



INSTRUCCIONES

Regla de Cálculo de Precisión 3/11

Antonio Medina Sanabria
Ingeniero Técnico Eléctrico
Colegiado N.º 587
C/. Capitán López Orduña, 64 B
35014 - Las Palmas
Telf.: 928 37 01 46

A. W. FABER - CASTELL - STEIN - NUREMBERG (ALEMANIA)

I. Observaciones generales	4
II. Descripción	4
III. Posibilidades de empleo	6
IV. Bases generales de cálculo	6
a) Notación	6
b) Bases de cálculo	7
V. Cálculo y Comprobación	7
VI. Ejemplos	10
A. Flexión simple	10
a) placas de hormigón armado	10
b) suelos nervados de hormigón armado	13
c) secciones rectangulares	14
d) vigas en T de ala ancha	16
e) secciones rectangulares con armadura disimétrica	20
B. Flexión compuesta	22
a) secciones rectangulares con armadura asimétrica	22
b) secciones rectangulares con armadura disimétrica	24
VII. Armadura transversal de esfuerzos cortantes	24
VIII. Uso de las escalas en caso de coeficiente "n" diferente	25

I. Observaciones generales

La regla de cálculo CASTELL 3/11 fué concebida con la idea de dar al ingeniero de caminos un instrumento perfecto para el cálculo y la comprobación de toda clase de secciones de hormigón armado.

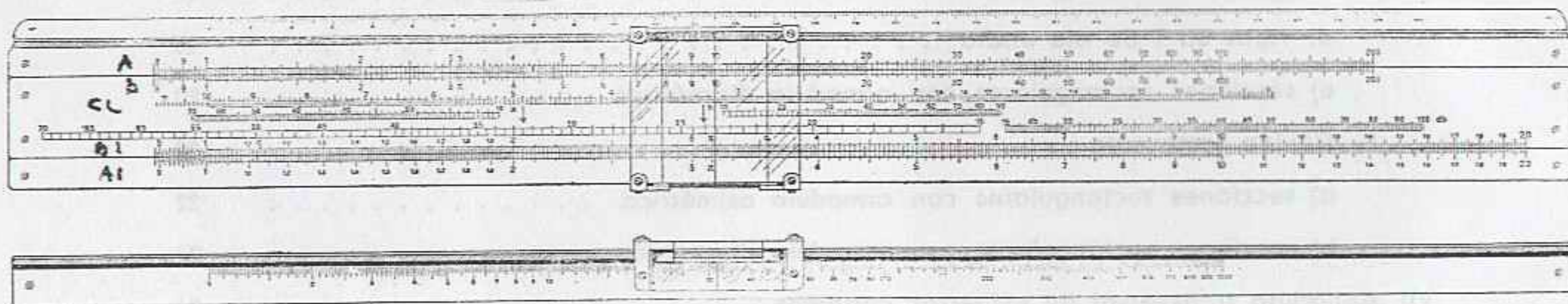
En su construcción fueron decisivas las siguientes consideraciones:

1. Crear un instrumento de precisión sobre una base estrictamente científica que pudiera satisfacer todas las exigencias de la práctica, es decir, exactitud, claridad, y fácil manejo.
2. Construir la regla en tal forma que pudiera servir para todas las tensiones de acero, no solamente para las actuales, sino también para aquellas que pudiera haber en el futuro.

La regla CASTELL 3/11 cumple dichas exigencias completamente. Como no está basada en una tensión determinada, sino en la relación entre la tensión del acero y la compresión del hormigón, se puede trabajar con cualquier tensión de acero. No se necesitan reglillas diferentes, ni tampoco se usa el dorso de la reglilla. Todas las escalas se hallan en el anverso de la regla. Una sola prueba de cálculo basta para convencerse de la gran exactitud de los resultados que se obtienen y la facilidad de la lectura.

Las presentes instrucciones permiten familiarizarse con su manejo en corto tiempo. Donde ha sido posible se ha hecho referencia a las Normas oficiales.

II. Descripción



(gráfico 1)

Aparte de la escala de inversas de una regla corriente y escalas adicionales mayores, tiene además las escalas necesarias para el cálculo de secciones de hormigón armado (gráf. 1).

Las letras A, A₁, B, B₁, y C₁, indicadas en el dibujo, se refieren al cálculo con una regla corriente, que se supone conocido.

Las escalas para el hormigón armado sirven para determinar:

- σ_h La carga de compresión unitaria en el hormigón en kg/cm²; (a la derecha, encima de B₁).
- h En unión de la división **B** para computar el canto útil en cm; (centro de la regla).
- fe En unión de la división **B** para averiguar la sección total de la armadura en redondos en cm² por cada 100 cm. de anchura de sección; (a la izquierda, encima de B₁).
- x En unión de la división **B** para averiguar la profundidad de la fibra neutra en cm; (centro de la reglilla, izquierda).

En el dorso de la regla hay dos tablas; la mayor, situada a la izquierda, sirve para determinar la relación de tensiones

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_h} = \frac{\text{tracción admisible del acero (kg/cm}^2\text{)}}{\text{compresión admisible del hormigón (kg/cm}^2\text{)}}$$

para los valores $\sigma_a = 1000, 1100, 1200, 1400, 1500, 1800, 2000, 2200$, y 2400 kg/cm^2 y todos los valores lineales $\sigma_h = 12-90 \text{ kg/cm}^2$.

Los valores no lineales se pueden interpolar, o deducir de la tensión doble del hormigón (gráf. 2), p. e.

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_h} = \frac{1000}{31} = \frac{1000}{62} \cdot 2 = 16,13 \cdot 2 = 32,26$$

La segunda table contiene la superficie total de los redondos de 6—40 mm ϕ .

(gráfico 2)

Tabelle der Werte - - $\frac{1}{2}$																																																Rundeisentabelle																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100																																														1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481	1482	1483	1484	1485	1486	1487	1488	1489	1490	1491	1492	1493	1494	1495	1496	1497	1498	1499	1500	1501	1502	1503	1504	1505	1506	1507	1508	1509	1510	1511	1512	1513	1514	1515	1516	1517	1518	1519	1520	1521	1522	1523	1524	1525	1526	1527	1528	1529	1530	1531	1532	1533	1534	1535	1536	1537	1538	1539	1540	1541	1542	1543	1544	1545	1546	1547	1548	1549	1550	1551	1552	1553	1554	1555	1556	1557	1558	1559	1560	1561	1562	1563	1564	1565	1566	1567	1568	1569	1570	1571	1572	1573	1574	1575	1576	1577	1578	1579	1580	1581	1582	1583	1584	1585	1586	1587	1588	1589	1590	1591	1592	1593	1594	1595	1596	1597	1598	1599	1600	1601	1602	1603	1604	1605	1606	1607	1608	1609	1610	1611	1612	1613	1614	1615	1616	1617	1618	1619	1620	1621	1622	1623	1624	1625	1626	1627	1628	1629	1630	1631	1632	1633	1634	1635	1636	1637	1638	1639	1640	1641	1642	1643	1644	1645	1646	1647	1648	1649	1650	1651	1652	1653	1654	1655	1656	1657	1658	1659	1660	1661	1662	1663	1664	1665	1666	1667	1668	1669	1670	1671	1672	1673	1674	1675	1676	1677	1678	1679	1680	1681	1682	1683	1684	1685	1686	1687	1688	1689	1690	1691	1692	1693	1694	1695	1696	1697	1698	1699	1700	1701	1702	1703	1704	1705	1706	1707	1708	1709	1710	1711	1712	1713	1714	1715	1716	1717	1718	1719	1720	1721	1722	1723	1724	1725	1726	1727	1728	1729	1730	1731	1732	1733	1734	1735	1736	1737	1738	1739	1740	1741	1742	1743	1744	1745	1746	1747	1748	1749	1750	1751	1752	1753	1754	1755	1756	1757	1758	1759	1760	1761	1762	1763	1764	1765	1766	1767	1768	1769	1770	1771	1772	1773	1774	1775	1776	1777	1778	1779	1780	1781	1782	1783	1784	1785	1786	1787	1788	1789	1790	1791	1792	1793	1794	1795	1796	1797	1798	1799	1800	1801	1802	1803	1804	1805	1806	1807	1808	1809	1810	1811	1812	1813	1814	1815	1816	1817	1818	1819	1820	1821	1822	1823	1824	1825	1826	1827	1828	1829	1830	1831	1832	1833	1834	1835	1836	1837	1838	1839	1840	1841	1842	1843	1844	1845	1846	1847	1848	1849	1850	1851	1852	1853	1854	1855	1856	1857	1858	1859	1860	1861	1862	1863	1864	1865	1866	1867	1868	1869	1870	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880	1881	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	1913	1914	1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099	2100	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2107	2108	2109	2110	2111	2112	2113	2114	2115	2116	2117	2118	2119	2120	2121	2122	2123	2124	2125	2126	2127	2128	2129	2130	2131	2132	2133	2134	2135	2136	2137	2138	2139	2140	2141	2142	2143	2144	2145	2146	2147	2148	2149	2150	2151	2152	2153	2154	2155	2156	2157	2158	2159	2160	2161	2162	2163	2164	2165	2166	2167	2168	2169	2170	2171	2172	2173	2174	2175	2176	2177	2178	2179	2180	2181	2182	2183	2184	2185	2186	2187	2188	2189	2190	2191	2192	2193	2194	2195	2196	2197	2198	2199	2200	2201	2202	2203	2204	2205	2206	2207	2208	2209	2210	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	2222	2223	2224	2225	2226	2227	2228	2229	2230	2231	2232	2233	2234	2235	2236	2237	2238	2239	2240	2241	2242	2243	2244	2245	2246	2247	2248	2249	2250	2251	2252	2253	2254	2255	2256	2257	2258	2259	2260	2261	2262	2263	2264	2265	2266	2267	2268	2269	2270	2271	2272	2273	2274	2275	2276	2277	2278	2279	2280	2281	2282	2283	2284	2285	2286	2287	2288	2289	2290	2291	2292	2293	2294	2295	2296	2297	2298	2299	2300	2301	2302

Las divisiones trigonométricas
y la escala para los logaritmos decimales
se encuentran en el dorso de la reglilla.

III. Posibilidades de empleo.

Aparte de operaciones corrientes, se pueden calcular con las escalas especiales de esta regla las secciones de hormigón con armadura asimétrica o disimétrica para flexión simple ó compuesta y para cualquier tensión en el acero y en el hormigón, estas últimas comprendidas entre 15—90 kg/cm². Igualmente sirva para el cálculo de forjados de bloques macizos o huecos, así como para determinar las armaduras transversales de esfuerzos cortantes.

IV. Bases generales de cálculo.

a) notación

En el cálculo de las secciones de hormigón armado se usan las siguientes notaciones:

- | | | |
|----------------|---|---|
| M | momento flector en mkg.; | |
| d | canto total de la pieza de sección rectangular en cm; o espesor de la cabeza de compresión en vigas de ala ancha; | |
| h | = d — a canto útil de la sección en cm; | |
| a | distancia entre el centro de gravedad de la armadura y el borde de tracción en cm; | |
| h' | distancia entre el centro de gravedad de la armadura y el borde comprimido en cm; | |
| b | anchura de la cabeza de compresión de la sección que trabaja estáticamente en m; | |
| b _o | anchura del nervio en vigas de ala ancha, vigas en T y similares, en m; | |
| c | diferencia d — (a + h') en cm; | σ_h compresión unitaria del hormigón en kg/cm ² ; |
| x | profundidad de la fibra neutra en cm; | σ_a tracción unitaria del acero en kg/cm ² ; |
| | | F _e sección total de la armadura de tracción; |

Fe' sección total de la armadura de compresión (armadura disimétrica), en cm^2 .

$fe (fe') = \frac{Fe (Fe')}{b}$ sección de la armadura por unidad de ancho.

N esfuerzo normal en kg; (compresión o tracción)

e excentricidad = relación $M : N$

M_u momento $M + N \cdot u$, siendo u la distancia entre la armadura de tracción y el centro de gravedad

n coeficiente de equivalencia $\frac{E_a}{E_h}$

r y t son valores fijos dependientes de la tensión y que sirven para el dimensionado según fórmulas.

b) Bases de cálculo

La división de las escalas se ha hecho en el supuesto de un reparto lineal de tensiones y sin tener en cuenta el hormigón en la zona de tracción.

El coeficiente de equivalencia se ha supuesto igual a $n = 15$.

V. Cálculo y comprobación

En el cálculo de las secciones de hormigón armado aparecen, generalmente, como dados el momento y el esfuerzo normal, si éste existe. Las magnitudes que se desean conocer son, por lo tanto:

a) las dimensiones geométricas de la sección (d y b_0), utilizando las tensiones σ_a y σ_h que corresponden o que están fijadas por las normas generales; ó

b) las tensiones resultantes en secciones de dimensiones determinadas o condicionadas por las circunstancias.

Tratándose de tensiones fijadas por normas generales, los valores buscados se hallan según los gráficos 4—6 como sigue:

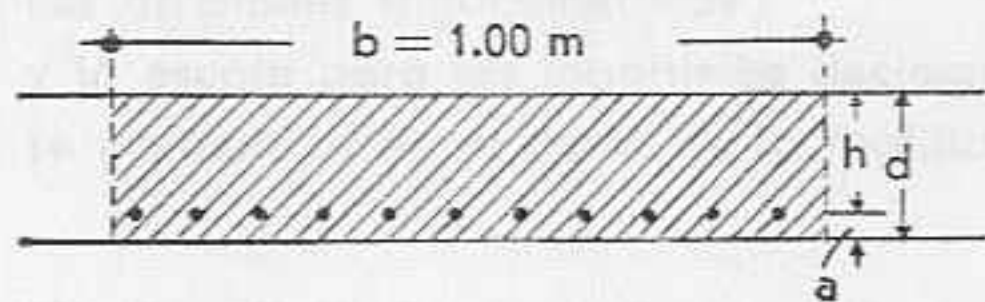


gráfico 4

1) para **placas** ($b = b_0 = 1,00 \text{ m}$)

$$h = r \cdot \sqrt{M}$$

$$f_e = t \cdot \sqrt{M}$$

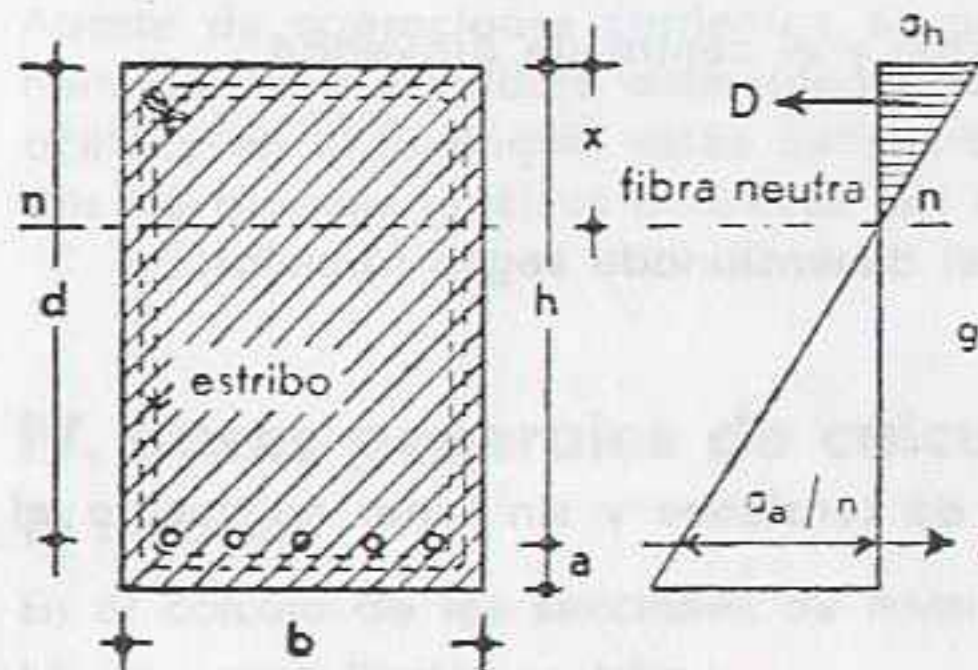


gráfico 5

2) para **vigas** (secc. rectangular)

$$h = r \cdot \sqrt{M : b}$$

$$f_e = t \cdot b \cdot \sqrt{M : b}$$

para 1) y 2) x será: $\frac{n \cdot \sigma_h}{\sigma_a + n \cdot \sigma_h} \cdot h$

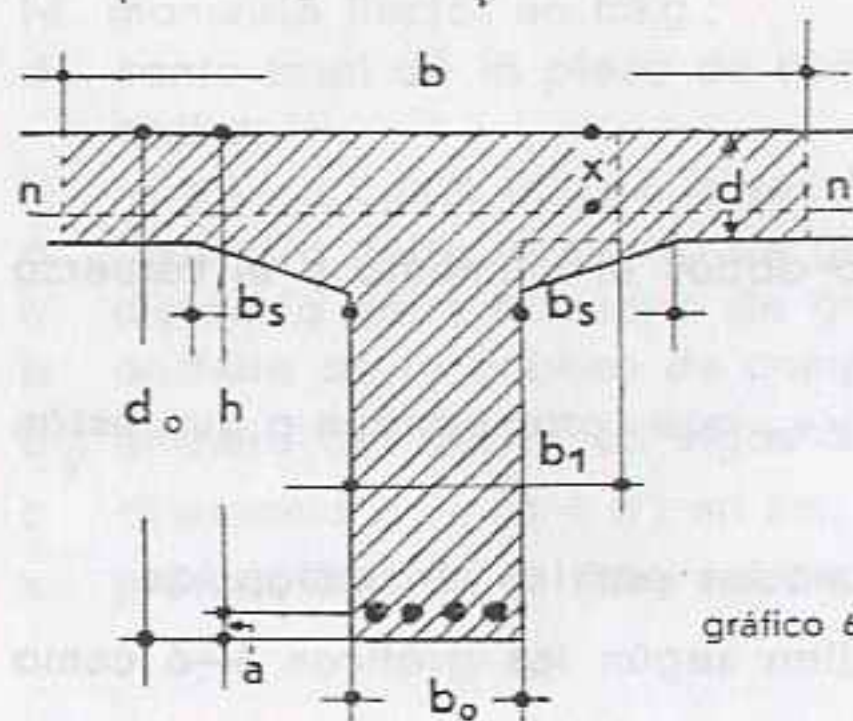


gráfico 6

3) para **vigas** en T con alas anchas

a) con alas en ambos lados

$$b = 12d + 2b_s + b_0$$

b) viga con ala en un solo lado

$$b = 4,2d + b_s + b_0$$

pero no mayor que la distancia entre centros,
y la mitad de la distancia entre apoyos.

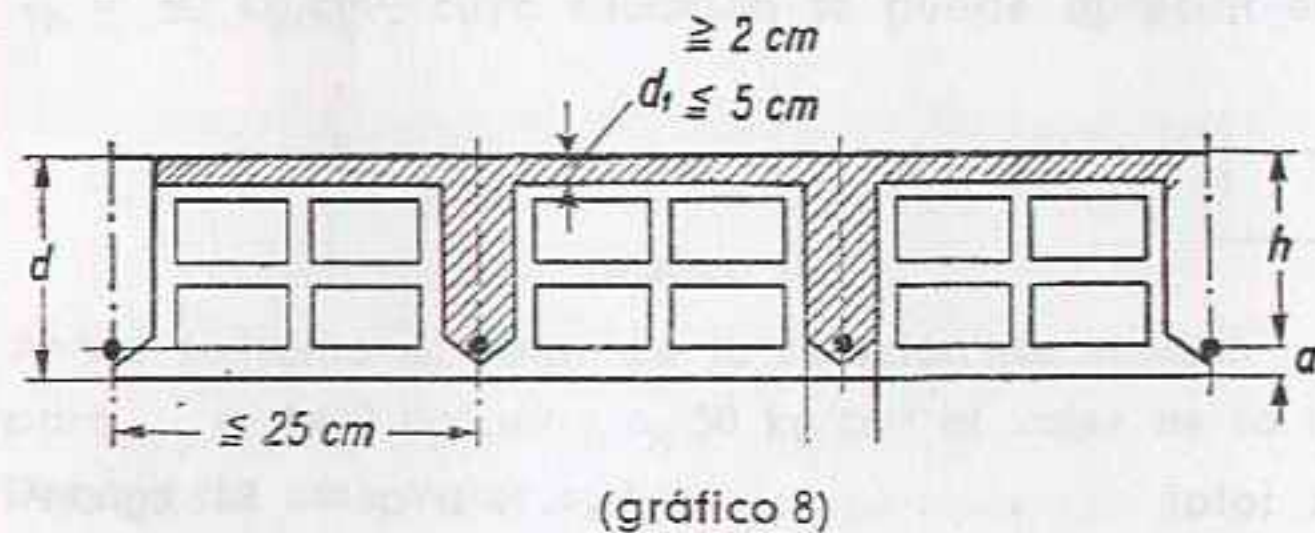
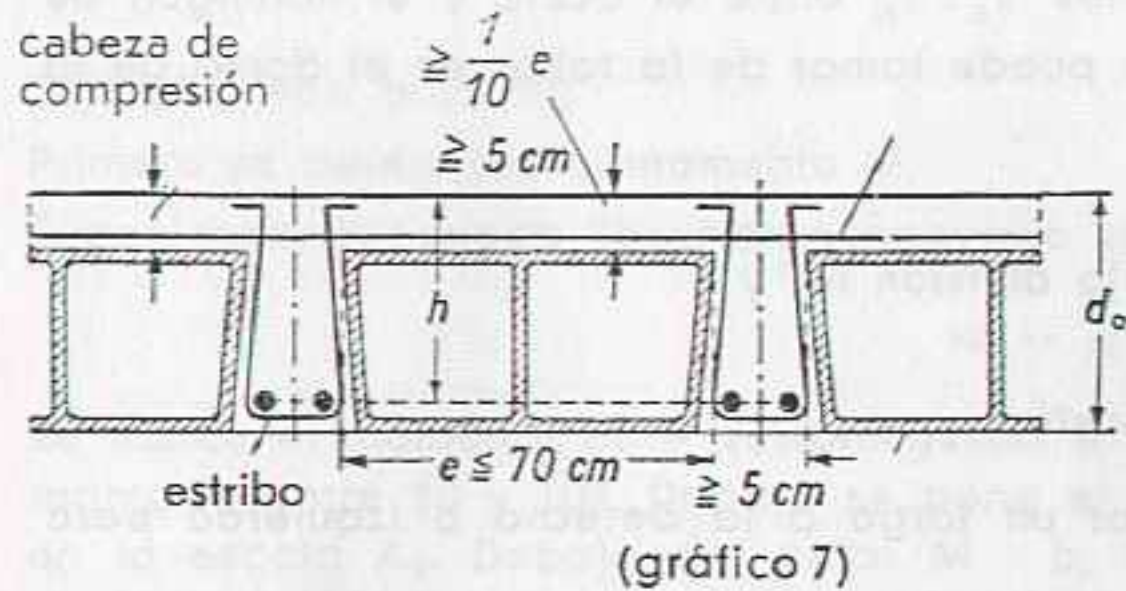
pero no mayor que la mitad de luz entre los
nervios + b_1 y un cuarto del ancho de apoyo.

Para el cálculo de sistemas hiperestáticos y de la deformación por flexión:

$b = 6d + 2b_s + b_0$, pero no mayor que la distancia entre centros

$b = 2,25d + b_s + b_1$, pero no mayor que la mitad de luz entre nervios + b_1 .

En caso de $x > d$, el valor anteriormente calculado debe multiplicarse por un coeficiente de reducción.



4. suelos nervados de hormigón armado se calculan como las vigas en T.

$x < d$ para placas $b = 1,00 \text{ m}$

$$h = r \cdot \sqrt{M}$$

$$f_e = t \cdot \sqrt{M}$$

5. forjados armados contruídos con bloques se calculan también como vigas en T.

$x < d$ para placas $b = 1,00 \text{ m}$

$$h = r \cdot \sqrt{M}$$

$$f_e = t \cdot \sqrt{M}$$

De las ecuaciones anteriores resultan para $n = 15$ las siguientes "Normas básicas para el dimensionamiento".

A este fin se emplearán las dimensiones siguientes: $M = \text{mkg}$, $b = \text{m}$; h, z, d y $x = \text{cm}$, $\sigma_a / \sigma_h = \text{kg/cm}^2$.

El momento flector se marca siempre en la escala superior (escala A, según gráfico 1) entre 10 y 100 si M tiene un número par de cifras, y entre 1 y 10 si el número de cifras de M es impar.

Debajo del valor $\frac{\text{momento}}{\text{ancho de viga}}$, que queda marcado en la escala superior debe ponerse la raya de división de la tensión buscada del hormigón (σ_h .)

Después de marcar en esta forma, se pueden tomar las lecturas en la escala inferior de la regla (B.)

Se procede de la manera siguiente: Se establece la relación de tensiones $\sigma_a : \sigma_h$ entre el acero y el hormigón de acuerdo con las tensiones fijadas o escogidas. La cifra de este valor se puede tomar de la tabla en el dorso de la regla, encontrándose debajo de este valor

el canto útil en la división h;

la sección de la armadura de tracción para 1 m de faja en la división fe; y

la profundidad de la fibra neutra en la división x.

Las divisiones h, fe y x están, pues, numeradas según la relación de tensión $\sigma_a : \sigma_h$.

Si una lectura cae fuera de las divisiones se puede mover la reglilla por un largo a la derecha o izquierda para poder tomar la lectura.

VI. Ejemplos.

A. Flexión simple; a) forjado de hormigón armado.

Primer ejemplo: cálculo de un forjado simplemente apoyado.

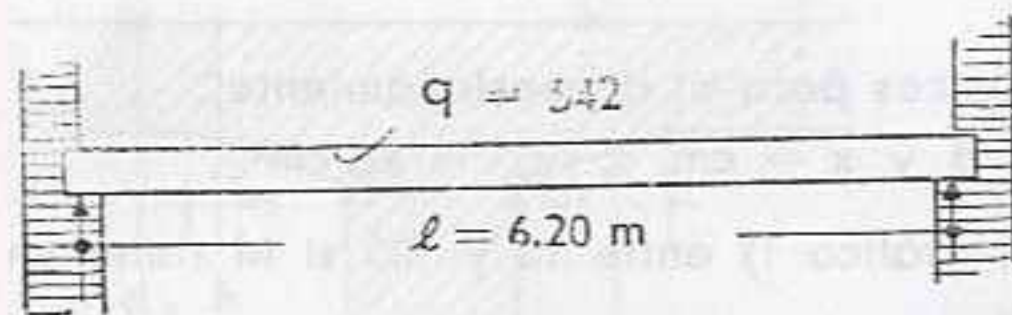


gráfico 9

Datos:

carga total	$q = 542 \text{ kg/cm}^2$
luz	$L = 6,2 \text{ m}$
ancho unitario de faja	$b = 1,00 \text{ m}$
σ_a admisible	$= 1400 \text{ kg/cm}^2$
R_D σ_h admisible	$= 50 \text{ kg/cm}^2$

Incógnitas:

canto total necesario de la placa	d
canto útil	h
armadura de tracción necesaria	fe

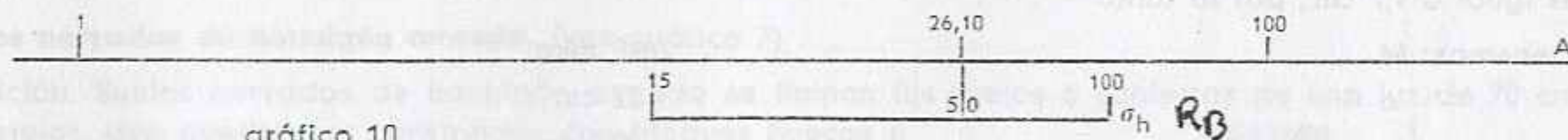
Solución (ver gráf. 10)

Primero se determina el momento M.

Suponiendo el forjado libremente apoyado se obtiene con los valores dados:

$$M = q \cdot \frac{L^2}{8} = 542 \cdot 6,2^2 : 8 = 2610 \text{ mkg.}$$

Se marca el momento $M = 2610 \text{ mkg}$ con el cursor en la escala A, y como tiene un número par de cifras, queda marcado entre 10 y 100. Debajo se pone el ancho de la faja, en este caso 1,00 m., es decir, se marca la cifra 100 en la escala A₁. Debajo del valor M : b, en este caso 26,10, se marca la compresión unitaria del hormigón $\sigma_h = 50 \text{ kg/cm}^2$, cuya situación se puede apreciar en el gráfico 10.



Ahora se toma el valor de la relación de tensión $\sigma_a : \sigma_h$, indicado en la tabla del dorso de la regla. Se obtiene para $\sigma_a = 1400 \text{ kg/cm}^2$ y $\sigma_h = 50 \text{ kg/cm}^2$ el valor de la tabla $\sigma_a / \sigma_h = 28$.

Debajo de este valor σ_a / σ_h

en la división h se encuentra en la escala B $h = 18,4 \text{ cm.}$

en la división fe, la sección de la armadura de tracción para el ancho de 1 m $fe = 11,47 \text{ cm}^2.$

en la división x después de correr la reglilla un largo, se encuentra la profundidad de la fibra neutra $x = 6,4 \text{ cm.}$

El número y diámetro de las barras necesarias también se pueden ver en la tabla del dorso.

Tomamos 8 barras de 14 mm ϕ con $fe = 12,32 \text{ cm}^2$ y determinamos el canto total que corresponde en este caso, y que debe ser por lo menos:

1. canto útil necesario	$h = 18,4 \text{ cm}$
2. recubrimiento	1,0 cm
3. mitad del diámetro del acero	0,7 cm
espesor mínimo necesario de la placa	<u>20,1 cm</u>

Los valores 2 y 3 juntos dan $(a) = 1,7$ cm.

Segundo ejemplo:

El cálculo se puede hacer también a la inversa. Dado el momento y la tensión del acero, se estima el espesor de la placa y se determina la tensión del hormigón.

Como fórmula empírica para la estimación del espesor de la placa, puede servir:

para $M \leq 1500$ mkg $d \approx M : 100$ en cm

para $M > 1500$ mkg $d \approx M : 120$ (hasta 140) en cm

En el caso del primer ejemplo la estimación pudiera ser $d = 2610 : 120 \approx 22$ cm. El valor (a) es conocido del ejemplo primero y es igual a 1,7 cm., por lo tanto

tenemos: M	2610 mkg
d	22 cm
$h = (d - a)$	20,3 cm
σ_a	1400 kg/cm ²

y se buscan : σ_h , f_e necesario, y "x".

Solución: Hay que encontrar aquella relación de tensión que tiene como valor de $h = 20,3$, lo cual se logra mejor por tanteos.

Se marca de la misma forma como en el ejemplo primero, es decir, debajo de 26,10 de la escala A está la cifra 100 de la escala A_1 .

Lectura: Debajo de 26,10 se lee ahora en la división para $\sigma_h = 40$ kg/cm²; esto corresponde, según la tabla, a la relación $\sigma_a : \sigma_h = 35$.

La división h muestra debajo de 35 $h = 22$ cm. Este valor es demasiado grande, ya que el canto útil fue estimado solamente en 20,3 cm. Para obtener un valor h menor, hay que aumentar la tensión.

2º tanteo: Pongamos el valor $\sigma_h = 45$ debajo de 26.1 que todavía está marcado. Para $\sigma_h = 45$ obtendremos $\sigma_a : \sigma_h = 31$, y de acuerdo con esto $h = 20$ cm. Si no se pretende un aprovechamiento completo del acero, la exactitud ob-

tenida es suficiente y debajo del valor 31 se encuentra

en la división fe = 10,50 cm²
 en la división x = 6,5 cm.

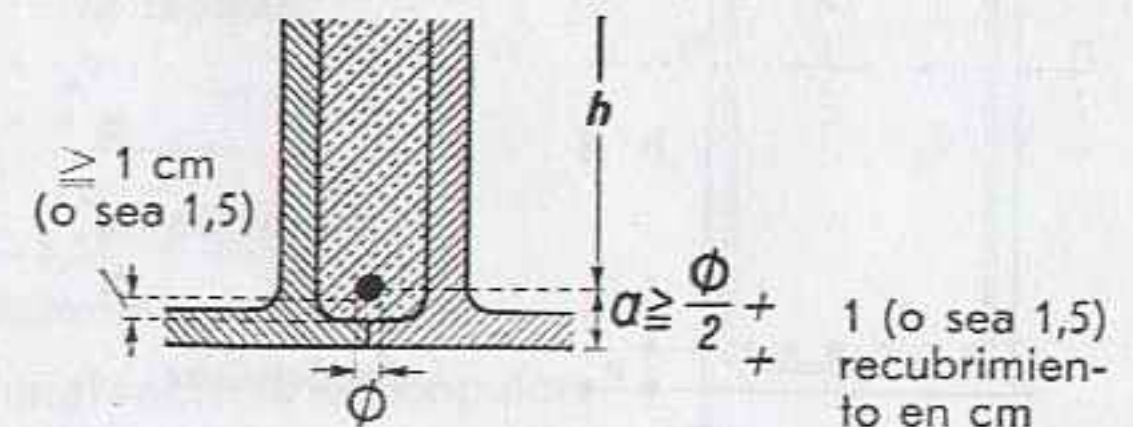
Otro tanteo con $\sigma_h = 44 \text{ kg/cm}^2$ y consecuentemente $\sigma_a / \sigma_h = 31,82$ daría el valor más exacto de $h = 20,4 \text{ cm}$, y para $fe = 10,22 \text{ cm}^2$ y para $x = 6,52 \text{ cm}$.

El grado de la exactitud se podrá determinar solamente para cada individual, y muchas veces habrá que tener en cuenta el redondo a escoger. En el caso del ejemplo anterior se haría un tercer tanteo, puesto que según el segundo tanteo con $fe = 10,5 \text{ cm}^2$ habría que escoger 10 barras de 12 mm ϕ con $fe = 11,31 \text{ cm}^2$, y en cambio según el tercer tanteo solamente 9 barras de 12 mm ϕ por cada metro de ancho con $fe = 10,18 \text{ cm}^2$, ahorrándose así el 10% de acero redondo.

b) Suelos nervados de hormigón armado. (vea gráfico 7)

1. Definición. Suelos nervados de hormigón armado se llaman los suelos ó cubiertas de una luz de 70 cm a lo sumo entre nervios, que pueden ser contruidos con bloques huecos ú otras piezas de relleno. Dichos bloques y piezas no trabajan estáticamente y no pueden transmitir tensiones.

El espesor de la cabeza de compresión debe ser por lo menos $\frac{1}{10}$ de la distancia entre nervios, y no puede rebasar 5 cm. Los nervios deben tener un ancho de 5 cm como mínimo, y estar provistos de estribos.



3º Ejemplo:

Datos:	Momento	1060 mkg
	σ_a	1200 kg/cm ²
	Altura de los bloques	12 cm
	Cabeza de compresión	5 cm
	d_o	17 cm
	$h = 17 - 3 =$	14 cm — (a) depende de la forma

de los bloques y oscila entre 2,5 y 4,0 cm.

Incógnitas: σ_h y f_e .

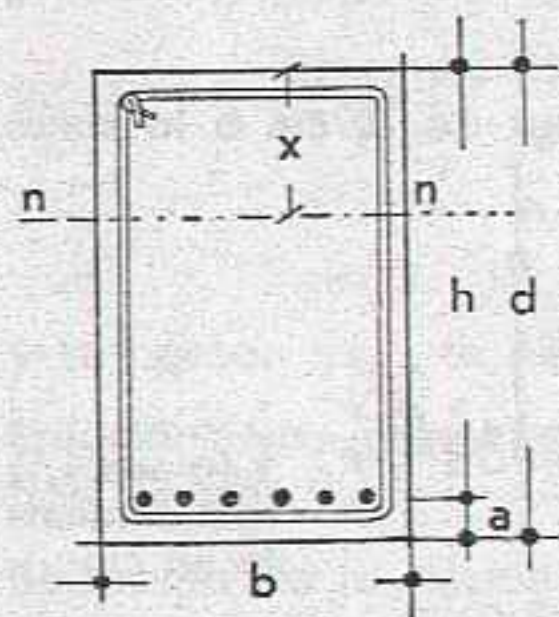
Solución: como ejemplo 2.

Primer tanteo: $\sigma_h = 40 \text{ kg/cm}^2$ da $\sigma_a / \sigma_h = 30$.

Se coloca el valor 40 debajo de 10,60, y se encuentra en la división h debajo 30 el valor de h para $\sigma_h = 40$. La lectura indica $h = 13,4 \text{ cm}$; el valor resulta pequeño.

Segundo tanteo: $\sigma_h = 38 \text{ kg/cm}^2$ que da $\sigma_a / \sigma_h = 31,58$, y después de colocar 38 debajo $M = 10,60$, tenemos en la división h el valor 13,9 cm en f_e ; después de correr la reglilla, $f_e = 7,10 \text{ cm}^2$ y para $x = 4,48 \text{ cm}$. Como $x < d (= 5 \text{ cm})$ no hace falta el cálculo según la manera de viga en T.

c) Secciones rectangulares (vigas) - vean gráfico 12.



(gráfico 12)

4º Ejemplo: Empleando acero de alta calidad.

Datos: M 4800 mkg
 σ_a 1800 kg/cm²
 b 0,25 m

Estimación: d 0,50 m
 h 0,46 m

Incógnitas: σ_h , f_e , x .

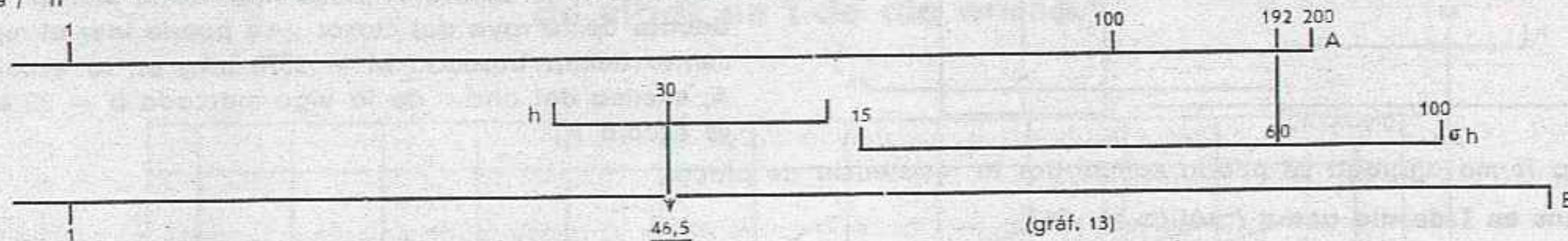
Operación: Se marca $M : b$ con el cursor, (192 en la división adicional encarnada)

La relación de tensión para $\sigma_a = 1800 \text{ kg/cm}^2$ se toma de la tabla; obtendremos pues:

1º tanteo: Debajo de 192 ya tenemos $\sigma_h = 40 \text{ kg/cm}^2$, a lo que corresponde $\sigma_a / \sigma_h = 45$, y $h = 64,7 \text{ cm}$. Resultando h demasiado grande, se debe aumentar la tensión.

2º tanteo: Para $\sigma_h = 50 \text{ kg/cm}^2$ y $\sigma_a / \sigma_h = 36$, el valor de h sería 53,8 cm, que todavía resulta grande.

3.º tanteo: Marcamos la tensión del hormigón $\sigma_h = 60 \text{ kg/cm}^2$ debajo del valor básico (192), y encontramos para $\sigma_a / \sigma_h = 30$ el valor de $h = 46,5 \text{ cm}$. — vease gráfico 13.



Habiendo obtenido suficiente exactitud, sigue la lectura:

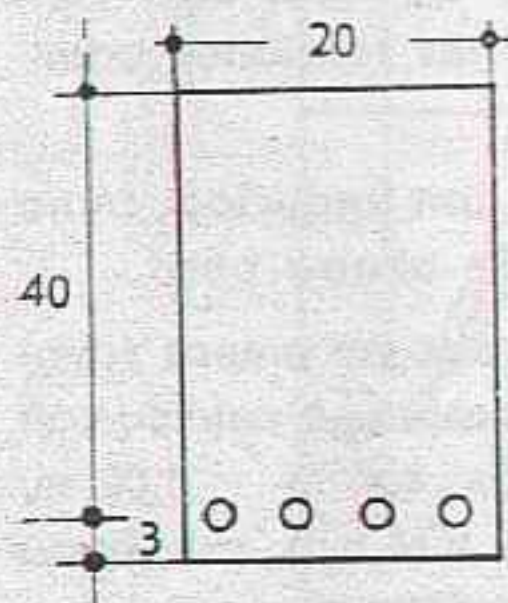
en la división f_e (para $b = 1,0 \text{ m}$) = $25,8 \text{ cm}^2$
 por lo tanto para $b = 0,25 \text{ m}$ $0,25 \cdot 25,8 = 6,45 \text{ cm}^2$
 en la división x = $15,50 \text{ cm}$

Según el dorso de la regla escogemos 6 barras de $12 \text{ mm } \phi$ con $f_e = 6,79 \text{ cm}^2$, y comprobamos el canto útil h :

recubrimiento en vigas $1,5 \text{ cm}$
 diámetro de los estribos $1,0 \text{ cm}$
 medio diámetro de los redondos $0,6 \text{ cm}$
 $a = 3,1 \text{ cm}$

valor efectivo de $h = (50 - 3,1) = 46,9 \text{ cm}$

El valor supuesto de h , o sea $46,5 \text{ cm}$ es suficiente.

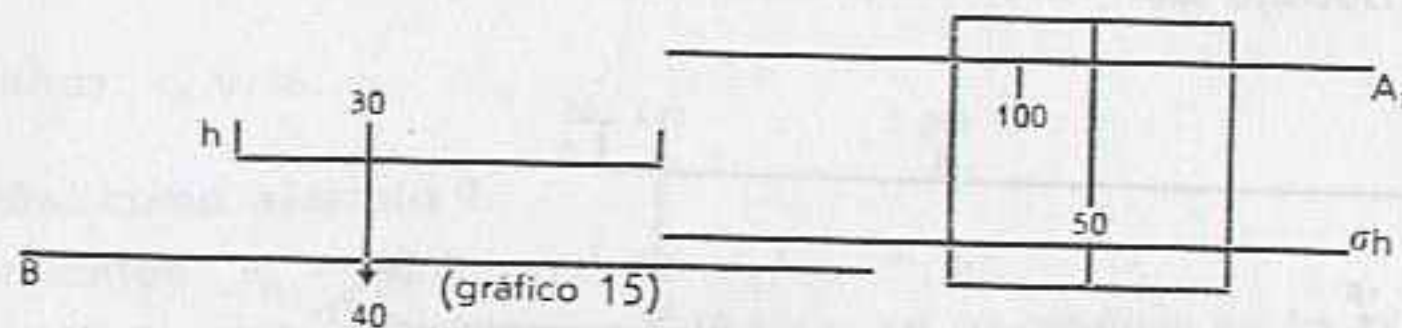


(gráfico 14)

5.º Ejemplo: Comprobación de la resistencia de una sección rectangular.

Se desea conocer el momento flector que puede resistir una sección rectangular de hormigón con armadura asimétrica, no debiéndose rebasar en el hormigón la tensión $\sigma_h = 50$, ni en el acero la de $\sigma_a = 1500$. (gráf. 14)

La división h correspondiente a la relación de tensión de $\frac{1500}{50} = 30$ se colocará encima del valor del canto útil $h = 40,00$ en la escala B. Después se corre el cursor hasta la división que indica la tensión del hormigón en la escala σ_h . (vease gráfico 15)



Hecho esto, se coloca el punto final de la división A_1 debajo de la raya del cursor y se puede leer el momento flector buscado $M = 2370 \text{ mkg}$ en la escala A , encima del ancho de la viga marcado $b = 20$ en la escala A_1 .

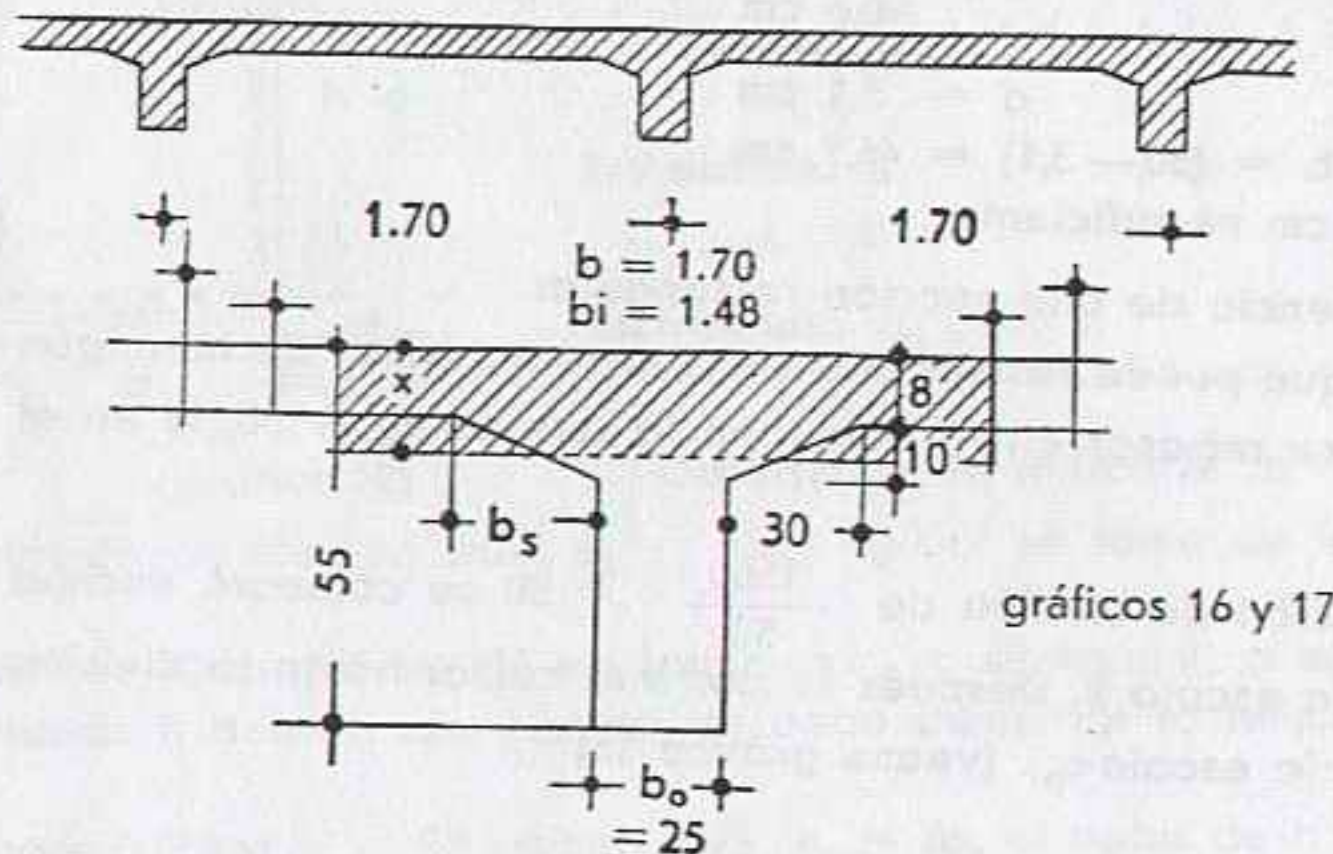
De una forma análoga se puede comprobar la resistencia de placas.

d) Vigas en T de ala ancha (gráfico 16 y 17)

Bajo esta denominación se comprende una sección muy corriente en la construcción de hormigón armado, compuesta generalmente de una placa delgada de hormigón armado, unida fijamente a un nervio alto, según el gráfico 6 anterior. En el cálculo de las vigas en T, y en la determinación de las tensiones se puede considerar como anchura del ala una dimensión b que, como máxima será:

$$b = 12d + 2b_s + b_o, \text{ (vease gráficos 16 y 17)}$$

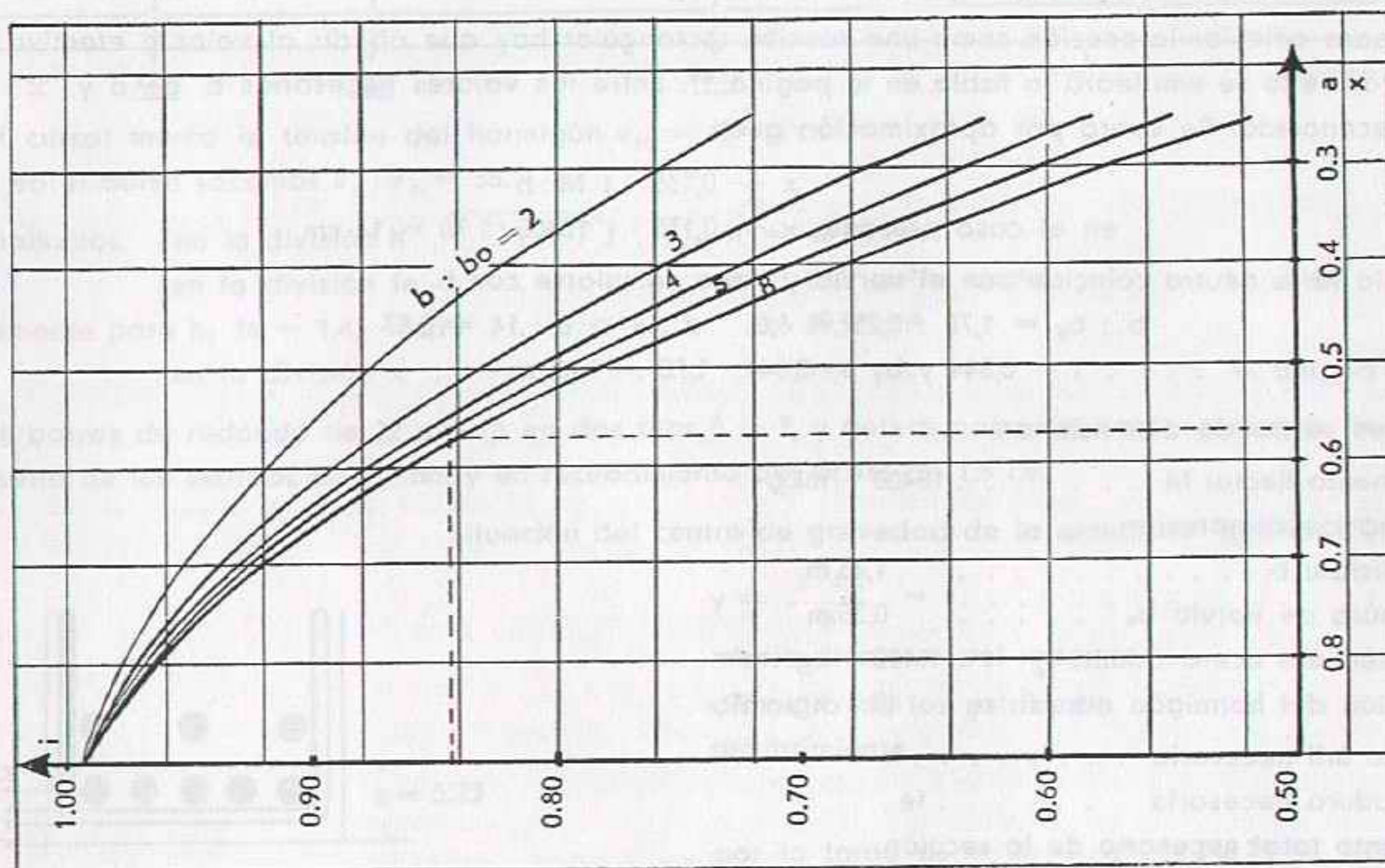
pero en ningún caso mayor que la distancia entre los ejes de nervios.



Para el dimensionado conviene tener en cuenta lo siguiente:

- 1) Generalmente, y sobre todo en caso de vigas en T continuas, no es económico aprovechar las tensiones admisibles hasta el límite.
- 2) El ancho del nervio b_o puede ser tan reducido como permita la armadura de redondos. Se ahorra peso.
- 3) La operación es más fácil y el resultado no menos favorable si, en lugar del ancho de compresión se calcula con un valor b más pequeño. Digamos con $b = 1,00 \text{ m}$, suprimiendo así el denominador en $\sqrt{M : b}$, pudiendo tratar la sección como una placa. Según el caso se puede también economizar armadura, pues un valor b grande conduce a grandes secciones de acero.

**"Tabla para el cálculo de valores (i) para el dimensionado
de vigas en T de ala ancha."**



Cálculo: Según el gráfico 17 resulta: $b = 12 \cdot 0,08 + 2 \cdot 0,30 + 0,25 = 1,81 \text{ m}$.

Siendo este valor mayor que la luz entre nervios $L = 1,70$, no se debe tomar otro valor que este último. (según las normas alemanas). El momento se supone que vale $18\,400 \text{ mkg}$.

Al objeto de poder calcular la sección como una sección rectangular hay que añadir al valor b efectivo otro valor b virtual. (b_i). Para ello se empleará la tabla en la página 17. Entre los valores necesarios b , b_0 , d y " x ", solamente el último es desconocido. Se sabrá por aproximación que

$$x \sim 0,135 \cdot \sqrt{M : b}$$

$$\text{en el caso presente } x \sim 0,135 \cdot \sqrt{18400 : 1,70} = 14 \text{ cm}$$

Siendo $14 > 8$, la fibra neutra coincide con el nervio y debe calcularse con b_i .

$$b : b_0 = 1,70 : 0,25 = 6,8; \quad d : x = 8 : 14 = 0,57$$

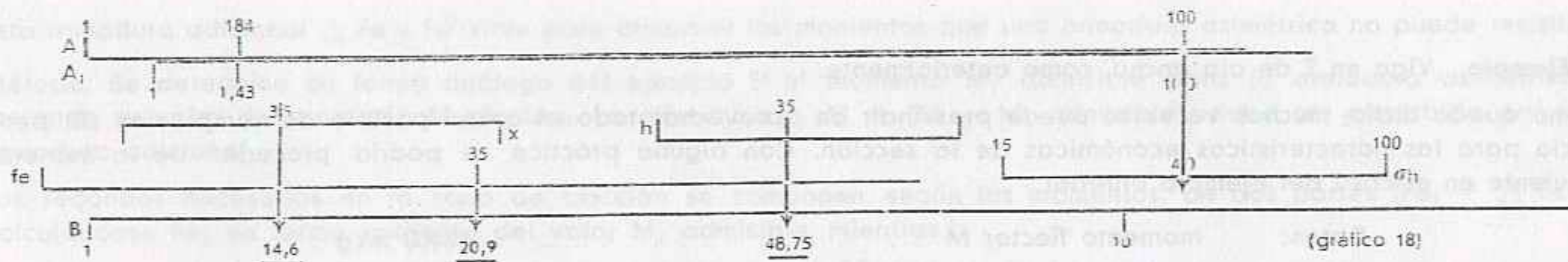
Según tabla en página 17 $i = 0,844$ y $b_i = 0,844 \cdot 1,70 = 1,43 \text{ m}$

Con estos valores se puede dimensionar.

Datos: momento flector M	18400	mkg
ancho de compresión		
admisible b_i	1,43	m
anchura de nervio b_0	0,25	m
tensión del acero admis. σ_a . . .	1400	kg/cm ²
tensión del hormigón admis. σ_h . .	40	kg/cm ²

Incógnitas: canto útil necesario h
 armadura necesaria fe
 y canto total necesario de la sección.

Manejo: Debajo del valor 184 de la escala A, se coloca 1,43 (escala A_1); el resultado, sin embargo, no se marca en este caso a la izquierda con el cursor, sino enseguida a la derecha en la división encarnada adicional (vea gráf. 18).



(gráfico 18)

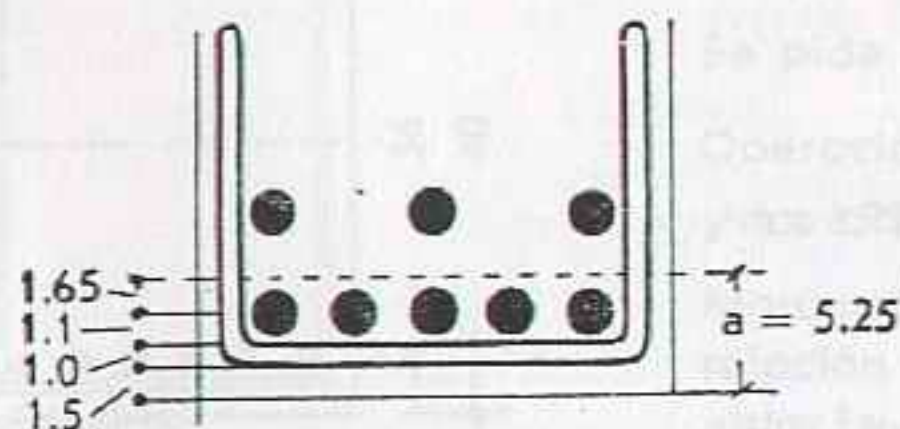
La raya del cursor marca la tensión del hormigón $\sigma_h = 40 \text{ kg/cm}^2$

De la tabla en el dorso sacamos $\sigma_a / \sigma_h = 35$.

Debajo 35 hallamos: en la división h $h = 48,75 \text{ cm}$
 en la división fe $fe = 20,9 \text{ cm}^2/\text{m ancho}$
 consecuentemente para b_i $fe = 1,43 \cdot 20,90$ $= 29,9 \text{ cm}^2$
 en la división x $= 14,6 \text{ cm}$.

Escogemos 8 barras de redondo de 22 mm ϕ en dos filas 5 + 3, y determinamos el valor resultante de "a", contando con un diámetro de los estribos de 10 mm y un recubrimiento del acero de 1,5 cm.

Situación del centro de gravedad de la armadura. (gráfico 19)



(gráfico 19)

$y = \frac{3 \cdot 4,4}{8} = \dots\dots\dots 1,65 \text{ cm}$
 medio diámetro del redondo 1,10 cm
 diámetro de los estribos 1,00 cm
 recubrimiento 1,50 cm
 $a = 5,25 \text{ cm}$

por lo tanto $d_0 = (h + a) = (48,75 + 5,25) = 54,00 \text{ cm}$,
 y se toma $d_0 = 55 \text{ cm}$.

6º Ejemplo. Viga en T de ala ancha, como anteriormente.

Como queda dicho, muchas veces se puede prescindir de aprovechar todo el ancho posible de compresión sin perjuicio para las características económicas de la sección. Con alguna práctica se podría proceder de la manera siguiente en el caso del ejemplo anterior:

Datos:	momento flector M	18400 mkg
	tensión del acero admisible σ_a	1400 kg/cm ²
	anchura del nervio b_0	0,25 m
Hipótesis:	canto de la sección total d_0	55 cm
	canto útil h	50 cm
	ancho de la cabeza de compresión b	1 m

Incógnitas: σ_h , f_e , x .

Método: Habiendo fijado para b un valor hipotético de $1,00 \text{ m} < b_{\text{admis.}}$ no hace falta hacer el cálculo algo pesado del valor b_i .

Como en ejemplos anteriores, se marca el momento con el cursor en la escala A, y se coloca la tensión del hormigón debajo de la raya del cursor.

1º tanteo: $\sigma_h = 45 \text{ kg/cm}^2$ da $\sigma_a / \sigma_h = 31,12$. . . $h = 53 \text{ cm}$

2º tanteo: $\sigma_h = 48 \text{ kg/cm}^2$ da $\sigma_a / \sigma_h = 29,17$. . . $h = 50,5 \text{ cm}$

3º tanteo: $\sigma_h = 48,5 \text{ kg/cm}^2$ da $\sigma_a / \sigma_h = 28,9$. . . $h = 50 \text{ cm}$

y con $\sigma_a / \sigma_h = 28,9$: en división f_e = $1,00 \cdot 29,6 = 29,6 \text{ cm}^2$

en división x = $17,1 \text{ cm}$.

e) Secciones rectangulares con armadura disimétrica a flexión simple.

En los casos donde es preciso reforzar la cabeza de compresión del hormigón, se dispone una armadura adicional que a su vez hace necesario incrementar la zona de tracción para evitar un desplazamiento de la fibra neutra.

Esta armadura adicional ΔFe y Fe' sirve para absorber los momentos que una armadura asimétrica no puede resistir.

Método: Se determina en forma análoga del ejemplo 5º el momento M_1 admisible para la armadura asimétrica, restando su valor del momento M efectivo. La diferencia $\Delta M = (M - M_1 \text{ admisible})$, debe ser absorbida por la armadura adicional.

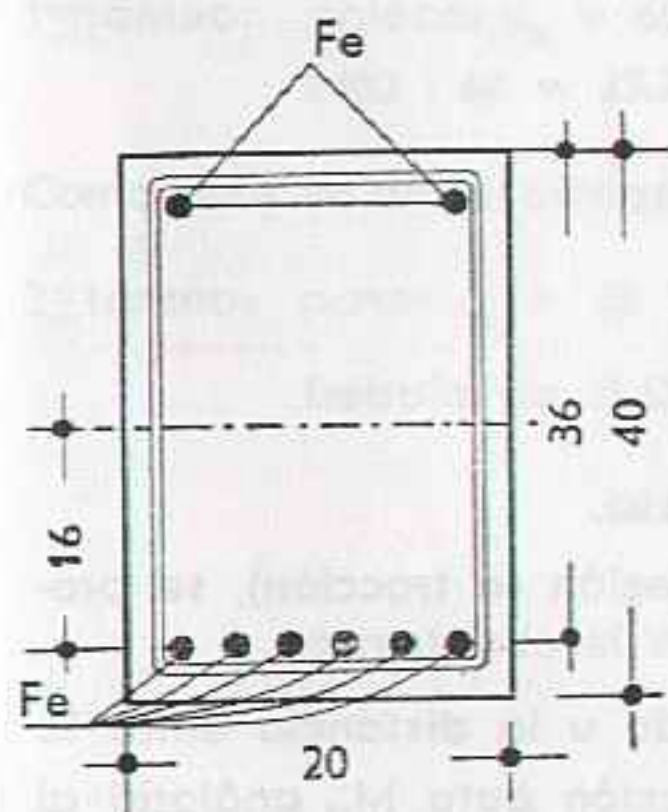
Los redondos necesarios en la zona de tracción se componen, según los momentos, de dos partes ($Fe_1 + \Delta Fe$), calculándose Fe_1 en forma corriente del valor M_1 admisible, mientras

$$\Delta Fe = \frac{\Delta M}{c \cdot \sigma_a}$$

La sección necesaria de la armadura de compresión se obtiene de $Fe' = \frac{\Delta M}{c \cdot \sigma_{a'}}$, deduciéndose el valor $\sigma_{a'}$ de la ecuación:

$$\sigma_{a'} = 15 \sigma_h \frac{x - h'}{x}$$

7º Ejemplo: Supongamos que la sección según el gráfico 20 debe resistir un momento de $M = 3200 \text{ mkg}$.



(gráfico 20)

No es posible un aumento de las dimensiones por razones de la construcción. Las tensiones admisibles deben ser:

$$\begin{aligned} \sigma_a & \dots\dots\dots 1400 \text{ kg/cm}^2 \\ \sigma_h & \dots\dots\dots 60 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Se pide calcular la armadura para las dimensiones dadas.

Operación: Se debe determinar el momento admisible para $\sigma_a / \sigma_h = \frac{1400}{60} = 23,33$ y las dimensiones conocidas, buscando en la regla de cálculo la armadura necesaria.

Marcamos con el cursor en la escala B el valor de $h = 36$ y colocamos encima la relación $\sigma_a / \sigma_h = 23,33$ (división h). Corresponde en la escala fe debajo de 23,33 el valor $Fe_1 = 30,20 \cdot 0,20 = 6,04 \text{ cm}^2$ y en la escala x debajo de 23,33 el valor $x = 14,1 \text{ cm}$.

Hecho esto, se corre el cursor en $\sigma_h = 60 \text{ kg/cm}^2$, que es la compresión admisible

en el hormigón, y se coloca el fin de la división A_1 debajo de la raya del cursor.

Encima de $b = 0,20$ m se lee en la escala A el momento admisible $M_1 = 2650$ mkg.

Resulta el momento adicional

$$M = 3200 - 2650 = 550 \text{ mkg y con } c = 33 \text{ cm} \dots \Delta Fe = \frac{55000}{33 \cdot 1400} = 1,19 \text{ cm}^2$$

La armadura de tracción total es, pues:

$$Fe = Fe_1 + \Delta Fe = 6,04 + 1,19 = 7,23 \text{ cm}^2.$$

Se escogen 5 barras de 14 mm ϕ con $Fe = 7,70 \text{ cm}^2$.

La armadura de compresión será

$$\sigma_{a'} = 15 \cdot 60 \cdot \frac{14,1 - 3}{14,1} = 709 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{y } Fe' = \frac{55000}{33 \cdot 709} = 2,36 \text{ cm}^2$$

Se tomarán 2 barras de 14 mm ϕ con $Fe' = 3,08 \text{ cm}^2$.

La disposición de la armadura está representada en el gráfico 20.

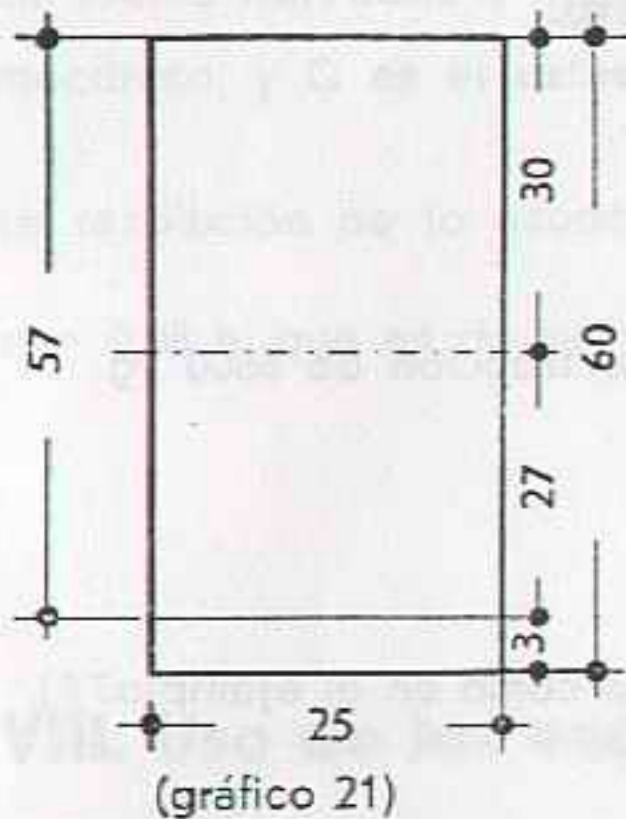
B. Flexión compuesta.

a) Cálculo de secciones rectangulares con armadura asimétrica a flexión compuesta.

Para determinar las dimensiones de una sección rectangular solicitada a flexión y compresión (o tracción), se procede de la manera siguiente:

Se determina el momento $M_u = M + N \cdot u$, ($M_u = M - N \cdot u$, en caso de tracción), siendo u la distancia entre la armadura de tracción y el centro de gravedad, y N el esfuerzo normal; se calcula la sección para M_u análogo al ejemplo 4, se deduce ($N: \sigma_a$) de la sección de la armadura (o se añade, en caso de tracción).

8º Ejemplo:



Datos: el momento flector referido al centro

M 6110 mkg.
 Esfuerzo de compresión N 12000 kg.
 σ_a admisible 1400 kg/cm².

y las dimensiones de la sección, según el gráfico 21, o sean

$$u = 0,30 - 0,03 = 0,27 \text{ m}$$

$$M_u = 6110 + 12000 \cdot 0,27 = 9350 \text{ mkg.}$$

En la escala A se marca 93,50, y se coloca debajo $b = 0,25$.

1º tanteo: colocar $\sigma_h = 60 \text{ kg/cm}^2$ debajo de la raya del cursor. Se halla en la división h para $\sigma_a : \sigma_h = 1400 : 60 = 23,33$ $h = 60,5 \text{ cm}$.

Como este valor es demasiado grande, se vuelve a colocar el cursor en $\sigma_h = 60 \text{ kg/cm}^2$.

2º tanteo: poner $\sigma_h = 65 \text{ kg/cm}^2$ debajo de la raya del cursor y tomar la lectura $\sigma_a / \sigma_h = 1400 : 65 = 21,55$.

Debajo de 21,55 hallamos

en la división h $h = 57 \text{ cm}$.

en la división fe $fe = 54,5 \text{ cm}^2$.

o restando el esfuerzo normal:

$$fe = 54,5 \cdot 0,25 - \frac{12000}{1400} = 5,04 \text{ cm}^2.$$

b) Cálculo de secciones rectangulares con armadura disimétrica a flexión compuesta.

Se calcula M_u en la forma conocida y se dimensiona según el ejemplo 7º.

Al valor f_e hallado, se suma el valor ($N : \sigma_a$) con el signo que corresponda.

9º Ejemplo:

Supongamos que en la sección, según el gráfico 20, actúa un momento $M = 4600 \text{ mkg}$ y una tracción de 5500 kg .

Tendremos

$$M_u = 4600 - 5500 \cdot 0,16 = 3720 \text{ mkg}.$$

Sean las tensiones admisibles: $\sigma_a = 1400 \text{ kg/cm}^2$ y $\sigma_h = 65 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{entonces } \sigma_a / \sigma_h = 1400 : 65 = 21,55$$

En este caso, y con armadura asimétrica, es admisible un momento $M_1 = 2990 \text{ mkg}$ (calculado como en el ejemplo 7º).

En su consecuencia $\Delta M = 3720 - 2990 = 730 \text{ mkg}$.

Para M_1 admisible, será $Fe_1 = 34,4 \cdot 0,20 = 6,88 \text{ cm}^2$, y $\Delta Fe = \frac{73000}{33 \cdot 1400} = 1,58 \text{ cm}^2$.

Considerando el esfuerzo normal, la sección de redondos para la zona de tracción será:

$$f_e = 6,88 + 1,58 + \frac{5500}{1400} = 12,39 \text{ cm}^2.$$

La armadura de compresión será: $\sigma_a' = 15 \cdot 65 \cdot \frac{14,8 - 3}{14,8} = 776 \text{ kg/cm}^2$, y

$$f_e' = \frac{73000}{33 \cdot 776} = 2,85 \text{ cm}^2.$$

VII. Armadura transversal de esfuerzos cortantes.

En forjados, suelos nervados, vigas, vigas en T y vigas cajón, se deben tener en cuenta las tensiones cortantes:

La tensión cortante se calcula de acuerdo con la ecuación

$$\tau_o = \frac{Q}{b_o \cdot z}$$

En suelos nervados y vigas en T, b_o significa la anchura del nervio (en placas y vigas, la anchura), z es el brazo mecánico, y Q es el esfuerzo cortante.

La resolución de la ecuación $\tau_o = \frac{Q}{b_o \cdot z}$ no ofrece dificultades. La única incógnita es (z). Le daremos el valor

$z = 0,88 h$, que es de suficiente exactitud, y tendremos así

$$\tau_o = \frac{Q}{0,88 \cdot h \cdot b_o}$$

VIII. Uso de las escalas en caso de coeficiente "n" diferente.

Las soluciones de los ejemplos precedentes tienen validez solamente, siendo el coeficiente de equivalencia igual a $n = 15$.

Sin embargo, se pueden emplear las escalas de la regla "CASTELL 3/11", para cualquier otra relación de tensiones, procediendo de la siguiente manera:

- 1) No se calcula con la tensión de acero fijada por las normas, o escogida (σ_a), sino con el valor

$$\frac{15}{n} \cdot \sigma_a$$

- 2) La sección de la armadura fe obtenida en este cálculo, debe multiplicarse igualmente con el valor $15 : n$.

Ejemplo: $n = 10$

Datos: momento 11200 mkg
 σ_a 1200 kg/cm²
 σ_h 70 kg/cm²
b (anchura de la cabeza de compresión) 28 cm

Incógnitas: h, fe, x.

Solución: Se determina primero el valor $\frac{15}{n} = \frac{15}{10} = 1,5$

Por lo tanto se debe calcular $\sigma_a = 1200 \cdot 1,5 = 1800$ kg/cm², multiplicando también Fe con 1,5.

Operación: Se marca con el cursor 112,00 en la división A, y se coloca debajo en la escala A₁ el valor b = 28.

Correr el cursor sobre el extremo derecho (100) de la escala A₁ y marcar debajo $\sigma_h = 70$. Marcar con la reglilla.

Buscar en el dorso de la regla el valor de la relación para $\sigma_a / \sigma_h = \frac{1800}{70} = 25,71$ y tomar lectura debajo de este valor:

en la división h h = 59,5 cm
en la división x = 22 cm
en la división Fe (para b = 100) = 42,75 cm²

o sea, multiplicado por la anchura de la viga y el coeficiente "n" diferente (1,5):

$$fe = 42,75 \cdot 0,28 \cdot 1,5 = 17,96 \text{ cm}^2.$$

De la misma manera se puede aplicar cualquier valor del coeficiente "n".

1-4-76
3131
3111



Quien trabaja con **FABER-CASTELL,**
se queda con él