tres metros de espesor que las preserven tanto de la metralla como de la onda explosiva directa. Los pasillos de acceso deben formar recodos cada cierto trecho, con objeto de debilitar la onda explosiva; para completar este efecto, todos los recodos deben terminar en "fondo de saco".

Las escaleras de acceso tendrán una pendiente máxima del 70 por 100, e irán dispuestas en uno o más tramos, a ser posible iguales, separados por descansillos. Los peldaños tendrán 26 cm. de huella y 18,5 cm. de contrahuella. El número máximo de altura de cada tramo será de 18 cm. La anchura de la escalera se rige por las mismas normas que los pasillos y debe disponerse de pasamanos a ambos lados; si la anchura es la máxima (2,40 m.), debe existir un tercer pasamanos central.

Si el acceso es por rampas, la pendiente no será superior a 1 : 8 y la distribución de tramos en rampa y descansillos se hará igual que en las escaleras.

4. VENTILACIÓN.

La instalación de ventilación será doble: natural y forzada.

a) *Ventilación natural*. — Se rige por las mismas normas indicadas para los RLP.

b) *Ventilación forzada*. — Debe ser más completa que en los RLP. Los filtros pueden estar constituidos por los elementos siguientes:

- Separador de polvo.
- Filtro de arena.
- Filtro de carbón activo.

Del filtro pasa el aire al interior del refugio a través de una instalación de acondicionamiento para regular su temperatura y grado de humedad. El impulsor de aire creará en el interior del refugio una ligera sobrepresión, suficiente para abrir la válvula del tubo de salida e impedir la entrada de gases nocivos.

La instalación de acondicionamiento de aire no es imprescindible, pero sí muy conveniente, puesto que el desprendimiento de calor y vapor de agua, unidos al escaso volumen disponible por persona, harían insostenibles en muy poco tiempo las condiciones de habitabilidad del refugio, aun contando con que la renovación de aire fuese suficiente. Es obvio que todas las aberturas de ventilación deben estar provistas de válvulas de retención que queden cerradas al producirse una sobrepresión exterior.

5. INSTALACIONES Y SERVICIOS.

a) *Abastecimiento de agua*. — Debe disponerse de agua suficiente para los servicios de: bebida, higiénicos, refrigeración de maquinaria, e incluso de cocina si se prevé esta instalación. La toma de agua debe hacerse de la red general de la población, contando con un consumo medio de diez litros por persona y hora. Para el caso de que la red general quede destruida o contaminada, debe disponerse de un pozo cuyo caudal sea el mismo previsto para la red general, pero, si no fuese posible disponer de pozo, se deberán construir al menos dos depósitos con capacidad de veinte litros por persona y día de permanencia máxima prevista para el refugio.

b) *Desagües*. — Se acometerán a la red general de alcantarillado, previendo a la salida del refugio una válvula de retención. El desagüe debe hacerse por gravedad, pero si la profundidad del refugio es superior a la del colector, hay que disponer una estación de bombeo.

c) *Instalación eléctrica*. — Habrá una triple instalación:

- Acometida (doble) a la red de alumbrado urbano.

- Instalación de grupos electrógenos para todos los servicios.
- Instalación de emergencia, constituida por lámparas piloto, servidas por una batería de acumuladores.

La instalación tomada de la red urbana debe ser doble y capaz cada una de las acometidas para la potencia total de servicio. Debe disponerse también de un número prudencial de linternas de mano.

d) *Servicios higiénicos*. — Se dispondrá de un WC por cada 25 personas y de un lavabo por cada 50; el lavabo puede ir situado en una antecámara de los WC, que sirve de zona de aislamiento de olores.

e) *Servicio sanitario*. — Debe disponerse de una sala de curas, provista de botiquín e instrumental quirúrgico para efectuar curas de urgencia y descontaminación. La superficie necesaria es de unos 18 a 20 metros cuadrados. Debe existir una sala de curas por cada 250 personas.

f) *Señalización*. — En lugares visibles deben colocarse indicativos de dirección en que se encuentran los distintos servicios y las salidas. En los accesos deben existir flechas indicadoras, de pintura luminosa para que sean perfectamente visibles en la oscuridad.

g) *Sala de máquinas*. — En estas salas van instalados todos los aparatos necesarios para:

- Ventilación forzada.
- Bombas.
- Grupos electrógenos, etc.

Las salas de máquinas deben estar perfectamente acondicionadas para eliminar los gases, mantener una temperatura uniforme y evitar la transmisión de ruidos y vibraciones a los locales habitables del refugio. El espacio necesario es de unos 18 m.² para un refugio de 250 plazas; 22 m.² para 500 plazas, y dos locales de 22 m.² si la capacidad del refugio es de 1 500 plazas.

Aparte de la sala general de máquinas, se precisa de otro local, de unos 15 m.², para la instalación de acondicionamiento de aire.

En la sala general de máquinas debe encontrarse un plano de situación y esquemas de todas las instalaciones (conducciones, depósitos, etc.) que existan en el refugio. Igualmente deben existir unas instrucciones breves y claras del funcionamiento de todas las instalaciones, para que puedan ser accionadas por personal inexperto.

VIII. - Normas para el cálculo de los refugios antiaéreos.

La protección necesaria tiene que quedar garantizada por el estudio estático y dinámico de todas las partes componentes del refugio. Como norma de cálculo elemental, pueden servir las consideraciones siguientes:

En los apartados VI y VII hemos dado las sobrecargas de cálculo normales para los distintos tipos de refugio, y hemos visto que se toma normalmente una sobrecarga permanente uniformemente repartida igual a $1/3$ de la máxima sobrepresión admitida para el refugio, que dependerá, naturalmente, de la resistencia que de él se exija. Vamos a indicar ahora las hipótesis normales de cálculo que suelen emplearse para el cálculo estático de los refugios antiaéreos.

1. HIPÓTESIS DE CARGA.

La estructura del refugio debe soportar, aparte de las cargas permanentes y sobrecarga útil, una sobrecarga suplementaria, que dependerá, como hemos dicho, de la resistencia que de él quiera exigirse. Normalmente, no resulta económico considerar unos efectos "catastróficos" de la explosión, por lo que, por regla general bastará considerar una sobrecarga suplementaria igual a una fracción (aquí $1/3$) de la máxima sobrepresión que deba resistir el refugio.

Existen dos posibilidades, que vienen a ser equivalentes: tomar la sobrecarga suplementaria igual a la máxima sobrepresión y hacer el cálculo de secciones para la tensión de rotura del hormigón y límite elástico del acero, o bien tomar una sobrecarga suplementaria reducida y a unas tensiones de trabajo iguales a una fracción de la rotura.

En el cálculo pueden prescindirse normalmente de la carga útil, puesto que, de presentarse los "efectos catastróficos", el edificio situado sobre el refugio estaría ya destruido.

Hay que tener en cuenta que, como la sobrecarga suplementaria actúa dinámicamente, las tensiones admisibles para el hormigón y para el acero pueden tomarse algo mayores que los valores usuales (límite elástico dinámico), puesto que el tiempo de aplicación de la máxima sobrecarga sería muy breve.

Si se hiciese la hipótesis de "efectos catastróficos", puede prescindirse de aplicar la presión del terreno, puesto que, en el caso de explosiones nucleares, se ha comprobado que la sobrecarga del suelo crece uniformemente en todo el contorno, de modo que la presión relativa del terreno por debajo de la solera del refugio permanece constante. Las experiencias realizadas han demostrado que son inevitables los asentamientos y movimientos de la estructura del refugio.

Referente al sentido de aplicación de las sobrecargas suplementarias, las experiencias realizadas han demostrado que la sobrecarga debida a la onda de presión en una explosión nuclear está dirigida casi exclusivamente en sentido vertical en las proximidades del punto cero, mientras que, a cierta distancia de éste, actúa con igual intensidad en todas direcciones.

Por el contrario, los efectos de una explosión próxima de una bomba explosiva clásica van dirigidos

exclusivamente en sentido horizontal. Estos efectos deben quedar incluidos en la sobrecarga suplementaria.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, diremos que las tres hipótesis de carga que deben hacerse son las siguientes:

a) Sobrecarga suplementaria actuando en sentido vertical exclusivamente (añadiendo $1/3$ de la carga permanente).

b) La sobrecarga suplementaria actúa en sentido horizontal exclusivamente (no se tiene en cuenta la presión de las tierras).

c) La sobrecarga suplementaria actúa en todas direcciones.

Si el refugio fuese de superficie, o semienterrado, la sobrecarga suplementaria deberá ir afectada de un coeficiente de aumento para tener en cuenta el efecto de presión por reflexión.

Si el refugio tuviese forma cilíndrica, dado que estos cuerpos resisten mejor una presión que actúe en todas direcciones, puesto que se traduciría en una presión uniforme en el anillo, habrá que dedicar especial atención al cálculo para la hipótesis de sobrecarga actuando en un solo sentido.

Si se tiene en cuenta la reacción del suelo y la absorción de una parte de la carga longitudinal gracias a la existencia de subdivisiones transversales, podrán reducirse ligeramente las sobrecargas suplementarias.

2. CÁLCULO ESTÁTICO.

a) *Cargas permanentes y carga útil.* — El cálculo se efectúa en la forma usual, por lo que no entraremos en más detalles.

b) *Sobrecarga suplementaria.* — En el caso de sobrecarga suplementaria "catastrófica", deben cumplirse exactamente las condiciones de equilibrio, pero, en cambio, las condiciones de resistencia deberán cumplirse solamente en forma aproximada puesto que, como es sabido, en las estructuras de hormigón estáticamente indeterminadas, cuando se está llegando al punto de rotura, se producen modificaciones en la distribución de tensiones, por las cuales las tensiones internas se acomodan a los desplazamientos y deformaciones de las armaduras. Con ello se consiguen notables simplificaciones en el cálculo estático y se evitan las reservas de estabilidad características de las estructuras estáticamente indeterminadas. En el caso de los refugios antiaéreos, ambas cosas influyen notablemente en la economía de la construcción.

Todas las partes planas (cubierta, solera, muros) se consideran como *placas simplemente apoyadas y armadas en una sola dirección*. Como luz de cálculo se toma la luz libre aumentada en $1/6$ de la suma de las anchuras de ambos apoyos. Si se calculasen las placas para armadura en ambos sentidos, se prescindiría del momento de torsión. Desde luego, con esta

hipótesis prescindimos de las compresiones y tracciones originadas por las reacciones de unas placas sobre otras, pero el cálculo es suficientemente aproximado.

En la realidad no existe el apoyo perfecto que se supone en el cálculo, sino que todas las placas tienen sus bordes en empotramiento elástico, por lo que la armadura calculada para la sección central de la placa habrá de repartirse convenientemente. Para ello, bastará que a partir del cuarto de la luz se vayan doblando barras hasta que la mitad de las barras del centro de la placa queden por la cara superior de la losa y la otra mitad por la parte inferior, en los apoyos.

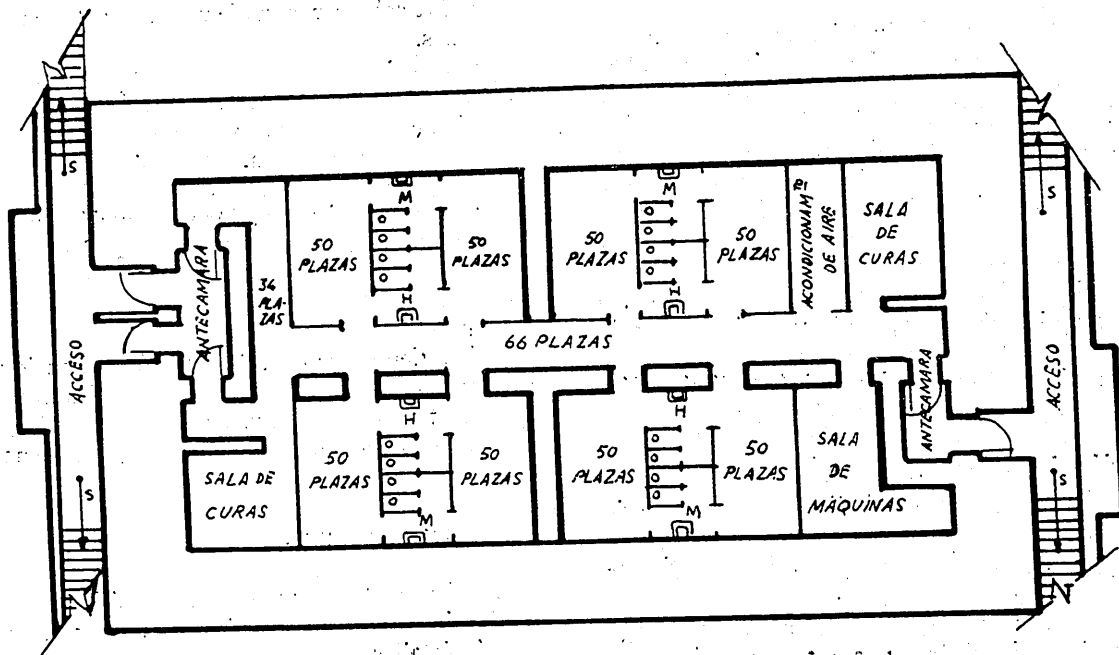


Fig. 9.ª.—Planta tipo de refugio reforzado permanente para 300 plazas.

Para tener en cuenta el efecto de succión o el efecto de la contraflecha elástica que se produce al retirarse bruscamente la sobrecarga suplementaria, y sin necesidad de comprobaciones, en la cara superior de la placa se pone una armadura igual a la cuarta parte de la armadura necesaria en la cara inferior, en el centro de la luz. Esta armadura es suficiente para absorber los momentos negativos que se producen en el centro de la placa.

Las armaduras deben solaparse convenientemente, de modo que las armaduras de una losa deberán pasar íntegras al arranque de una losa contigua cuya armadura normal sea más reducida.

Si la sección del refugio fuese circular, la armadura calculada para uno de los sentidos de sobrecarga se colocará interior y exteriormente a lo largo de todo el contorno.

Los muros interiores deben ser resistentes (suficientemente armados, para resistir las cargas transmitidas por muros y techos) o bien estar dispuestos de

tal manera que en caso de rotura a causa de las deformaciones plásticas de suelos y techos, no supongan peligro para los ocupantes del refugio.

Las mediciones efectuadas en las construcciones experimentales de Nevada han dado como resultado la comprobación de que se producen aceleraciones de 12,5 g. La instalación y acondicionamiento de los refugios antiaéreos deben efectuarse de tal manera que se puedan mantener en servicio aun con oscilaciones de flexión en las envolventes planas del refugio, de frecuencia de unos 25 p.p.s. y amplitud de cinco milímetros.

IX. - Coste de construcción de los refugios antiaéreos.

La carencia de datos estadísticos españoles nos impide hacer un estudio comparativo detallado que sea aplicable a nuestro país, por lo que nos limitaremos a indicar unas cifras posibles de coste, que, como se verá, pueden oscilar entre límites muy amplios, pero que pueden servir de orientación.

Hemos de partir de la base de que en un refugio antiaéreo, aun el más elemental, es una construcción cara; pues exige grandes volúmenes de hormigón armado y unas instalaciones caras para el servicio de un número relativamente reducido de personas. El coste aproximado lo referiremos a la capacidad del refugio, es decir, las cifras son de coste específico, por persona.

a) *Refugio ligero de circunstancias.* — Su coste puede ser muy variable, pues dependerá de los mate-

riales de que se dispóniga. Podemos admitir una cifra aproximada entre 300 y 700 pesetas por persona.

b) *Refugio ligero semipermanente*. — Su coste puede oscilar entre las 600 y 1.500 pesetas por persona.

c) *Refugio ligero permanente*. — Si nos atenemos a los tres tipos A, B y C especificados en las Normas alemanas a que anteriormente hemos hecho referencia, el coste pudiera ser:

— Tipo A: De 1 800 a 2 500 pesetas por persona.

— Tipo B: Entre 1 500 y 2 300 pesetas por persona.

— Tipo C: Entre 1 200 y 1 800 pesetas por persona.

d) *Refugio reforzado permanente*. — Naturalmente, su coste asciende extraordinariamente por la complejidad de sus instalaciones y por sus mayores espesores de hormigón. Puede llegar hasta unas 10 000 pesetas por persona.

X. - Contrucción y financiación.

Hemos dicho en el Preámbulo que en la mayor parte de los países se ha establecido, en mayor o menor grado, la obligatoriedad de construcción de refugios antiaéreos en las nuevas edificaciones, tanto urbanas como industriales. Sin embargo, no puede hablarse igualmente del cumplimiento de esta obligación. Esto se debe, en primer lugar, a que el refugio es, como ya se ha dicho anteriormente, una construcción cara, cuya utilidad en tiempo de paz es nula o muy limitada, y cuya utilidad en tiempo de guerra, por ignorancia o mala información (atención a esto) se considera poco eficiente.

Ya hemos visto, al hablar del gráfico de la figura 1.ª, que si la red de alarma avisa con antelación suficiente, el porcentaje de bajas, aun en la zona crítica, se reduce considerablemente, con lo que se llega a la conclusión de que, *cualquiera que sea su coste*, la construcción de un refugio antiaéreo bien estudiado no es cara, dada la cantidad de vidas que salva. Por otra parte, el coste relativo no es exagerado, pues para una casa de diez viviendas, por ejemplo, en la que bastaría un refugio para 50 personas, el coste del mismo sería de un 5 ó un 6 por 100 del coste total del edificio, cifra que no es exagerada. Hay que llegar, pues, al convencimiento de que (hablando en términos financieros), por la gran seguridad que da para caso de guerra, el coste del refugio puede considerarse amortizado, aun cuando no se produzca la guerra.

En cuanto a la financiación, habría que estudiar cuidadosamente una fórmula que la hiciese factible. Lo que no se puede pretender es que sean el Estado

o los Organismos oficiales quienes carguen íntegramente con ella. Distinguiremos los refugios que podemos llamar públicos, es decir, los pertenecientes a Empresas industriales o comerciales, Bancos, locales de espectáculos, entidades deportivas (1); etc., que deben hacerse cargo íntegramente de la construcción de sus propios refugios. En cuanto a los refugios privados, es decir, los de las viviendas, puede estudiarse la fórmula para que percibiesen una ayuda estatal, más o menos cuantiosa, directa o indirecta, análoga a la de las viviendas de renta limitada, amortizando el préstamo en un plazo prudencial. Para la mejor realización de este Plan, sería preciso que por el Organismo correspondiente se dictasen unas Normas adecuadas sobre las condiciones que deben reunir los refugios de los distintos tipos. Cuál sea el Organismo competente es cosa que habría que determinar; en Alemania, a cuyas Normas tantas veces hemos hecho referencia a lo largo de este trabajo, es el Ministerio Federal de la Vivienda, quien cuida además de que en los trabajos de Urbanismo se cumplan las condiciones de seguridad para la Defensa Civil. Permítaseme que lance una idea personal: ¿Por qué no podemos pensar en que sea esta una misión de los Ingenieros Militares?; a nuestro juicio, entra de lleno en nuestro campo de acción todo cuanto sea técnica de guerra, y, en este caso particular, por asimilación está plenamente justificada la idea.

En cuanto a los grandes refugios, no cabe duda de que su construcción debe correr a cargo de los Municipios o del Estado.

Otro punto que convendría estudiar para hacer menos gravosa la construcción de refugios antiaéreos sería su posible utilización en tiempo de paz.

La Reglamentación española prohíbe terminantemente la utilización, en tiempo de paz, para fines "que impliquen en ellos cambios o modificación perjudicial a sus fines"; cabe, pues, pensar en su utilización, incluso introduciendo en ellos alguna modificación *que no afecte a su estructura resistente*, pero con la condición de que en breve plazo puedan quedar desalojados y en condiciones de prestar servicio.

En algunos países se han propuesto algunas soluciones, llegándose a hablar de utilizarlos para locales de recreo para la juventud, e incluso como escuelas (no puedo verificar el dato, por no disponer en este momento de la referencia), pero no creemos que esta sea una solución viable, pues sería preciso practicar aberturas en los muros, con lo que ya no se cumpliría la condición de no afectar a la estructura resistente. Entre los grandes refugios sabemos por lo menos de uno, construido en 1951 en Otterhällan (Gottenburgo-Suecia), con capacidad para diez mil (10 000) perso-

(1) No hablamos, como es lógico, de los grandes espectáculos deportivos, pues en ellos sería utópico pensar en refugios para la capacidad total del campo.

nas, que en tiempo de paz se emplea para aparcamiento de automóviles; claro está que, para que esto sea posible, es preciso que de antemano se haya pensado en ambas funciones, para que sin grandes reformas pueda servir indistintamente como garaje y como refugio.

Dentro de este orden de ideas, podemos también definir como refugio antiaéreo, dedicado a dos fines, el "Metro" de Moscú, cuyas galerías están previstas para resistir las grandes presiones de una onda explosiva.

Consideramos que el empleo de los refugios en tiempo de paz es incluso conveniente, tanto para su conservación como para amortizar, en parte, su coste de construcción.

XI. Conclusión.

Hay que llegar al convencimiento de que la existencia de refugios antiaéreos bien estudiados, junto con la adecuada instrucción de la población civil, pueden llegar a salvar muchas vidas entre la población civil en caso de que llegase a estallar una guerra atómica. Al mismo tiempo, es necesario que cuantos tienen a su cargo la industria de la construcción, en cualquiera de sus formas, conozcan y cumplan las Normas de la Defensa Civil, tanto en lo que se refiere a refugios como a urbanismo. Y, por último, en este aspecto, más que en ningún otro, es indeseable la improvisación: hay que estar preparados desde tiempo de paz, si se quiere evitar el daño de la guerra.