

التقرير النهائي عن

دراسة لأستهلاك الطاقة والتكلفة لمسكن بالطوب
الأحمر الفخاري مقارنة مع مواد البناء الأخرى

مقدمة الى

لجنة الطوب الأحمر الفخاري



معهد البحوث

جامعة الملك فهد للبترول والمعادن

الظهران - المملكة العربية السعودية

عرض دراسة رقم : ٢٢٠٣٧
ان المعلومات التي يتضمنها هذا التقرير هي ملك للمستفيد ويجب ان تؤخذ موافقته المسبقة عندما يراد نشر هذه المعلومات أو أى معلومات أخرى يمتلكها المستفيد . كما يجب على المستفيد أيضا أخذ موافقة معهد البحوث المسبقة عندما يود نشر ملخص أو جزء من هذا التقرير خارج نطاق مؤسسته .

التقرير النهائى عن :

دراسة لاستهلاك الطاقة والتكلفة لمسكن بالطوب الاحمر الفخارى
مقارنة مع مواد البناء الاخرى

مقدمة الى :

لجنة الطوب الاحمر الفخارى

اعداد :

ادارة مصادر الطاقة

معهد البحوث

شوال ١٤١٠

مايو ١٩٩٠

صادق عليه :

د/ عبدالله بن عيسى الدباغ
مدير معهد البحوث



معهد البحوث

جامعة الملك فهد للبترول والمعادن

الظهران - المملكة العربية السعودية

Table A4. Comparison of Initial Investment and Energy Costs (SR)
for Different Types of Building Materials

Material Dimensions (mm.)	Roof*	Material Cost	Machine Cost	Total Initial Cost**	Annual Energy Cost
Clay Bricks (3)	C	13,621	36,000	49,621	19,650
(300x200x200)	H	15,422	32,000	47,422	16,360
Clay Bricks (4)	C	13,621	40,000	53,621	19,950
(40x20x20)	H	15,422	32,000	47,422	16,675
Clay Bricks (6)	C	13,621	36,000	49,621	18,925
(30x20x20)	H	15,422	32,000	47,422	15,700
Concrete Block-1	C	12,402	44,000	56,402	22,570
(400x200x200)	H	14,203	36,000	50,203	19,242
	CH	12,000	36,000	48,000	20,372
Sandlime	C	24,881	48,000	72,881	24,600
(220x65x105)	H	26,682	40,000	66,682	21,218
Prefabricated	C	63,589	50,000	113,589	25,350
Concrete Wall	H	65,390	42,000	107,390	21,904
Siporex	C	25,639	36,000	61,639	18,560
(610x245x200)	H	27,440	32,000	59,440	15,278

* C = Concrete Slab (Cost of wall material + Concrete Slab)

H = Clay Hordi (Cost of wall + clay hordi ceiling)

CH = Concrete Hordi (Cost of wall + concrete block hordi ceiling)

** Total Initial Cost + Material Cost + Airconditioning Machine Cost

Table A3. Required Air-Conditioning System Capacity and Energy Consumption for the Typical House Built by Different Types of Building Materials.

WALL	ROOF					
	Concrete Slab			Hordi		
	A/C Capacity (Tons)	Energy Consumption Total (KWH)	Cooling (KWH)	A/C Capacity (Tons)	Energy Consumption Total (KWH)	Cooling (KWH)
Clay Brick (3)	19	131,000	115,000	16	109,074	87,058
Clay Brick (4)	20	133,000	102,000	16	111,168	88,359
Clay Brick (6)	18	126,162	97,911	16	104,718	84,320
Concrete Block (1)	22	150,460	113,296	18	128,280	99,157
Concrete Block (1)	-	-	-	18*	135,816*	104,052*
Sandlime	24	164,000	122,000	20	141,459	107,253
Prefabric. Conc.	25	169,000	123,000	21	146,026	110,132
Siporex	18	123,739	96,218	16	101,852	82,365

(*) All Hordi roofs are in clay brick except concrete block (1) wall which was repeated with concrete block (5) hordi.

Table A2. Thermal resistance of captive air space for vertical walls at mean temperature 35°C.

Captive Air Space Thickness (mm)	Resistance m ² K/W
25	0.153
50	0.166
75	0.172
100	0.174

Table A1. Physical and thermal properties of building materials.

Type	Nominal Dimen. (cm)	Description	d	AD	TD	SD	Thermal Properties			
							k1	k2	R1	R2
Clay (1)	30*20*10	Regular	10	834	1634	83	0.254	0.440	1.290	0.227
Clay (2)	30*20*15	Regular	15	778	1525	117	0.287	0.497	1.715	0.302
Clay (3)	30*20*20	Regular	20	833	1633	167	0.344	0.595	1.908	0.336
Clay (4)	40*20*20	Regular	20	812	1272	163	0.376	0.650	1.748	0.308
Clay (5)	45*20*20	Hordi	20	722	1449	144	0.348	0.603	1.887	0.332
Clay (6)	30*20*20	Regular	20	690	1577	138	0.272	0.470	2.413	0.425
Clay (7)	24*11*11	---	11	1205	1675	133	0.326	0.564	1.158	0.204
Clay (8)	24*11*17.5	---	17.5	1190	1672	208	0.433	0.750	1.290	0.227
Conc. (1)	40*20*20	Hollow	20	1203	1984	241	0.803	1.389	0.818	0.144
Conc. (2)	40*20*15	Hollow	15	1011	1451	202	0.678	1.173	0.726	0.128
Conc. (3)	40*20*10	Hollow	10	1827	2324	183	0.555	0.960	0.590	0.104
Conc. (4)	40*20*10	Solid	10	2122	2122	212	0.704	1.219	0.465	0.082
Conc. (5)	37*20*20	Hordi	20	1083	2303	217	0.631	1.092	1.039	0.183
Sandlime	24*11.5*17.5	Hollow	17.5	1510	1795	264	0.634	1.097	0.903	0.159
Sandlime	22*6.5*10.5	Solid	10.5	1864	1864	196	0.650	1.125	0.530	0.093
Prefabric.	-----	Solid	10	2245	2245	224	0.783	1.355	0.419	0.074
Siporex	61*24.5*20	Solid	20	633	633	127	0.221	0.383	2.963	0.521
Cement-Plaster	61*61*1.3	Solid	1.3	1682	1682	22	0.460	0.797	0.091	0.016

d = Thickness, cm;

AD = True density, Kg/m³;

TD = Thermal conductivity, Btu/hr.ft.² °F;

SD = Thermal resistance, hr.ft.² °F/Btu;

AD = Apparent density, Kg/m³;

SD = Surface density, Kg/m²;

k2 = Thermal conductivity, W/m²°K;

R2 = Thermal resistance, m²K/W

12. Hittle, D. C. (1979). *Building Loads Analysis and Systems Thermodynamics (BLAST)*. U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, Illinois, USA.
13. DOE (1980). *DOE-2 BDL Summary - Users Guide*. U.S. Department of Energy (1980).
14. Wagner, B. S. and A. H. Rosenfeld (1981). *A Summary Report of Building Energy Compilation and Analysis (BECA) Part V; Validation of Energy Analysis Computer Programs*. Lawrence Berkeley Laboratory Report, LBL-14838, Berkeley, CA.
15. Bahel, V., S. Said, and M. Abdelrahman (1989). Validation and a microcomputer based hourly energy analysis computer program for a residential building. *Intern. Journ. Energy*, v. 14, no. 4, pp. 215-221.
16. W. Grondzik, A. Al-Hammad, and N. Harm (1989). *Thermal and Economic Performance of Insulation for Saudi Buildings*. Third Progress Report., King Abdulaziz City Sci. Techn., Third Progress Report. AR-8-049.

SECTION 5 REFERENCES

1. KFUPM/RI (1989). *Simulation of energy and cost-effectiveness studies for residential buildings built from clay bricks versus other masonry construction*. Prepared for Committee of Clay Brick Producers in Saudi Arabia (1989), Report Project No. 22037.
2. Saudi Arabia (1985). Energy consumption in Saudi Arabia, 1983, and future trends. *Proc. Third Arab Energy Conf.*, National Paper, May 1985.
3. SCECO (1985). *Power Consumption in Dammam*. Private Communication from Saudi Consolidated Electric Co.
4. KFUPM/RI (1986). *Energy Conservation on the Campus of King Fahd University of Petroleum and Minerals*. Division of Energy Resources, Research Institute, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Interim Report No.1, PN12031 (1986).
5. ASTM. *Standard Test Method for Steady State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus*. American Soc. Testing Materials, C-177.
6. Dynatech. *Guarded-hot-plate thermal conductance measuring system*. Dynatech Model TCFG-R4-6, Dynatech R/D Company.
7. Kusuda, T. and F.J. Powell (1972). Use of Modern Computer Programs to Evaluate Dynamic Heat Transfer and Energy Use Process in Building. National Bureau of Standards Special Publication 361 Vol.1: *Proceedings of the Joint RILEM-CIM Symposium*, May 2-5, Philadelphia, USA.
8. Kusuda, T. (1974). *NBSLD Computer Program for Heating and Cooling Loads in Buildings*. NBS Report NBSIR 74-574, November.
9. Walsh, P. J., J. W. Spencer, and T. A. Gurr (1980). *Descriptive Guide for Programs Step: Thermal Performance of Buildings*. Division of Buildings, CSIRO, Melbourne, Australia.
10. Kuramochi, S. (1970). An Example of Heating and Cooling Load Calculation Method of Air-Conditioning of Buildings by Digital Computer. *Proc. Internat. Conf. Use of Computer for Environmental Engineering Related to Buildings*, National Bureau of Standards, May 30-Dec. 2, Gaithersburg, Maryland, USA,
11. Hunn, B. D. (1979). The DOE-2 Computer Program for Building Energy Analysis. *Presented at the Conservation/Energy Management by Design Confernce*, March 1979, El Paso, Texas, USA.

الشكل ١٠ - علاقة استهلاك الطاقة بين مواد البناء المختلفة والطوب الاحمر الفخارى

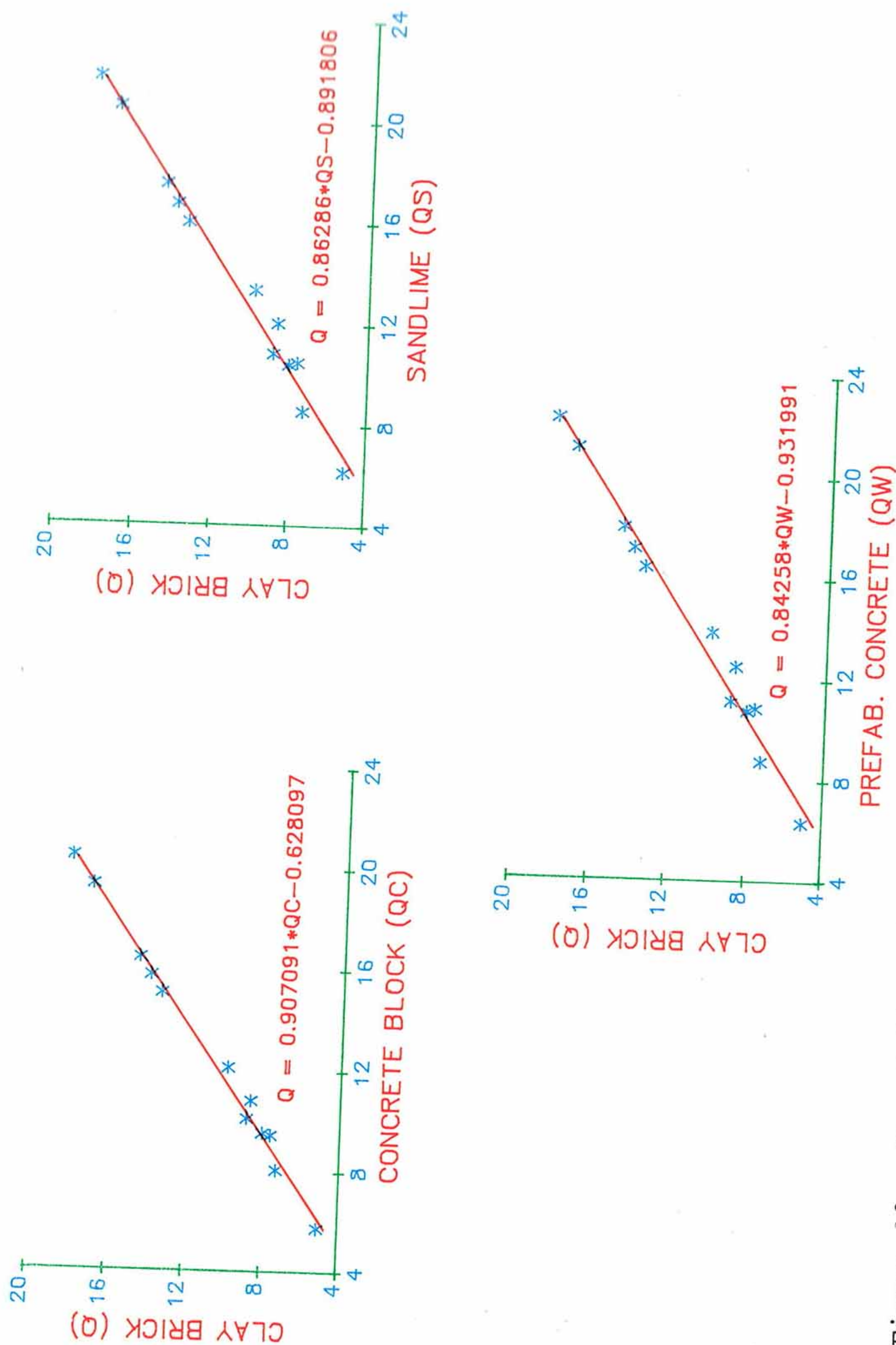


Figure 10. Correlation of monthly energy consumption (MWh) for building materials with clay brick.

الشكل ٩ - الطاقة الكلية المستهلكة لحوائط مواد البناء المختلفة بالسقف الاسمنتي مقارنة مع سقف الهوردي

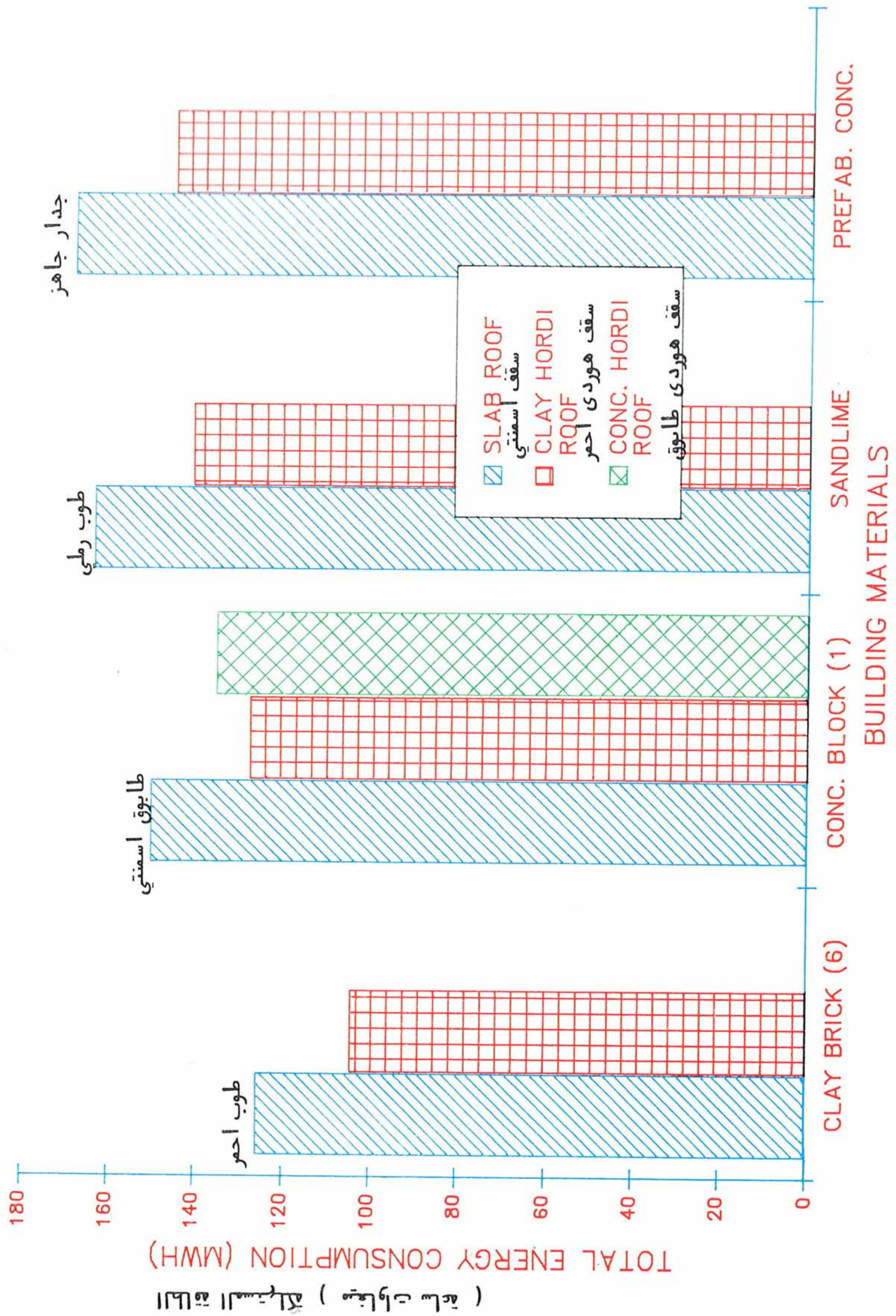


Figure 9. Total energy consumption for different wall materials with slab roof compared to hordi roof.

الشكل ٨ حجم جهاز التكييف لحوائط مواد البناء المختلفة لسقف
اسمنتي مقارنة مع سقف الهوردي

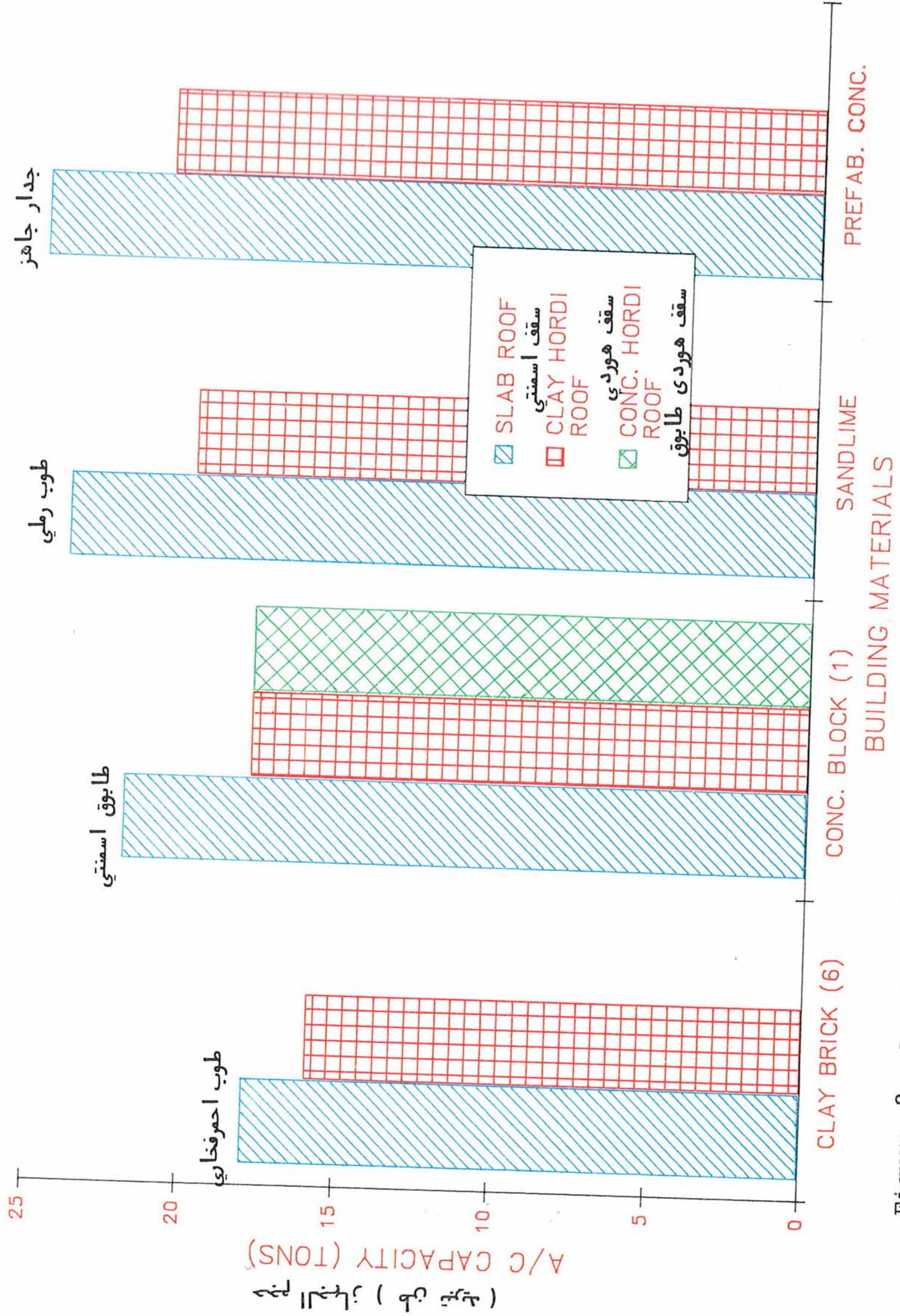


Figure 8. Capacity of air-conditioning systems for different wall materials with slab roof compared to hordi roof.

Table 5. Comparison of initial investment and energy costs (SR) for different types of building materials.

Material Dimensions (mm.)	Roof	Material Cost*	Machine Cost	Total Initial Cost**	Annual Energy Cost
Clay Bricks (6)	C	13,622	36,000	49,622	18,925
(30x20x20)	H	15,422	32,000	47,422	15,700
Concrete Block-1	C	12,403	44,000	56,403	22,570
(400x200x200)	H	14,203	36,000	50,203	19,242
	CH	12,000	36,000	48,000	20,372
Sandlime	C	24,882	48,000	72,882	24,600
(220x65x105)	H	26,682	40,000	66,682	21,218
Prefabricated	C	63,590	50,000	113,590	25,350
Concrete Wall	H	65,390	42,000	107,390	21,904

* C = Concrete Slab (Cost of wall + concrete Slab)

H = Clay Hordi (Cost of wall + clay hordi ceiling)

CH = Concrete Hordi (Cost of wall + Concrete block hordi ceiling)

** Total Initial Cost = Material Cost + Airconditioning Machine Cost

الجدول (٥)

مقارنة التكلفة واستهلاك الطاقة لأنواع مواد البناء المختلفة بالريالات

مادة البناء وابعادها (مم)	نوع السقف (x)	تكلفة المواد	تكلفة جهاز التبريد	التكلفة الكلية (x)	تكلفة الطاقة
طوب احمر فخاري	اسمنتى	١٣ر٦٢٢	٣٦.٠٠٠	٤٩ر٦٢٢	١٨٩٢٥
(٢٠ X ٢٠ X ٣٠)	هوردى احمر	١٥٤٢٢	٣٢.٠٠٠	٤٧٤٢٢	١٥٧٠٠
طابوق اسمنتى	اسمنتى	١٢ر٤٠٣	٤٤.٠٠٠	٥٦ر٤٠٣	٢٢٥٧٠
(٢٠٠ X ٢٠٠ X ٤٠٠)	هوردى احمر	١٤٢٠٣	٣٦.٠٠٠	٥٠٢٠٣	١٩٢٤٢
	هوردى اسمنتى	١٢.٠٠٠	٣٦.٠٠٠	٤٨.٠٠٠	٢٠٣٧٢
طوب رملى	اسمنتى	٢٤ر٨٨٢	٤٨.٠٠٠	٧٢ر٨٨٢	٢٤٦٠٠
(١٠٥ X ٦٥ X ٢٢٠)	هوردى احمر	٢٦٦٨٢	٤.٠٠٠	٦٦٦٨٢	٢١٢١٨
جدار مسبق الصنع	اسمنتى	٦٣ر٥٩٠	٥.٠٠٠	١١٣ر٥٩٠	٢٥٣٥٠
	هوردى احمر	٦٥٣٩٠	٤٢.٠٠٠	١٠٧٣٩٠	٢١٩٠٤

(*) هوردى احمر = هوردى من الطوب الاحمر الفخارى

هوردى اسمنتى = هوردى من الطابوق الاسمنتى

(*) التكلفة الكلية : هى تكلفة مواد البناء للحائط والسقف أو الهوردى مضافاً إليها جهاز التبريد .

Table 5. Comparison of initial investment and energy costs (SR) for different types of building materials.

Material Dimensions (mm.)	Roof	Material Cost*	Machine Cost	Total Initial Cost**	Annual Energy Cost
Clay Bricks (6)	C	13,622	36,000	49,622	18,925
(30x20x20)	H	15,422	32,000	47,422	15,700
Concrete Block-1	C	12,403	44,000	56,403	22,570
(400x200x200)	H	14,203	36,000	50,203	19,242
	CH	12,000	36,000	48,000	20,372
Sandlime	C	24,882	48,000	72,882	24,600
(220x65x105)	H	26,682	40,000	66,682	21,218
Prefabricated	C	63,590	50,000	113,590	25,350
Concrete Wall	H	65,390	42,000	107,390	21,904

* C = Concrete Slab (Cost of wall + concrete Slab)

H = Clay Hordi (Cost of wall + clay hordi ceiling)

CH = Concrete Hordi (Cost of wall + Concrete block hordi ceiling)

** Total Initial Cost = Material Cost + Airconditioning Machine Cost

الجدول (٥)

مقارنة التكلفة واستهلاك الطاقة لأنواع مواد البناء المختلفة بالريالات

مادة البناء وابعادها (مم)	نوع السقف (x)	تكلفة المواد	تكلفة جهاز التبريد	التكلفة الكلية (x)	تكلفة الطاقة
طوب احمر فخاري	اسمنتى	١٣٦٢٢	٣٦٠٠٠	٤٩٦٢٢	١٨٩٢٥
(٢٠ X ٢٠ X ٣٠)	هوردى احمر	١٥٤٢٢	٣٢٠٠٠	٤٧٤٢٢	١٥٧٠٠
طابوق اسمنتى	اسمنتى	١٢٤٠٣	٤٤٠٠٠	٥٦٤٠٣	٢٢٥٧٠
(٢٠ X ٢٠ X ٤٠)	هوردى احمر	١٤٢٠٣	٣٦٠٠٠	٥٠٢٠٣	١٩٢٤٢
	هوردى اسمنتى	١٢٠٠٠	٣٦٠٠٠	٤٨٠٠٠	٢٠٣٧٢
طوب رملى	اسمنتى	٢٤٨٨٢	٤٨٠٠٠	٧٢٨٨٢	٢٤٦٠٠
(١٠٥ X ٦٥ X ٢٢)	هوردى احمر	٢٦٦٨٢	٤٠٠٠٠	٦٦٦٨٢	٢١٢١٨
جدار مسبق الصنع	اسمنتى	٦٣٥٩٠	٥٠٠٠٠	١١٣٥٩٠	٢٥٣٥٠
	هوردى احمر	٦٥٣٩٠	٤٢٠٠٠	١٠٧٣٩٠	٢١٩٠٤

(*) هوردى احمر = هوردى من الطوب الاحمر الفخارى

هوردى اسمنتى = هوردى من الطابوق الاسمنتى

(*) التكلفة الكلية : هى تكلفة مواد البناء للحائط والسقف أو الهوردى مضافاً إليها جهاز التبريد .

Table 4. Required air-conditioning system capacity and energy consumption for the typical house built of different types of building materials.

WALL	ROOF					
	Concrete Slab			Hordi		
	A/C Capacity (Tons)	Energy Consumption Total (KWH)	Cooling (KWH)	A/C Capacity (Tons)	Energy Consumption Total (KWH)	Cooling (KWH)
Clay Brick (6)	18	126,162	97,911	16	104,718	84,320
Concrete Block (1)	22	150,460	113,296	18	128,280	99,157
Concrete Block (1) [*]	-	-	-	18 [*]	135,816 [*]	104,052 [*]
Sandlime	24	164,000	122,000	20	141,459	107,253
Prefabric. Conc.	25	169,000	123,000	21	146,026	110,132

(*) All Hordi roofs are in clay bricks except concrete block (1) wall which was repeated with concrete block (5) hordi.

الجدول ٤

حجم جهاز التبريد وكميات استهلاك الطاقة

اسم		وردى		الحائط	
جهاز التكييف		جهاز التكييف		جهاز التكييف	
(طن تبريد)		(طن تبريد)		(طن تبريد)	
السنوي	الصيف	السنوي	الصيف	السنوي	الصيف
١٨	١٢٦١٦٢	٩٧٩١١	١٦	١٠٤٧١٨	٨٤٣٢٠
٢٢	١٥٠٤٦٠	١١٣١٩٦	١٨	١٢٨٢٨٠	٩٩١٥٧
—	—	—	١٨	١٣٥٨١٦	١٠٤٠٥٢
٢٤	١٦٤٠٠٠	١٢٢٠٠٠	٢٠	١٤١٤٥٩	١٠٧٢٥٣
٢٥	١٦٩٠٠٠	١٢٣٠٠٠	٢١	١٤٦٠٢٦	١١٠١٣٢

(*) الهوردى من الطوب الأحمر الفخارى فى جميع الحالات ماعدا حالة الطابوق الاسمنتى فانها جربت بهوردى طابوق اسمنتى كذلك.

Table 3. Schedules.

	<i>\$ Occupancy Schedule</i>
DC1-D = Day-Schedule	\$ Schedule for week days (1,7) (1.0) (8,12) (0.5) (13) (1.0) (14,16) (0.5) (17,19) (1.0) (20,22) (0.8)
DC2-D = Day-Schedule	\$ Schedule for weekends (1,7) (1.0) (8,12) (0.5) (13) (1.0) (8,12) (0.5) (17,20) (0.1) (21,24) (1.0)
DC1-W = Week-Schedule	(MON,WED) DC1-D (THU,FRI) DC2-D (SAT,SUN) DC1-D (HOL) DC1-D
DC1 = Schedule	Thru Dec. 31 - DC1-W
	<i>\$ Infiltration Schedule</i>
INF1 = Schedule	Thru Dec. 31 (ALL) (1,24) (1)
	<i>\$ A/C Schedule</i>
HEAT-1 = Schedule	Thru Dec. 31 (ALL) (1,24) (75)
COOL-1 = Schedule	Thru Dec. 31 (ALL) (1,24) (75)

Table 2. Characteristics of building, system, and operating conditions for the typical house.

No.	Characteristics	Base Condition
1	Shape and size	Rectangular Plan
2	Ceiling height	3.3 m
3	External walls	12.7 mm plaster + 12.7 mm plaster
4	Glass area	13.29% of wall area
5	Type of glass	Single pane
6	Floor	Slab on grade
7	Ceiling	9.53 mm membrane + 150 mm concrete slab + 12.7 mm plaster
8	People	6
9	Infiltration rate	Residential
10	Thermostat type	Proportional
11	Thermostat setting	24°C for cooling and heating
12	Average COP of cooling system	2.2

الجدول رقم ٢

خصائص المبنى وجهاز التبريد وظروف التشغيل

البند	المشروع	الوضع الاساسى
١	الشكل والحجم	مكعب
٢	ارتفاع السقف	٣ر٣ متر
٣	الجدران الخارجية	١٢ر٧ مم بلاستر
٤	مساحة الزجاج	٢٩ر١٣٪ من المساحة الجدران
٥	نوع الزجاج	طبقة واحدة
٦	ارضية	اسمنت مسلح على القريد
٧	عدد السكان	٦
٨	تسرب الهواء	منزلى
٩	التحكم	بطريقة نسبية
١٠	درجة الحرارة الداخلية	٢٤ درجة مئوية طوال العام
١١	متوسط كفاءة جهاز التبريد	٢ر٢

The above simulation of energy consumption was made by the weather data of Dhahran. How can the results of Dhahran be applied in other cities of the Kingdom? To answer this question, the monthly energy consumption for one of the four types of building materials were obtained. Correlations of monthly energy consumption between clay bricks and sandlime bricks, concrete blocks, and prefabricated concrete walls were made. The correlations were linear (Figure 10) and showed that a house built of clay bricks consumes less energy (at least 9 percent) than a house built of concrete blocks.

The above discussion shows the advantage of the proper selection of building materials on an individual level. Since electric energy is subsidized in the Kingdom of Saudi Arabia, the result on the National level will be reduction of operation and maintenance costs of existing systems, as well as reduction of investment in future power stations. As power generation is mainly by the burning fossil fuels, less energy consumption will have a positive impact on the efforts to reduce air pollution.

إن هذه الدراسة قد اوضحت أهمية اختيار مواد البناء على المستوى الفردي . وبما أن الطاقة الكهربائية مدعومة من قبل الدولة فان نتائج هذه الدراسة تدل على أن الاختيار الصحيح لمواد البناء سيؤدي الى تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية على المستوى القومي وبالتالي تقليل المنصرفات على التشغيل والصيانة وتقليل تكلفة محطات التوليد في المستقبل . هذا بجانب تأثيره الايجابي على البيئة .

where P is the difference in initial investment in Saudi Riyals and A is the cost of annual energy savings in Saudi Riyals. The payback period considered with money discount becomes:

$$n = \log [A/(A-iP)]/\log(1+i) \quad (2)$$

where i is the discount rate (%/100). The option having the shorter payback period is usually the preferred investment.

Table 5 shows the initial cost of material and the air-conditioning system as well as the annual cost of electric energy. Since a clay brick house has the lowest initial and running costs among the four types of building material, there was no need to calculate the payback period in order to show the cost effectiveness of buildings in clay bricks.

SECTION 4 RESULTS AND DISCUSSION

The KFUPM/RI project team carried out the tasks in Section 2 and completed the required work. Measured values of thermal conductivity for clay bricks ranged between 0.440 W/m²K (0.254 Btu/hr ft²F) and 0.750 W/m²K (0.433 Btu/hr ft²F) while the thermal conductivity of concrete blocks, sandlime bricks and prefabricated wall ranged between 0.960 W/m²K (0.555 Btu/hr ft²F) and 1.389 W/m²K (0.803 Btu/hr ft²F) (Tables 1a and 1b). This means that the highest thermal conductivity in clay brick products is lower than the lowest thermal conductivity of the other three building materials by about 22 percent. The most commonly used type of clay bricks (Clay-6 in Table 1b) has a thermal conductivity which is 58 percent less than the lowest thermal conductivity of the other three materials. Since thermal resistance is inversely proportional to thermal conductivity, clay bricks have higher thermal resistance.

The effect of high thermal resistance of clay bricks is demonstrated by the lower air-conditioning machine capacity and annual energy consumption reported in Table 4. The same results are shown graphically on Figures 8-9. More types of building materials are reported in the Appendix.

The comparison of the initial and annual energy costs of the same house between clay bricks, concrete blocks, sandlime bricks and prefabricated concrete wall (Table 5) shows that a house built of clay bricks has the lowest total initial and energy costs. If clay bricks are compared with concrete blocks, which is the second cheapest building material tested, a savings of 13 percent of the total initial cost and about 15 percent of the annual energy cost can be made. Although the use of clay brick will add to the material cost, it will reduce electrical energy costs of the clay brick house by 17 percent and that of the concrete block house by 15 percent.

نتائج الدراسة :

لقد قام فريق البحث التابع لمعهد البحوث بجامعة الملك فهد للبترول والمعادن باكمال الدراسة حسب ماهو وارد في نص المشروع وقد اظهرت النتائج أن الموصلية الحرارية للانواع المختلفة من الطوب الاحمر الفخاري تقع بين ٤٤ ر. واط/كلفن م (٢٥٤ ر. وحدة بريطانية/ساعة فهرنهايت قدم) و ٧٥٠ ر. واط/كلفن م (٤٣٣ ر. وحدة بريطانية/ساعة فهرنهايت قدم) بينما تتفاوت الموصلية الحرارية للطابوق الاسمنتي والطوب الرملي والجدار المسبق الصنع بين ٩٦٠ ر. واط/كلفن م (٥٥٥ ر. ومدى بريطانية/ساعة فهرنهايت قدم) و ١٣٨٩ ر. واط/كلفن م (٨٠٣ ر. وحدة بريطانية/ساعة فهرنهايت قدم) (الجدول ١-أ و ١-ب) ويعنى هذا أن أعلى موصلية حرارية للطوب الاحمر الفخارى يقل عن اقل موصلية حراريه للمواد الاخرى بحوالى ٢٢٪. أن الطوب الاحمر الفخارى الاكثر استعمالا تقل موصليته الحرارية بحوالى ٥٨٪ عن اقل موصلية حرارية فى المواد الثلاث الاخرى (طوب احمر فخارى - ٦ الجدول ١-أ و ١-ب). وبما أن المقاومة الحرارية هى النسبة العكسية للموصلية الحرارية فان الطوب الاحمر الفخارى يمتاز بمقاومة حرارية أعلى .

ان اثر ارتفاع المقاومة الحرارية للطوب الاحمر الفخارى يظهر جليا فى صغر حجم جهاز التكييف وقلة استهلاك الكهرباء السنوي (الجدول ٤ والشكل ٨ و ٩) والملحق يعطي انواع اخرى من مواد البناء .

ان مقارنة التكلفة الاولى وتكلفة استهلاك الطاقة (الجدول ٥) توضح تميز الطوب الاحمر الفخارى عن الطابوق الاسمنتي والطوب الرملي والجدار المسبق الصنع بانه الاقل تكلفة . فمثلا اذا قارنا الطوب الاحمر الفخارى بالطابوق الاسمنتي وهو الاقل تكلفة بين المواد الثلاث الاخرى فاننا نرى أنه بالامكان توفير ١٣٪ من قيمة التكلفة الاولى و ١٦٪ من تكلفة الطاقة . وبالرغم من زيادة التكلفة الاولى عند استعمال هوردي الطوب الاحمر الفخارى فانه يقلل استهلاك الطاقة بحوالى ١٧٪ اذا استعمل مع جدار من الطوب الاحمر الفخارى و ١٥٪ مع جدار من الطابوق الاسمنتي .

بما أن هذه الدراسة اجريت بالظروف المناخية لمنطقة الظهران فان السؤال الطبيعى هو كيف يمكننا استنتاج المقارنة بالنسبة للمناطق الاخرى فى المملكة ؟ للإجابة على هذا السؤال قمنا بدراسة العلاقة للاستهلاك الشهري للمنزل النموذج اذا تم بناؤه بكل من المواد الاربعة واستنتجنا علاقة رياضية كما هو موضح على الشكل ١٠. ونرى أنه بالامكان توفير حوالى ٩٪ من الطاقة المستهلكة فى التوسط بالنسبة للاماكن الاخرى .

تحليل التكلفة :-

ان الهدف من هذه الدراسة هو توضيح تكلفة المبنى بالطوب الأحمر الفخارى مقارنة بالطابوق الاسمنتي والجدار الاسمنتي المسبق الصنع والطوب الرملي . هذه المقارنة مبنية على تكلفة المواد وجهاز التبريد معاً كتكلفة اولية . وتكلفة الطاقة المستهلكة كتكلفة تشغيل . اما تكاليف الصيانة فلم تؤخذ فى الاعتبار .

ويمكن مقارنة هذه التكاليف اما بحساب الاسترجاع المبسط وهو تقدير زيادة التكلفة الاولى سنوياً (المعادلة رقم ١) او بحساب الاسترجاع المركب وهنا تؤخذ سعر الفائدة على فارق التكلفة الاولى (المعادلة رقم ٢) .

ويوضح الجدول ٥ التكلفة الاولى للمواد وجهاز التكييف بالاضافة الى تكلفة استهلاك الكهرباء سنوياً وبما ان المبنى من الطوب الاحمر الفخارى هو اقلهم تكلفة فى البناء والتشغيل فلا حوجة لنا باجراء الحسابات لايجاد مدة استرجاع الزيادة التكلفة .

3.2.3 Input Data

A computer program requires a computational program, which is the DOE-2.1A in the present case and input data. The input data describes the specific building and HVAC system the user wants to model, in addition to the indoor temperature and humidity conditions and the outdoor weather conditions. The schedules for occupancy, lighting and appliances must be given. If a value is not specified, the BDL processor assigns an assumed (default) value, which will appear in the listing of the input data.

In this study, the building was oriented with the longer side in the north-south direction. The geometrical dimensions are shown in Figure 4. Input data for wall and roof construction is shown in Figure 5. Characteristics of the building, the system, and operation conditions are given in Table 2. Schedules for occupancy, infiltration, and air-conditioning are given in Table 3. Lighting was not considered in this study. The Dhahran weather file for 1985 was used for weather data input. Thermal conductivity and density for the four types of building materials were taken from Table 1. In view of the purpose of the study, all input data were kept the same for all runs except thermal conductivity, density, and specific heat of the building material, which were changed according to the selected material. The results are reported in Table 4. They show the capacity of the required air-conditioning system to all the house for each type of building material for a concrete slab roof with and without a Hordi ceiling. It also shows the annual electric energy consumption as well as the energy consumption for cooling.

3.3 COST ANALYSIS

The objective of this study was to demonstrate the cost-effectiveness of the model house if it was built of clay bricks versus the other three types of building materials (i.e., concrete blocks, prefabricated cement walls, and sandlime bricks). The comparison is based on the initial investment in the bone of the building, the installed air-conditioning system, and the energy consumption as obtained by the DOE-2 computer program. Maintenance cost is not considered.

The payback period method was used in this study. Payback period is the time required to repay an investment by yearly profit or gain. In this case, investment is the difference in the initial costs of the options and gain the reduction in energy cost. A simple payback period may be calculated by not considering the discount rate of the investment. A more refined way is to take into account the effective cost of the money by considering the discount rate. Then the simple payback period (n) in years is:

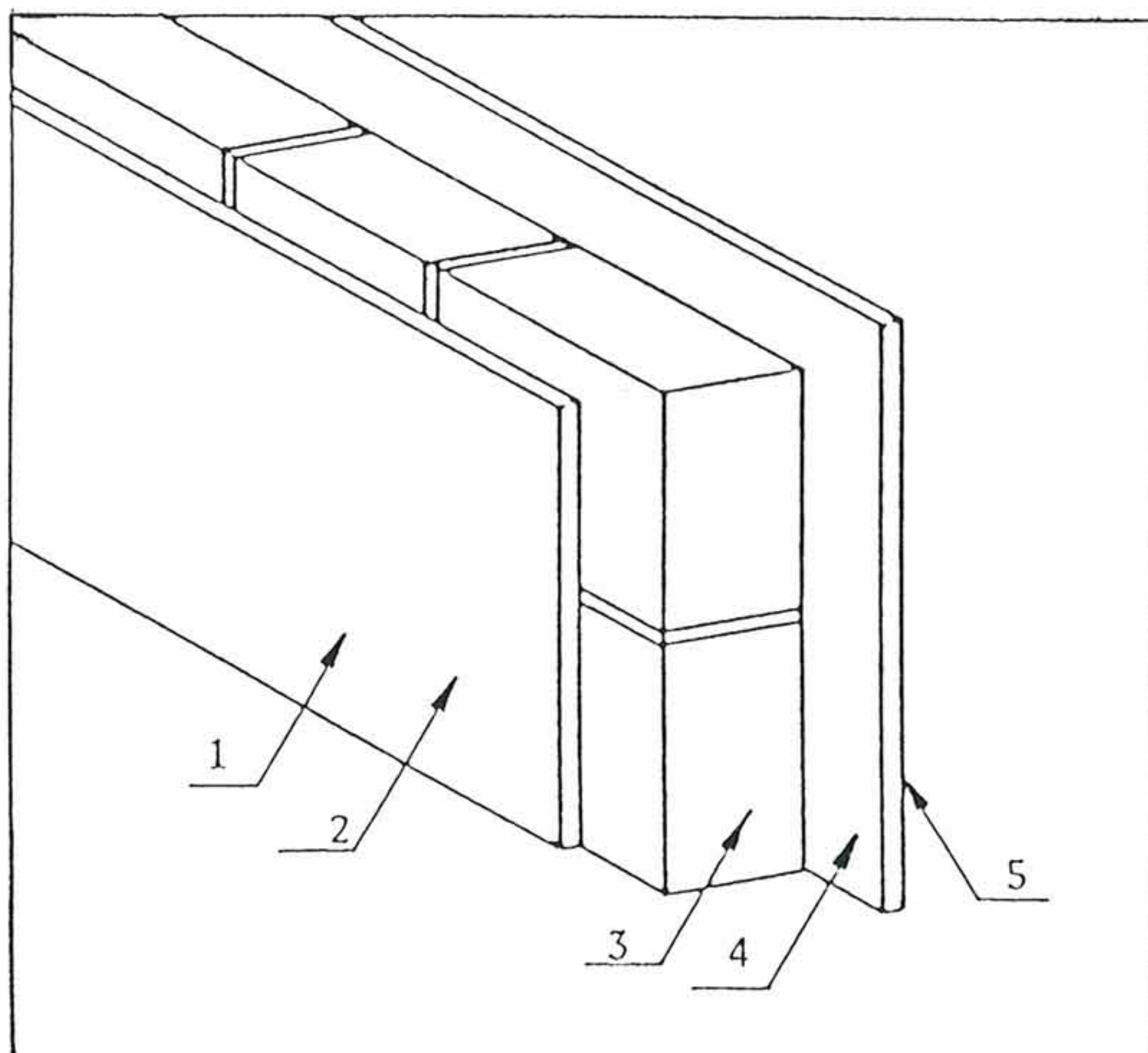
$$n = P/A \quad (1)$$

المعلومات لبرنامج الكمبيوتر :

فى هذه الدراسة احتجنا الى برنامج الكمبيوتر وهو البرنامج -DOE 2.1A والمعلومات الضرورية لتشغيل هذا البرنامج . وهذه المعلومات تتكون من خواص المبنى قيد الدراسة ونظام التبريد ودرجات الحرارة والرطوبة الداخلية بجانب معلومات الطقس الخارجى . ونحتاج كذلك الى جداول تشغيل الاضاءة والاجهزة وزمان وجود الساكنين فى المنزل . واذا لم تعط هذه المعلومات فان البرنامج يفترضها من مخزونه من المعلومات ولكننا نستطيع التحقق منه من القائمة التى تطبع مع النتائج .

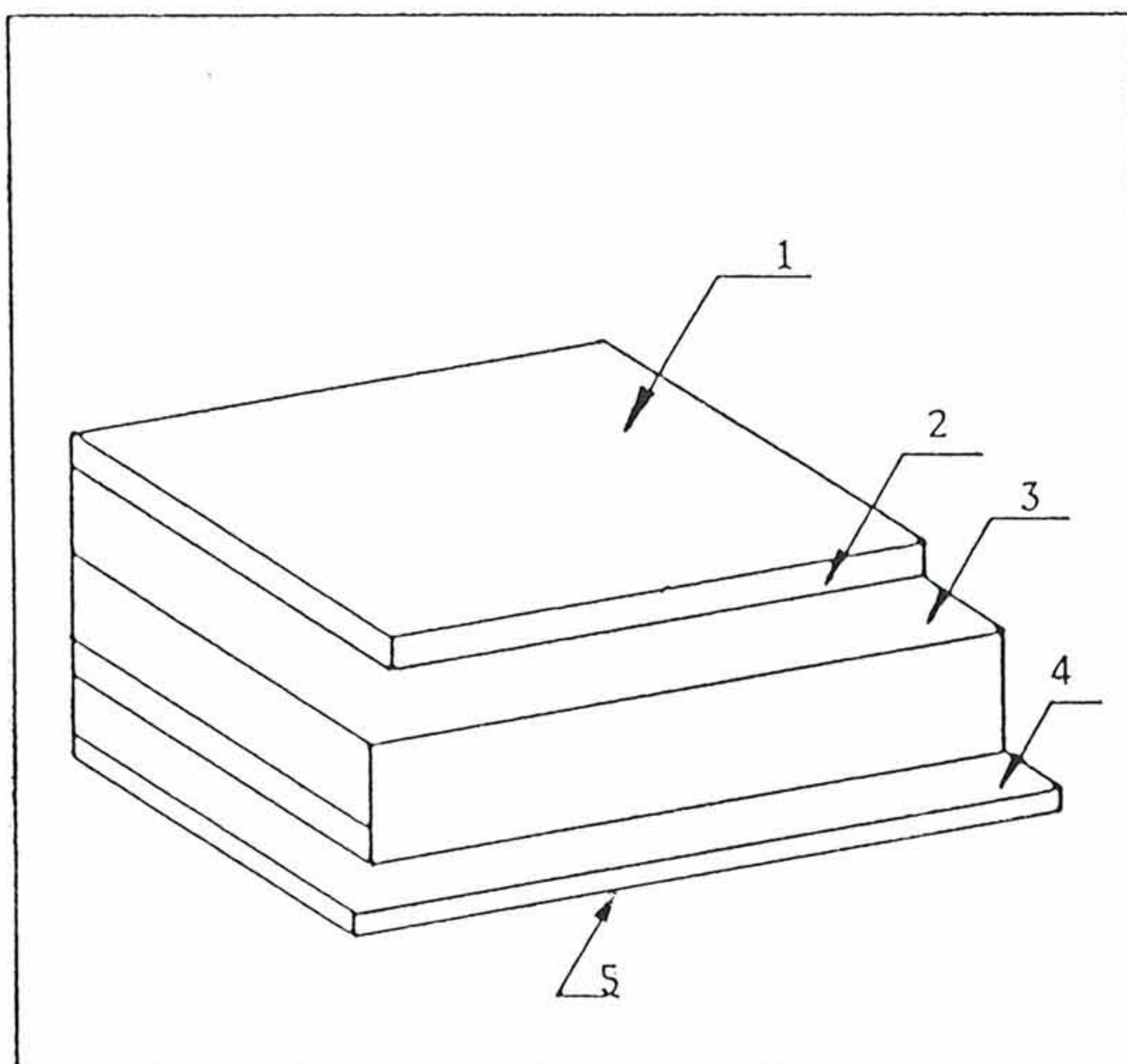
تم وضع المبنى بالطول من الشمال الى الجنوب ويوضح الشكل ٦ ابعاده أما تصميم الجدران والاسقف فموضح على الشكل ٧ . ويوضح الجدول ٢ الخواص الاخرى للمنزل وجهاز التبريد ونظام التشغيل . اما جداول تواجد الساكنين وتسرب الهواء والتشغيل فموضحة فى الجدول ٣ . ولم يؤخذ تأثير الاضاءة فى الحساب فى هذه الدراسة . اما معلومات الطقس الخارجى فهى لمدينة الظهران لعام ١٩٨٥ م . وتم استعمال معلومات الموصلية الحرارية للمواد الاربعة قيد الدراسة من الجدول ١ . وعلى ضوء الهدف المرسوم للدراسة فان جميع المعلومات تركت دون تغيير للمواد الاربعة ماعدا الموصلية الحرارية والكثافة والعامل الحرارى . ويجدر الاشارة ان الدراسة شملت سقف الهوردى بالطوب الاحمر الفخارى لكل المواد الاربعة على الجدران ماعدا الطابوق الاسمنتى الذى جرب مع هوردى الطابوق الاسمنتى وهوردى الطوب الاحمر الفخارى كل على حده .

النتائج موضحة على الجدول ٤ وهو يحتوى على حجم جهاز التكييف والطاقة المستهلكة لكل نوع من انواع المواد الاربعة بسقف من الاسمنت او بهوردى الطوب الاحمر الفخارى ثم جدار من الطابوق الاسمنتى مع سقف هوردى من الطابوق الاسمنتى .



- 1 Air film
- 2 Plaster
- 3 Masonry unit
- 4 Plaster
- 5 Air film

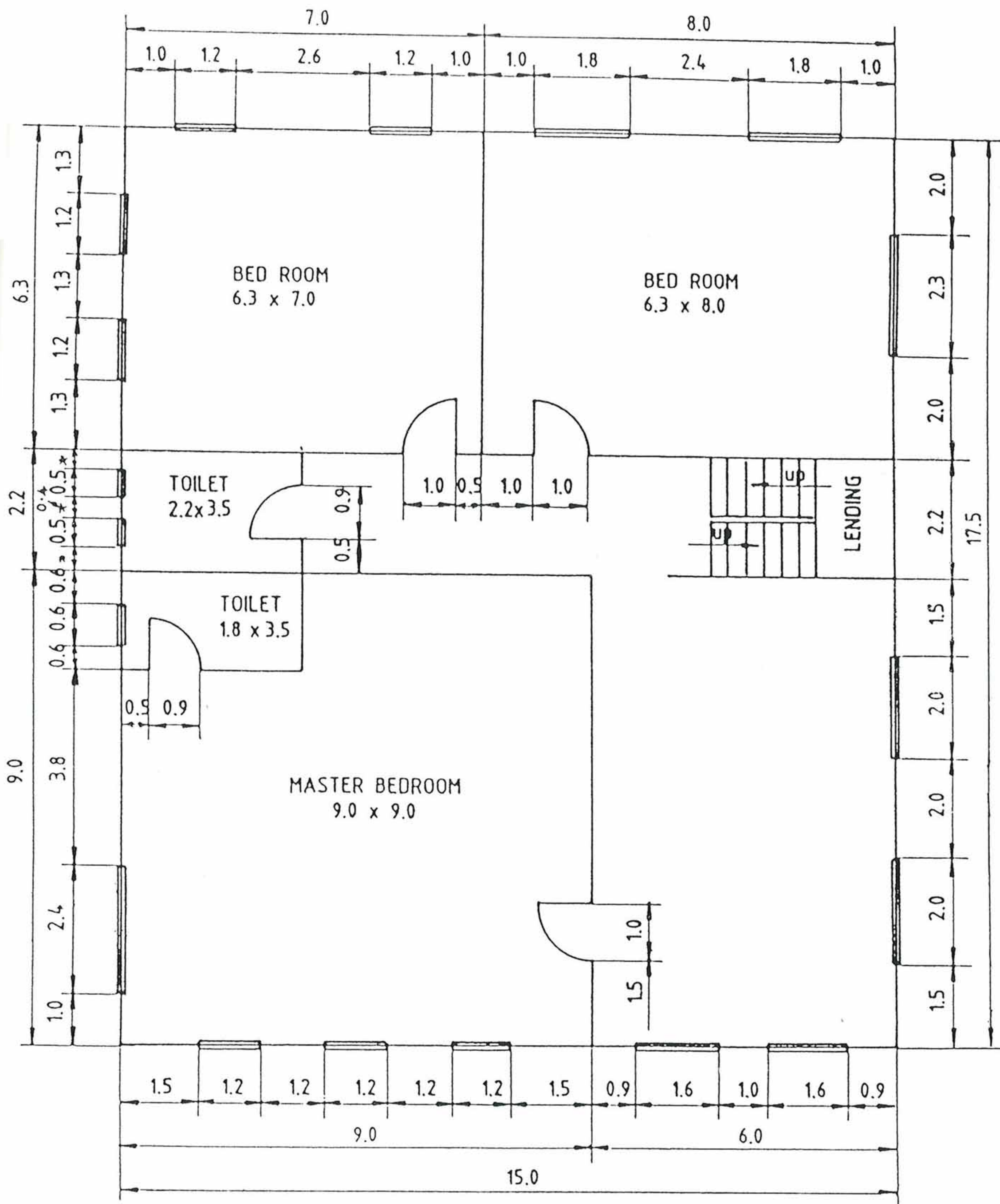
Wall الجدار



- 1 Air film
- 2 Membrane
- 3 Masonry unit
- 4 Plaster
- 5 Air film

Roof السقف

Figure 7 Wall and roof construction.
الشكل ٧ - تصميم الجدار والسقف

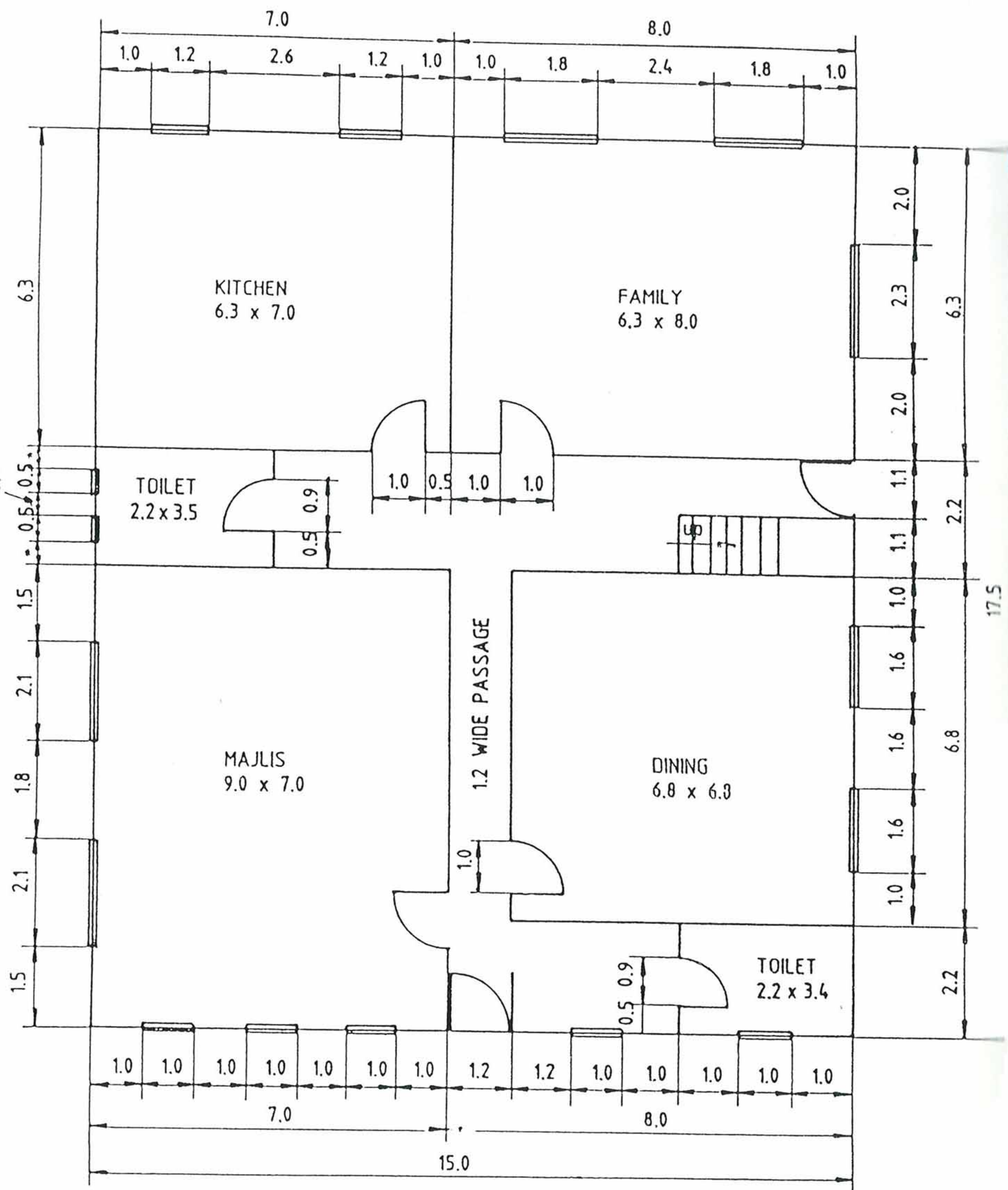


All dimensions are in meters.

FIRST FLOOR PLAN

Figure 6f. Typical house, first floor plan.

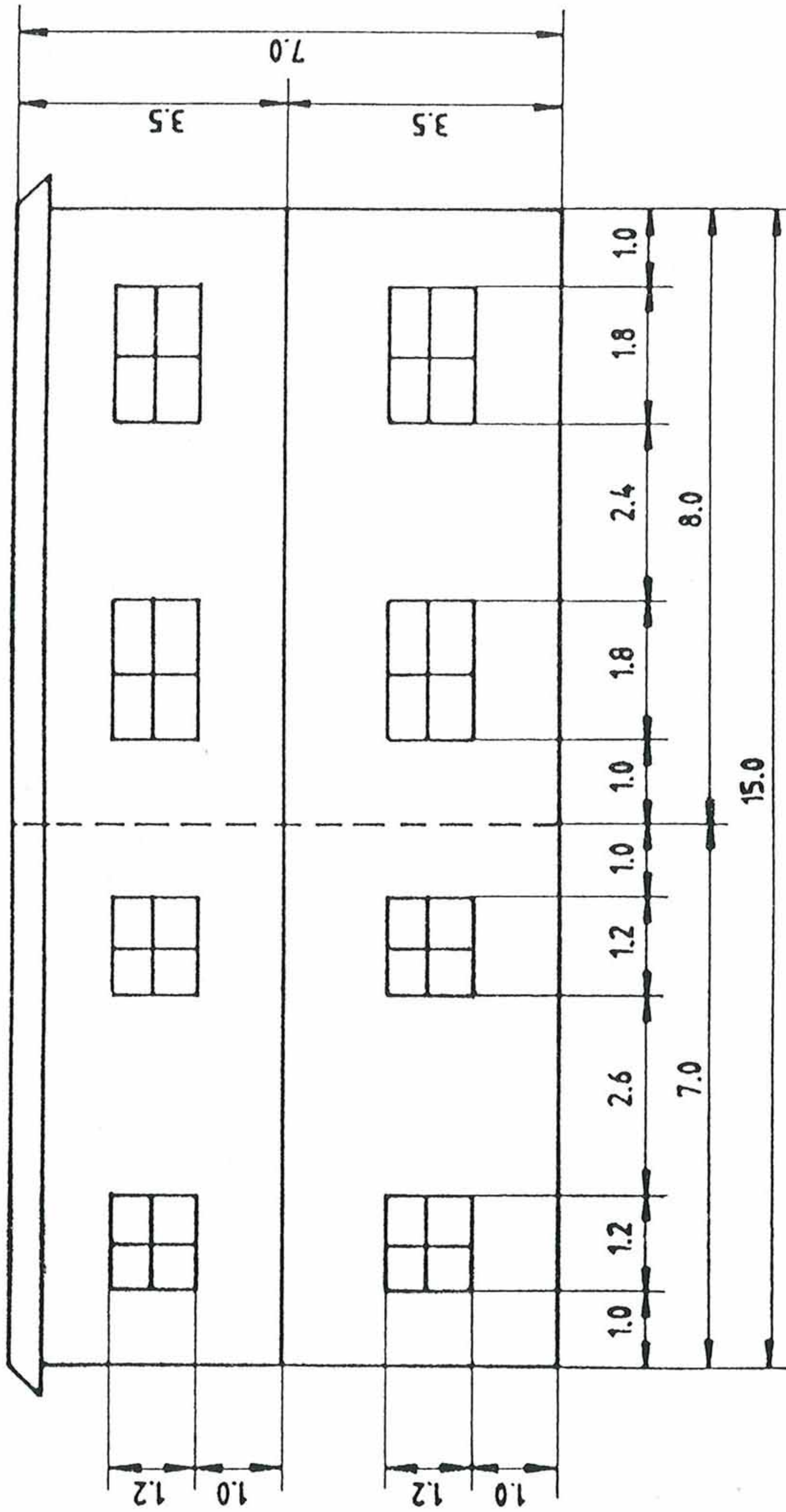
الشكل ٦- و المنزل النموذج - الطابق الاعلى



GROUND FLOOR PLAN

Figure 6e. Typical house, ground floor plan.

الشكل ٦ - هـ المنزل النموذج - الطابق الارضي



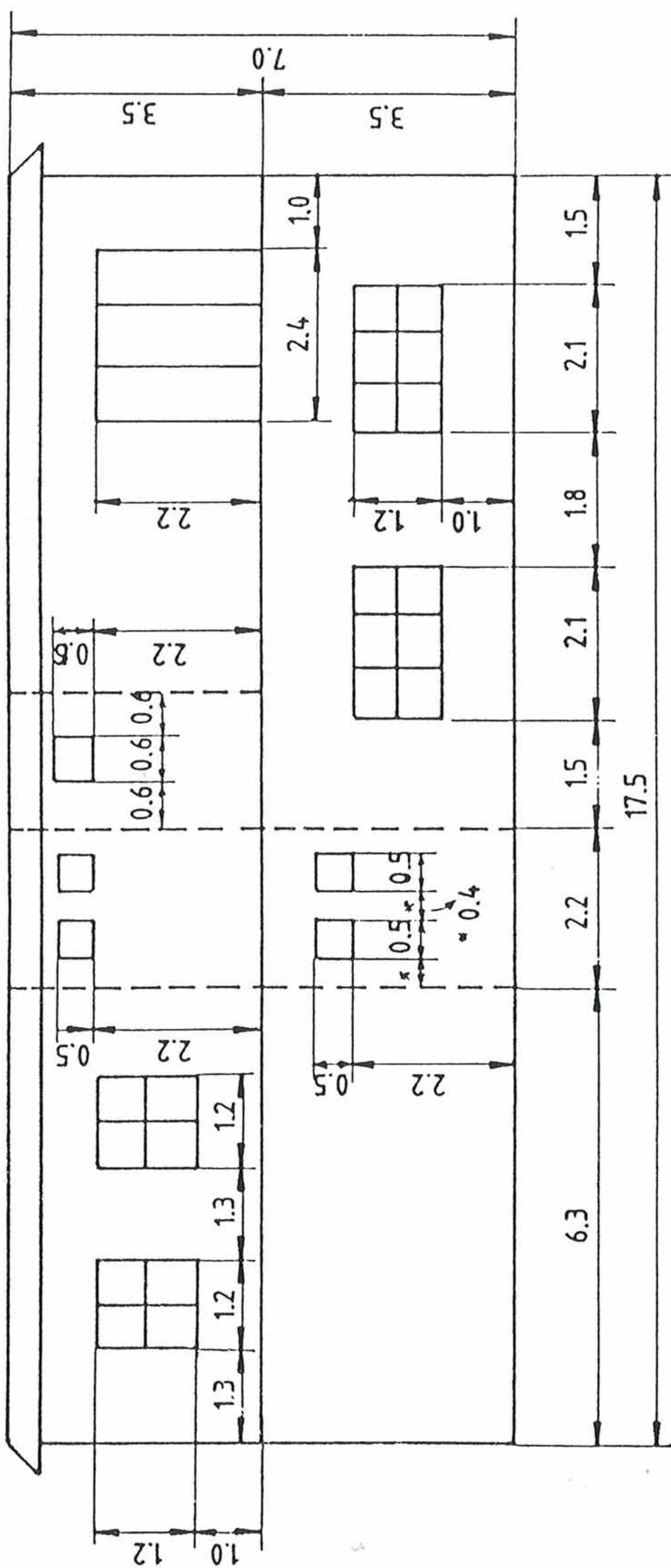
BACK VIEW

SCALE:- 1 CM = 1 METER

All dimensions are in meters.

Figure 6d. Typical house, back elevation.

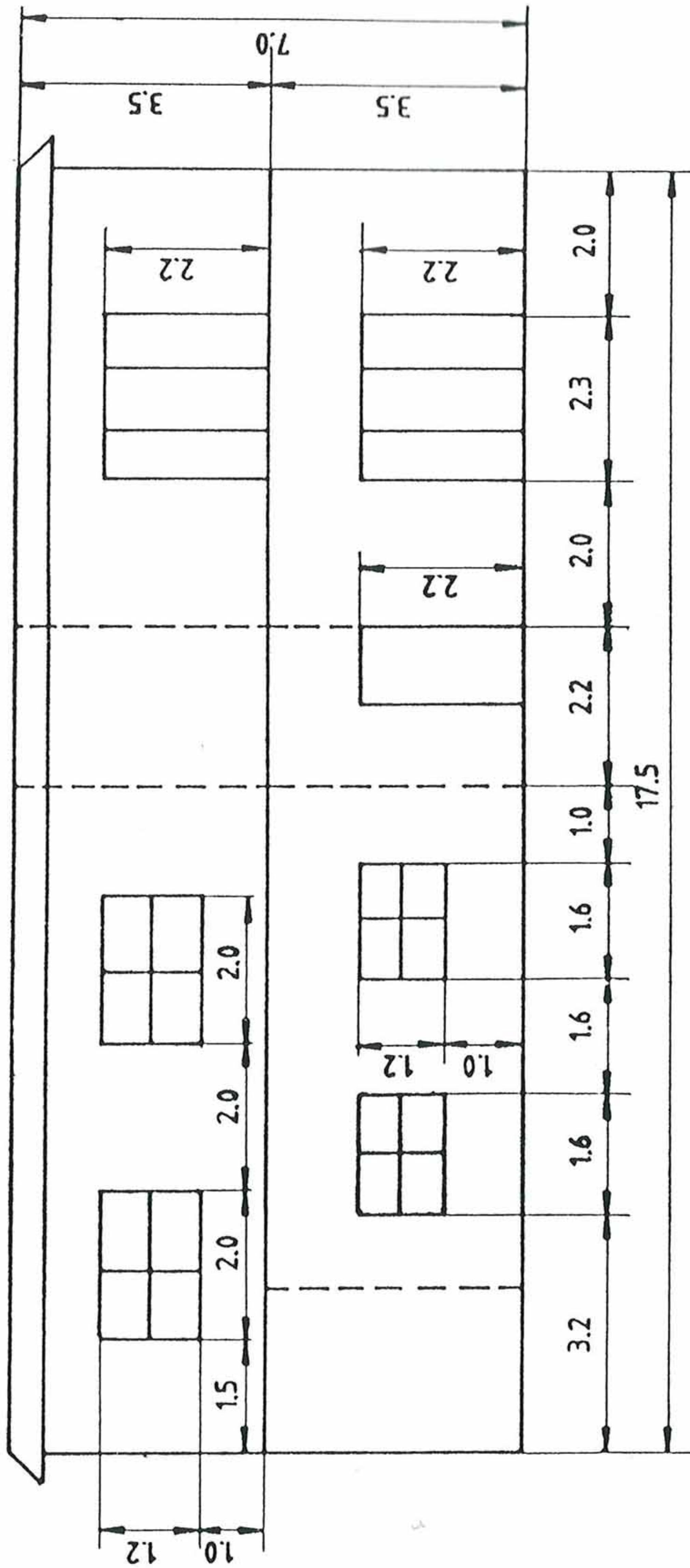
الشكل ٦ - د المنزل النموذج - الجانب الخلفي



All dimensions are in meters.

LEFT SIDE ELEVATION
SCALE:- 1 CM = 1 METER

Figure 6c. Typical house, left side elevation.
الشكل ٦ - المنزل النموذج - الجانب الايسر

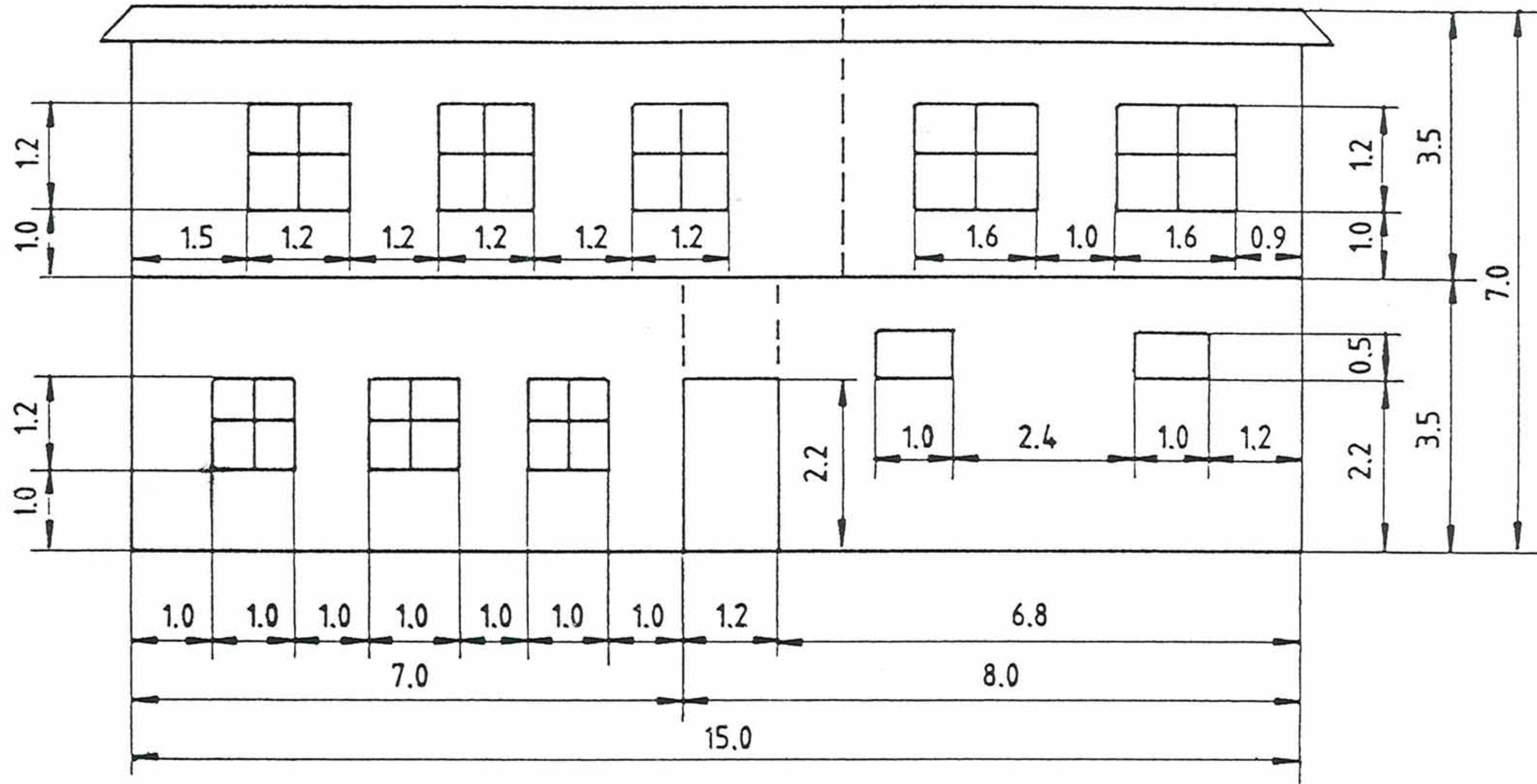


All dimensions are in meters.

RIGHT SIDE ELEVATION
SCALE:- 1 CM = 1 METER

Figure 6b. Typical house, right side elevation.

الشكل ٦ - ب المنزل النموذج - الجانب الايمن



FRONT ELEVATION
SCALE:- 1 CM = 1 METER

All dimensions are in meters.

Figure 6a. Typical house, front elevation

الشكل ٦ أ المنزل النموذج الواجهة الامامية

3 percent on an annual basis and 8 percent for the cooling season. This program was used in the present study.

3.2.2 *Model House*

For this study, the characteristics of a "typical" sample building were needed. Such a building was described in an interim report on KACST Project AR-8-049 [15]. In that study, the data for 300 separate single family buildings in Dammam, Riyadh, and Jeddah were collected and analyzed. These data included number of stories, enclosed floor area, exterior finishing materials, number and size of windows, type of glass, wall construction, roof construction, and shape of plan. These data were obtained from three sources: review of building plans field with municipal authorities, site visits to building under construction, and interviews with owners and contractors.

The following are the characteristics of the typical house which will be simulated:

Enclosed floor area:	261 m ²
Number of stories:	2
Height:	7m
Plan shape:	rectangular
Gross wall area:	455m ²
Window area:	43m ²
Structure:	cast-in-place concrete frame
Walls:	clay bricks, concrete blocks, prefabricated walls, or sandlime bricks, siporex, plastered inside and outside, uninsulated
Roof:	250mm Hordi slab with roofing, sand fill, and walking tiles, uninsulated but F filled with clay brick
Exterior finish:	painted plaster

The plans and configuration of the building are shown in Figure 6. The wall and roof construction are illustrated in Figure 7.

المنزل النموذجي :

كان من الضروري اجراء هذه الدراسة على منزل نموذجي يمثل نوع المساكن الموجودة في المملكة وقد وجدت الغاية في دراسة تمت لصالح مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية (المشروع AR-8-049) (١٥) . في تلك الدراسة تم تحليل المعلومات الخاصة لثلاثمائة منزل عائلي في مدن الدمام والرياض وجدة وتضمنت هذه المعلومات عدد الادوار والمساحة المبنية ونوع التشطيب والشبابيك ونوعية الزجاج وطريقة البناء والشكل والخريطة ... الخ . وقد تم الحصول على هذه المعلومات من بلديات المدن الثلاث وزيارة المواقع والحديث مع اصحاب الدور والمقاولين . وفي مايلي خواص المنزل النموذجي الذي تمت دراسته :-

المساحة المبنية	٢٦١ متر مربع
عدد الادوار	٢
الارتفاع	٧ امتار
الشكل	مستطيل
مساحة الجدران الكلية	٤٥٥ متر مربع
مساحة الشبابيك الكلية	٤٣ متر مربع
القوائم	صبات خرسانية
الجدران	اي من الطوب الاحمر الفخاري ، الطابوق الاسمنتي ، الجدار الاسمنتي مسبق الصنع او الطوب الرملي .
التشطيب الخارجي	بياض اسمنتي

خريطة المنزل وشكله موضح على الشكل رقم ٦ وطريقة بناء الجدران والسقف على الشكل ٧ .

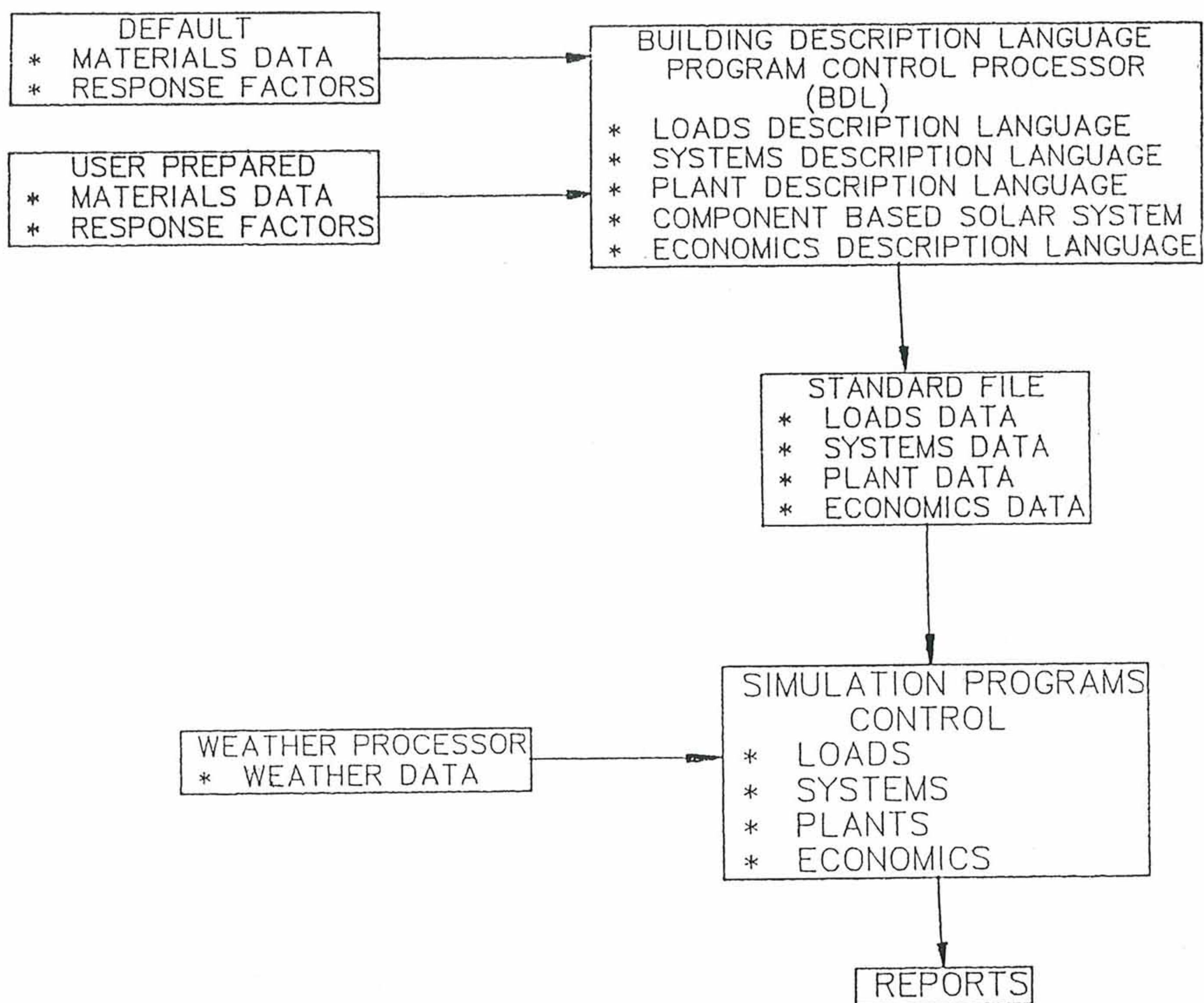


Figure 5 . DOE-2 computer program configuration.

الشكل ٥ برنامج الكمبيوتر

3.2.1 The DOE-2.1A Computer Program

Analyzing the energy performance of an air-conditioned residential building is a highly complex matter involving climate, building type, air-conditioning system, and user interactions. Performance is determined by the design of the building fabric, air-conditioning system, and lighting system; occupancy patterns; operating schedules; and meteorological conditions. To devise an energy efficient design appropriate to the climate, the effect of various building design options on energy consumption must be investigated during the conceptual design stage. An exploratory study of this type is only possible with the use of computers. Models for estimating energy use in residential buildings have been developed since the energy crisis of the early 1970s. Many of these are complex, incorporating all major determinants of energy use. These models meet a spectra of requirements that range from energy audits to the design of new buildings, the calculation of energy ratings; policy studies, theoretical investigations of new retrofits, and applications of innovative building materials.

Several computer programs are available for calculating building cooling and heating loads [7-13], but only a few are capable of simulating both buildings and systems and performing hour-by-hour energy analyses using hourly weather data. DOE-2.1A is such a program prepared by Lawrence Berkeley Laboratory for the United States Department of Energy. It is a public domain computer program which can be used to explore the energy behavior of proposed and existing buildings and their associated heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) systems. Incorporating mathematical models (called algorithms) and utilizing hourly weather data, DOE-2.1A calculates the hour by hour performance and the response of a building whose description (geometry, orientation, materials, etc.) has been provided by the user. It is a great help for engineers and architects in designing energy efficient buildings that have low life-cycle costs [13].

DOE-2.1A comprises one translation and library program which is called the Building Description Language (BDL) and four simulation subprograms. In addition, it has a utility program called the Weather Processor (Figure 5). The Building Description Language (BDL) translates the design concepts (input data) into a form recognizable by the computer. The four simulation subprograms are the systems or secondary HVAC simulation sub-program, the plant or primary HVAC simulation sub-program, and the economic analysis subprogram. The Weather Processor allows the user to transform various standard weather tapes to the DOE-2 format, to edit the tapes, and to list them. Each of the above four subprograms produces printed results of its calculations.

The DOE-2.1A computer program can simulate a number of energy conservation measures in buildings. It has been widely tested for accuracy. It has an accuracy (prediction versus measurement) of ± 10 percent [14]. The DOE-2.1A program has also been validated for accuracy in the Dhahran area [15] and it has shown an accuracy of about

برنامج الكمبيوتر DOE-2.1A :

إن دراسة استهلاك الطاقة في أجهزة التبريد معقدة للغاية لتدخل الطقس والمبنى وجهاز التبريد وغرض استعمال المبنى (تجاري ، سكني ، مكتب ...) . فهي تعني تفاعل مواد البناء وجهاز التبريد ونظام الاضاءة وطريقة استعمال المبنى وأوقاته وعوامل الطقس مع بعضها البعض . ولذا يجب دراسة كل هذه التفاعلات للوصول الى المبنى ذات الكفاءة العالية . ولا يمكن القيام بمثل هذه الدراسة الا بواسطة برامج الكمبيوتر المعدة لهذا الغرض وهي كثيرة بدأت في الظهور منذ ازمة الطاقة في بداية السبعينات وبعضها معقدة للغاية ولكن المهم هو اننا نستطيع اجراء دراسات تفصيلية لبيانات استهلاك الطاقة وسياسات الاستهلاك واهمية الاضافات ونتائجها .

وبالرغم من وجود اعداد كبيرة من برامج الكمبيوتر الا ان البرنامج DOE-2.1A المعد في معامل بيركلي في الولايات المتحدة الاميركية يعد من احسنها (٧-١٣) . وقد استخدمه معهد البحوث في دراساته السابقة وتحقق من دقته . هذا البرنامج يستطيع اعطاء معلومات عن استهلاك الطاقة ساعة بساعة وتفاعل المبنى مع الطقس بعد ادخال المعلومات الضرورية (الشكل ٥) . كما يمكنه استيعاب تأثير التغييرات المراد ادخالها على المبنى .

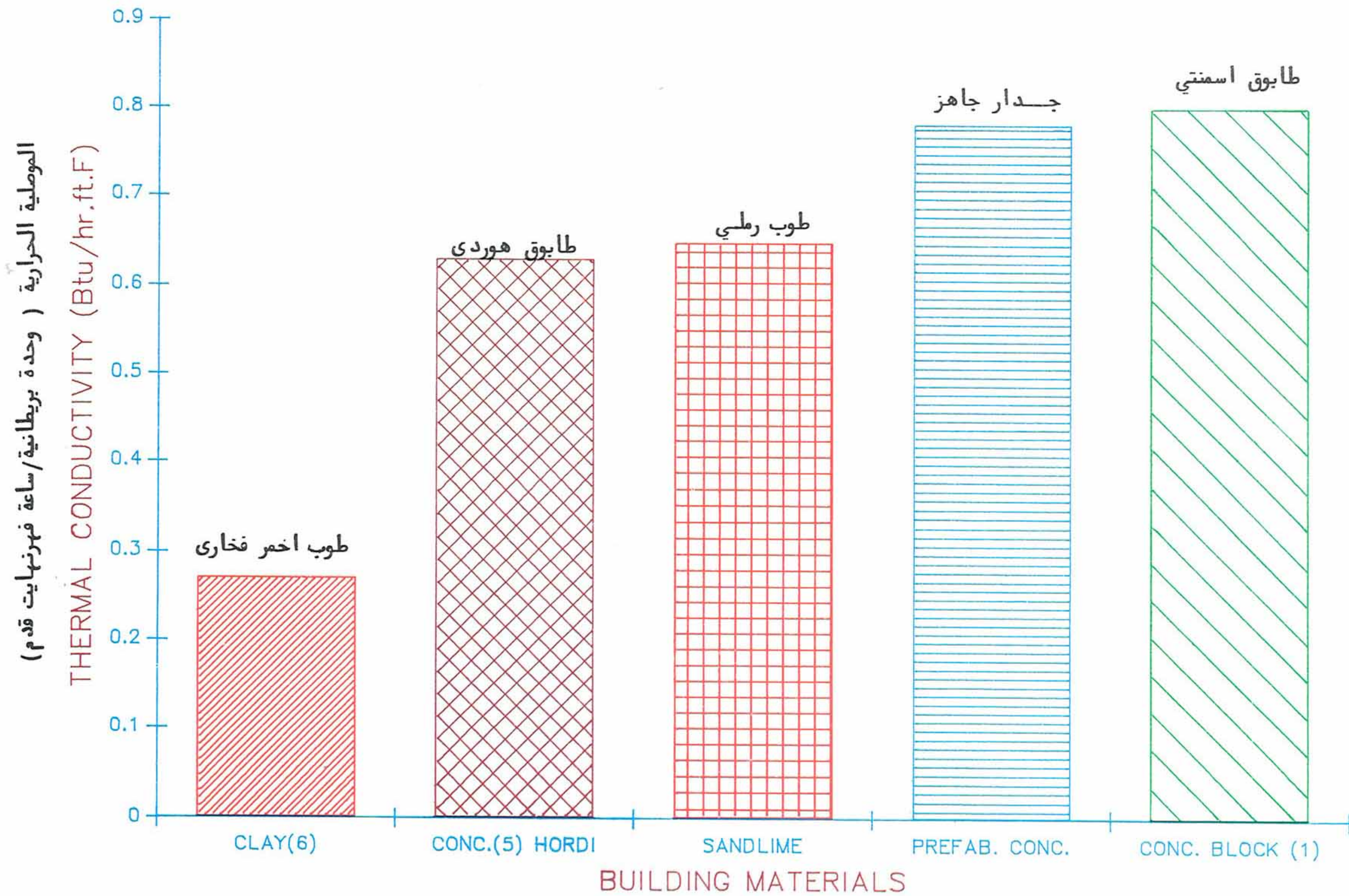


Fig.4b The thermal conductivity of building materials (British units)

الشكل ٤أ الموصلية الحرارية لمواد البناء (وحدات منزلية)

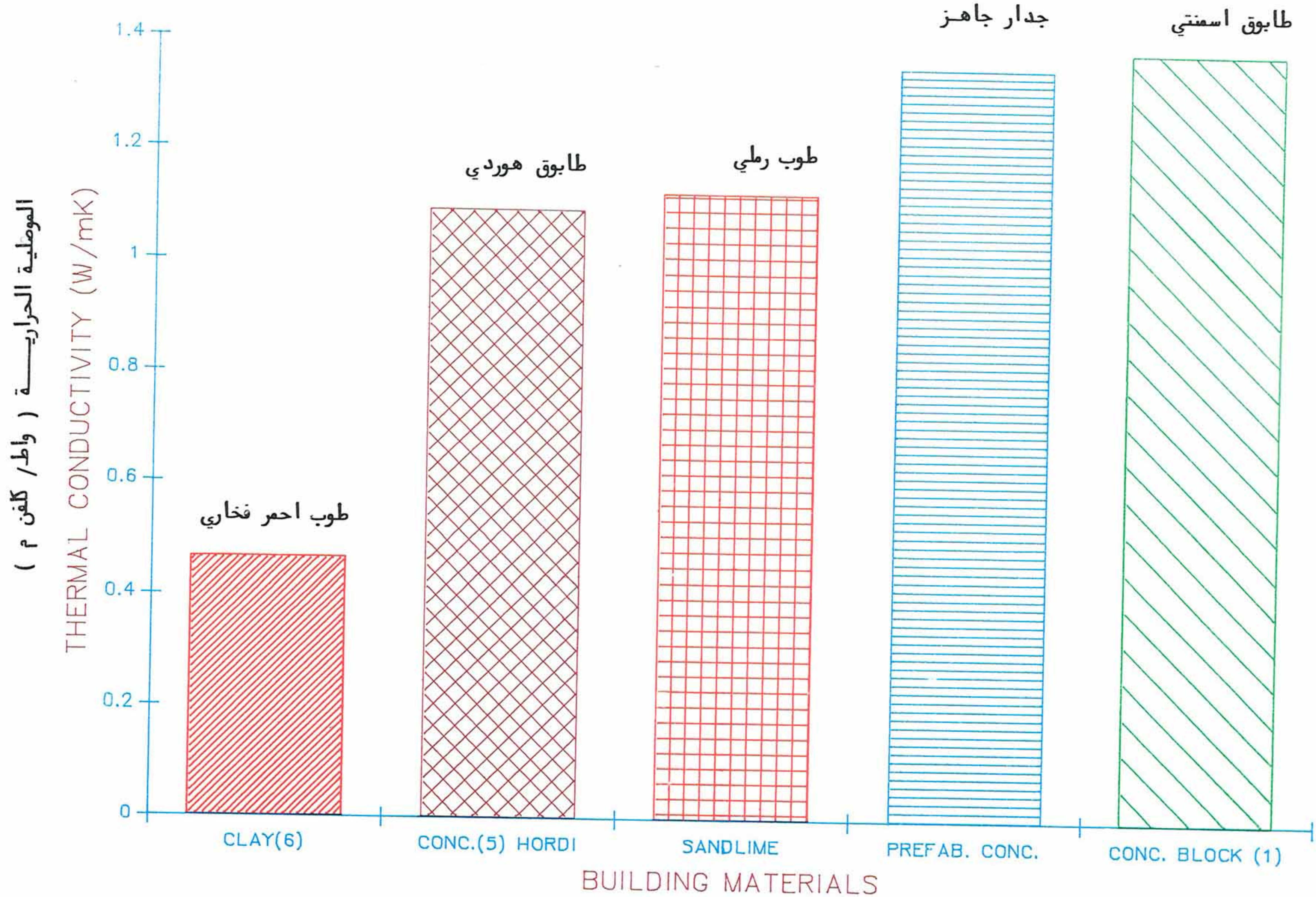
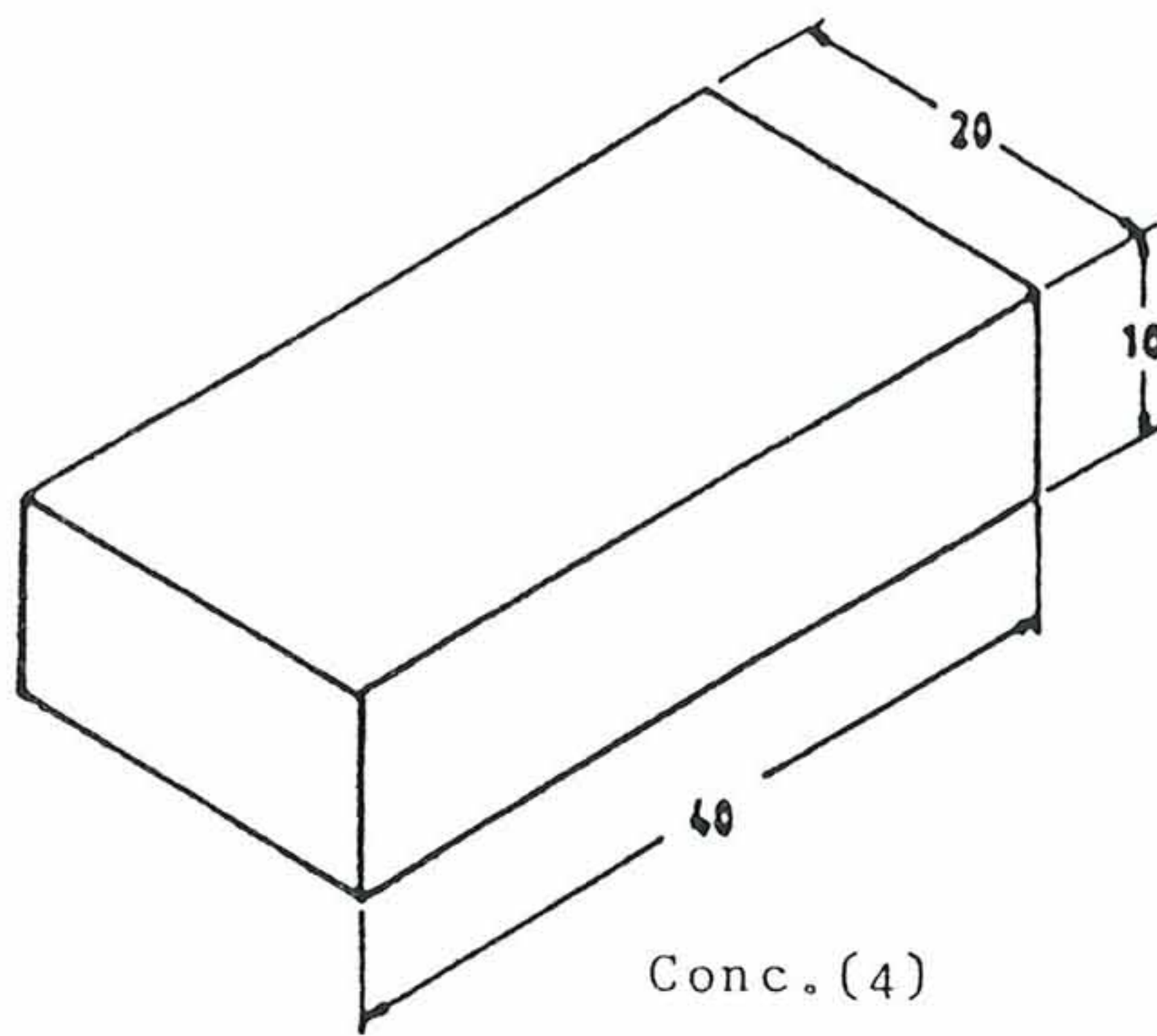
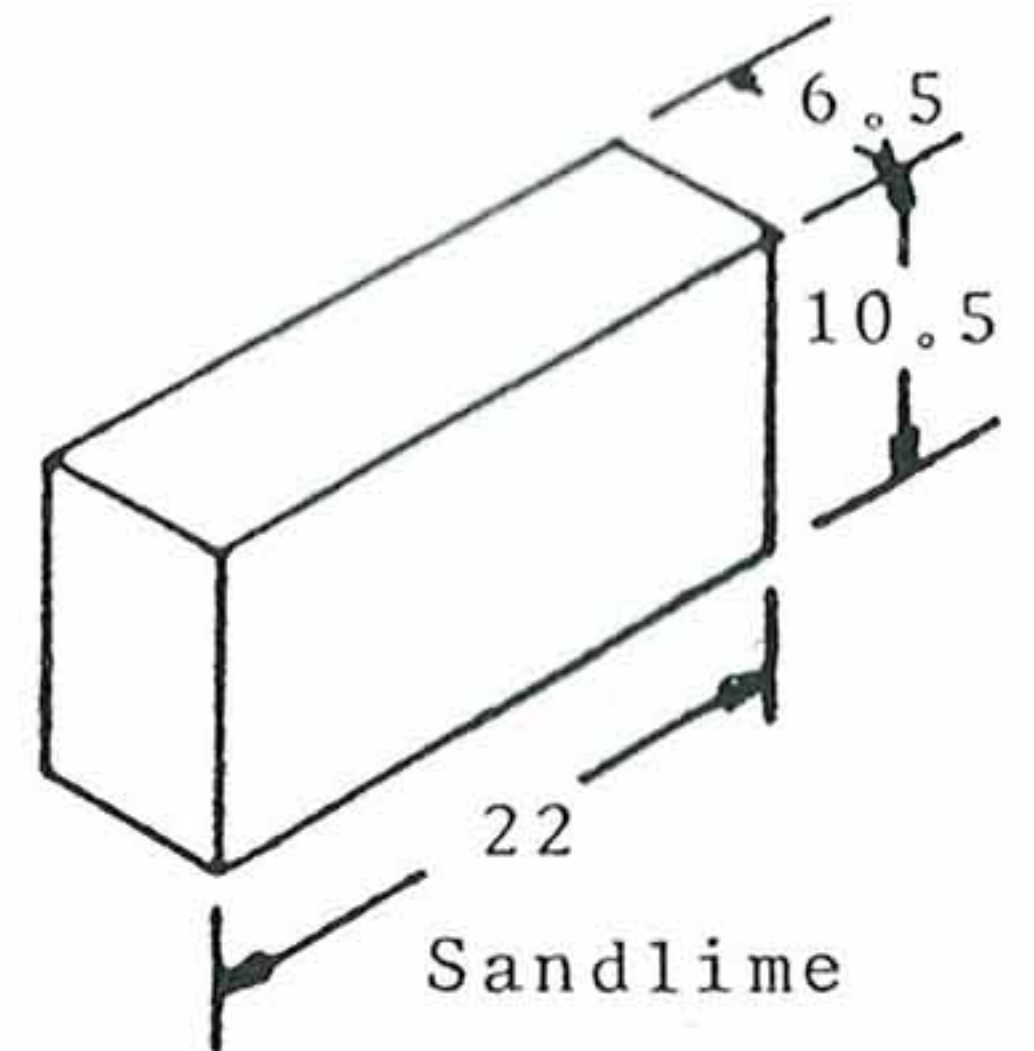


Fig. 4a The thermal conductivity of building materials (Metric units)



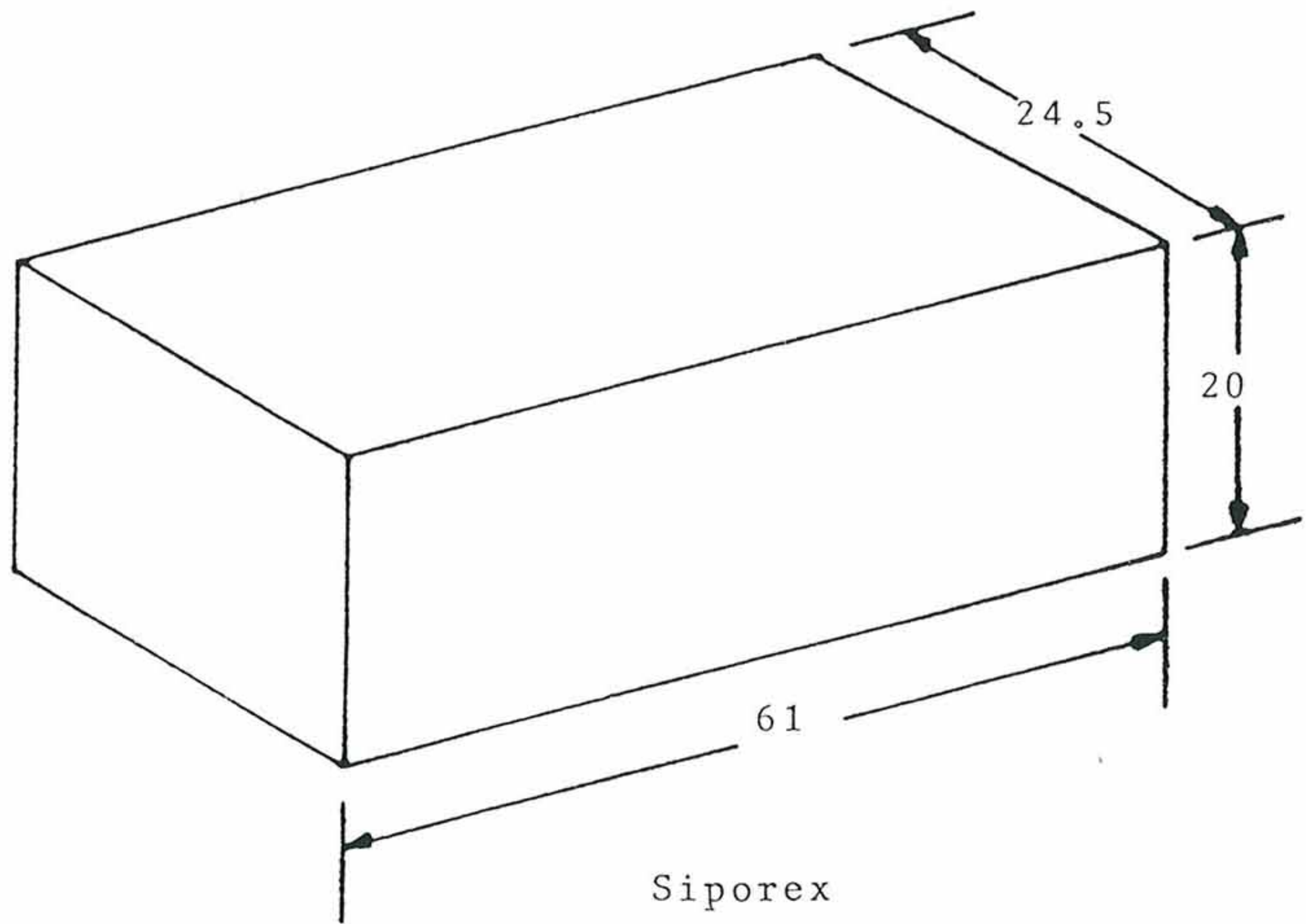
Conc. (4)

طابوق اسمنتي



Sandlime

طابوق رملي



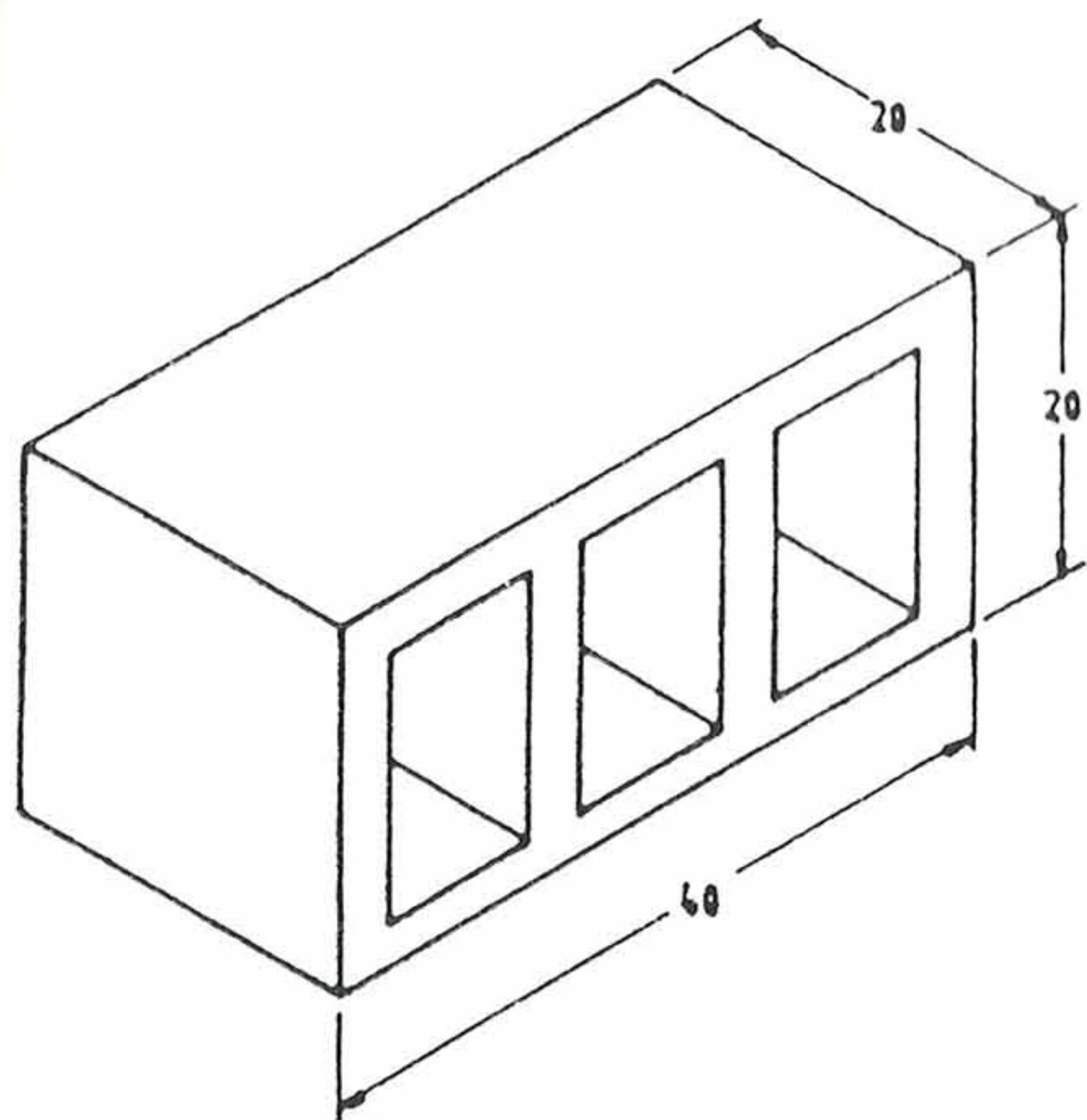
Siporex

سيپوركس

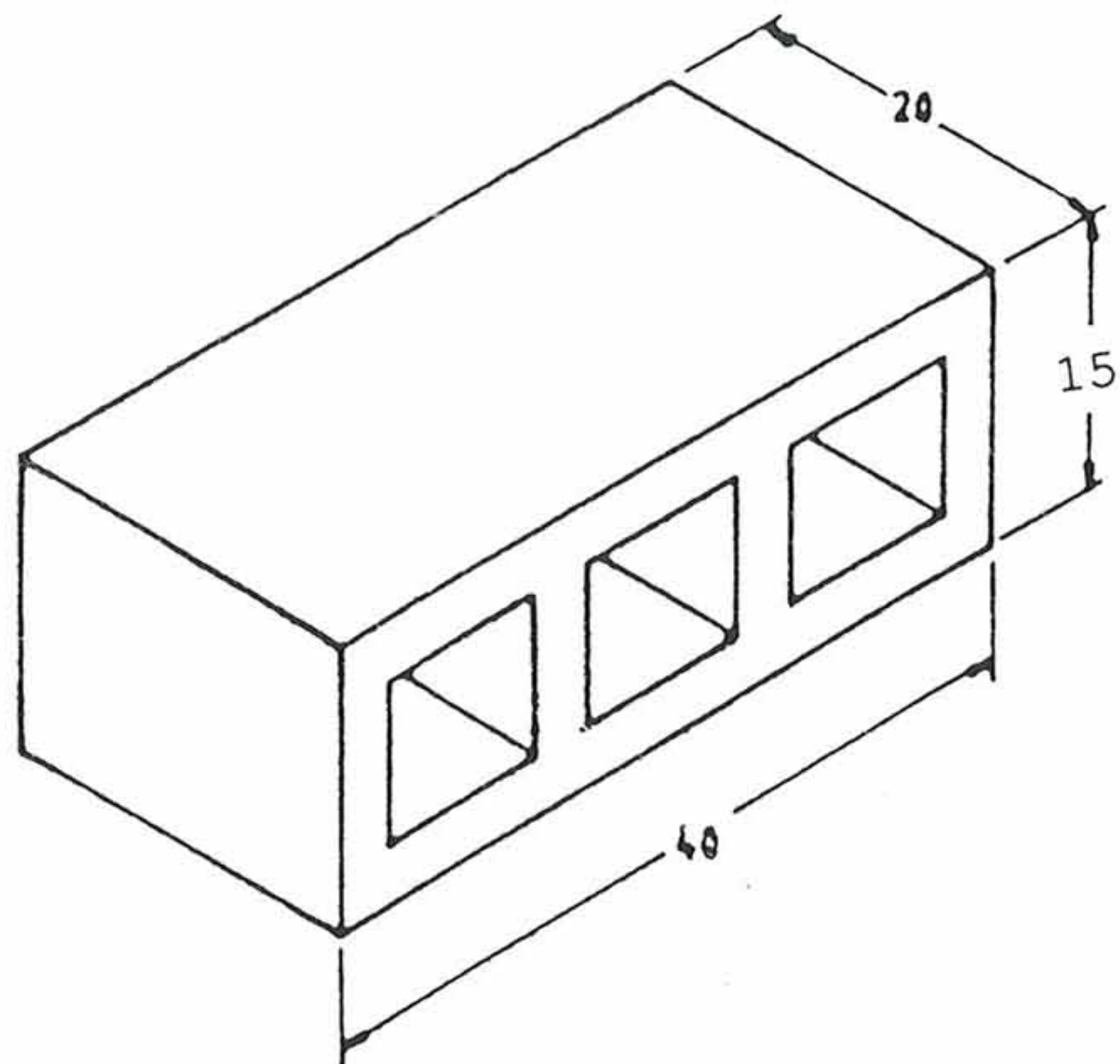
Figure 3. Types of tested building materials (cont.)
(All dimensions in cm)

الشكل ٣ : انواع مواد البناء التي تم اختبارها (بقية)

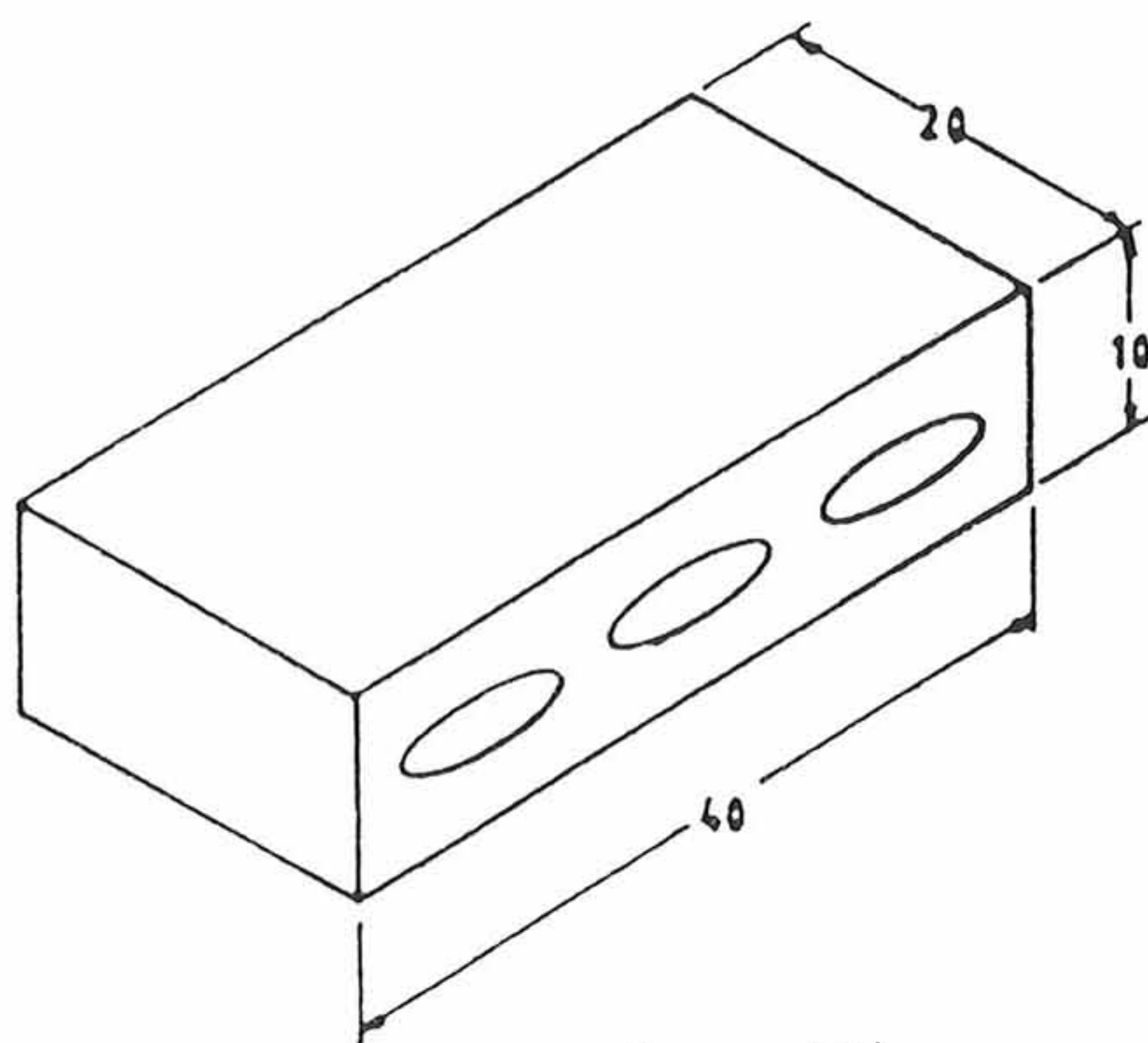
(كل المقاسات بالسـم)



Conc. (1)



Conc. (2)



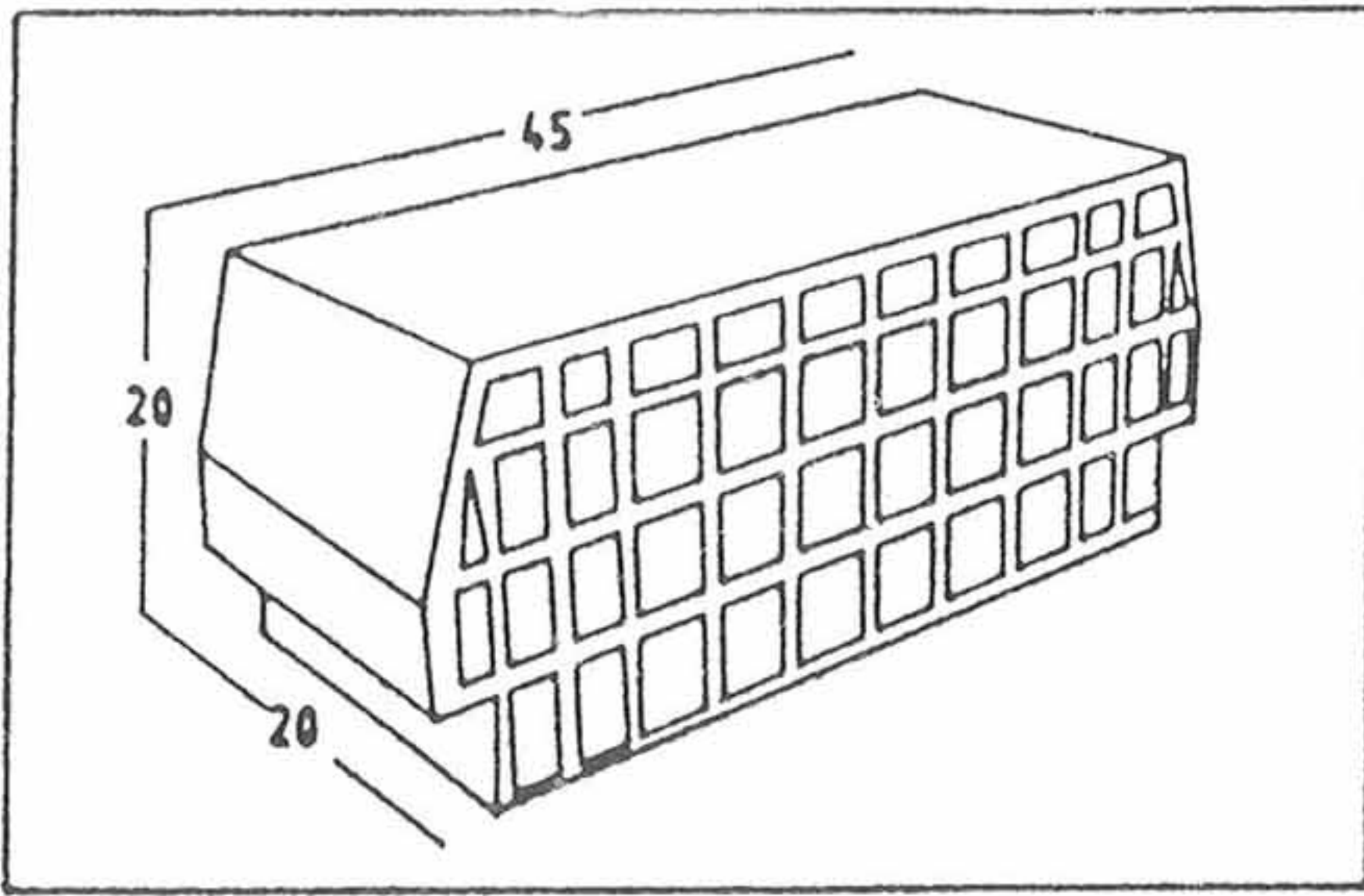
Conc. (3)

Concrete block
طابوق اسمنتي

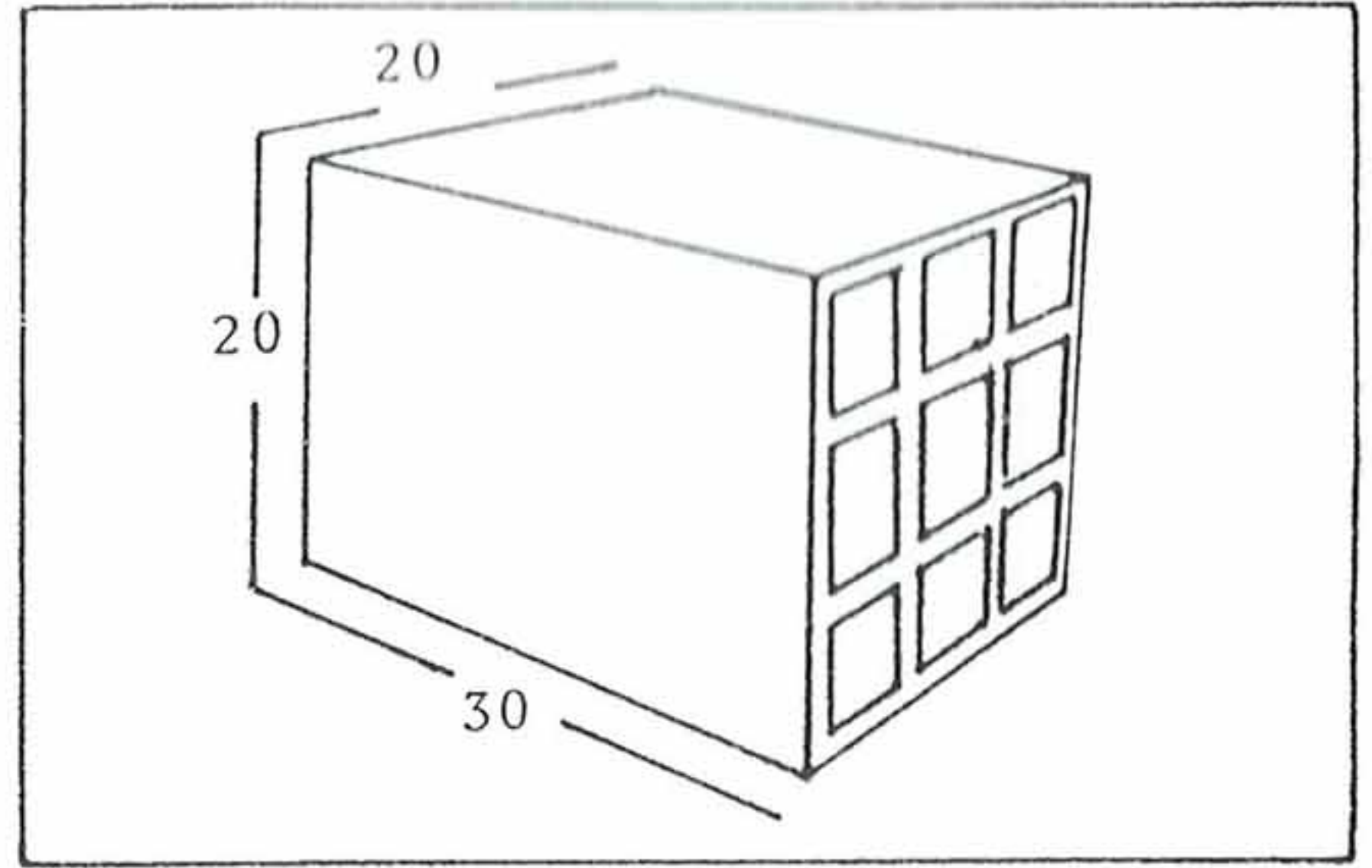
Figure 3. Types of tested building materials (cont.)
(All dimensions in cm)

الشكل ٣ - أنواع مواد البناء التي تم اختبارها (بقية)
(كل المقاسات بالسـم)

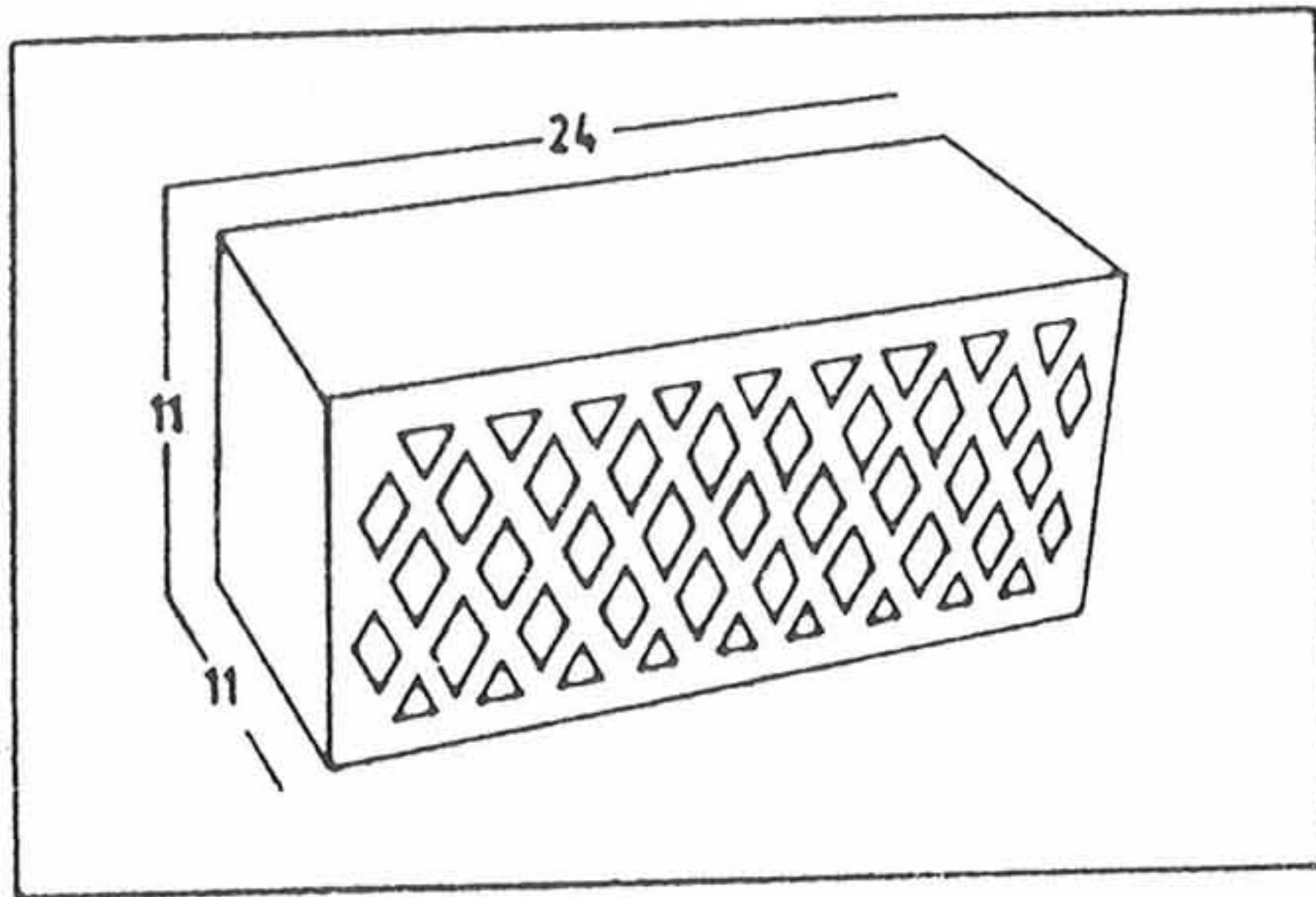
Type-5



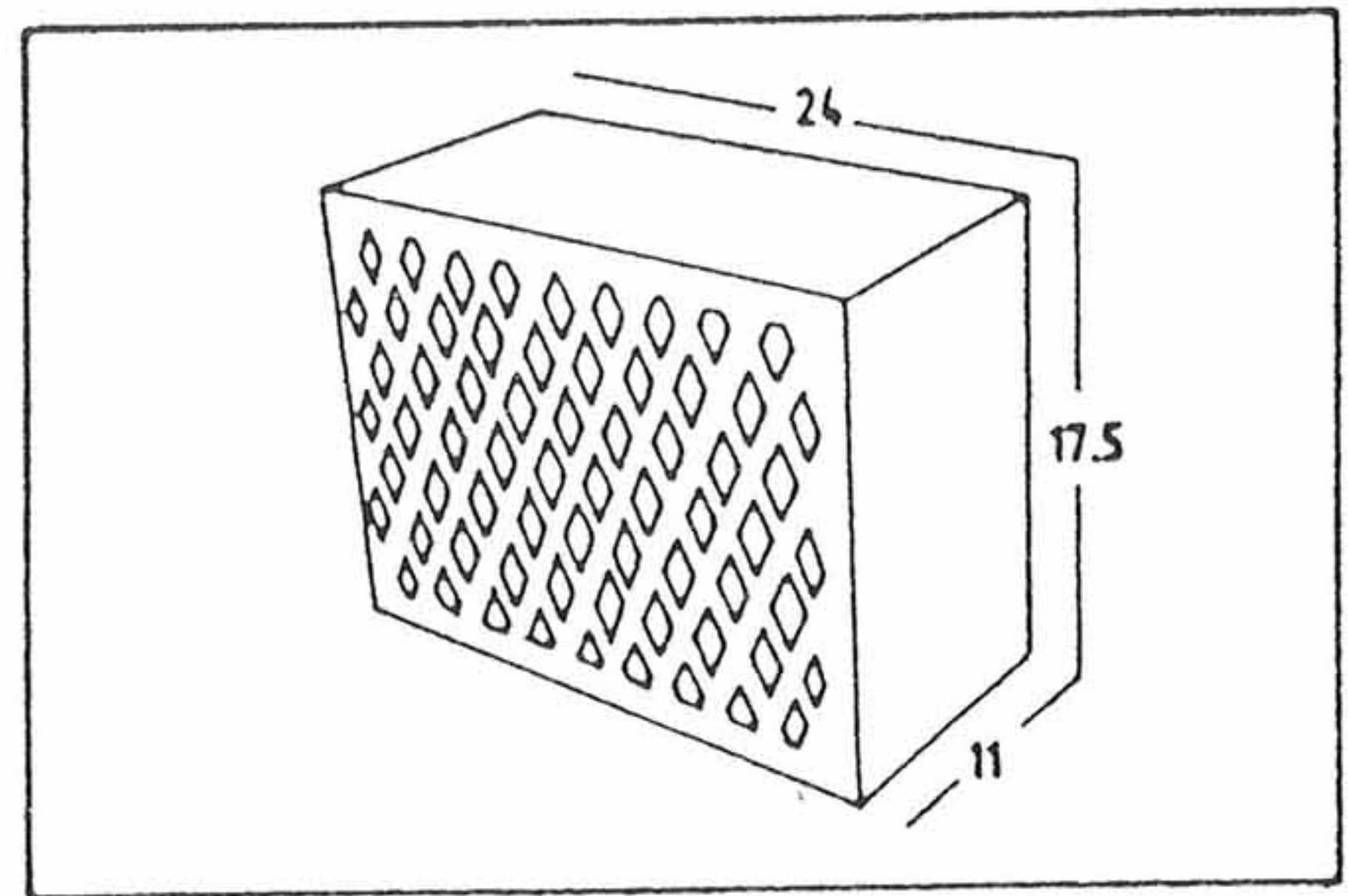
Type-6



Type-7



Type-8

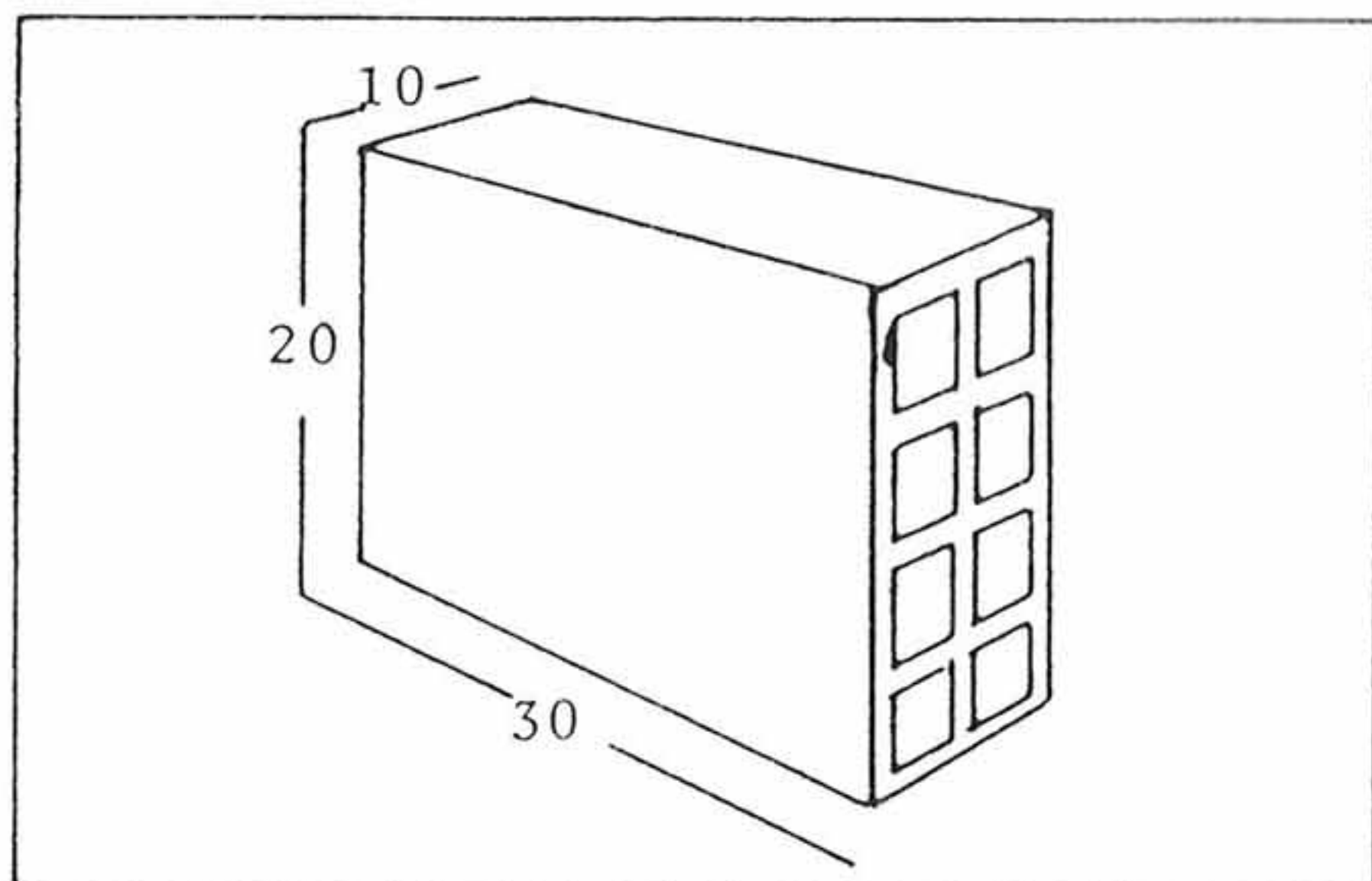


Clay Bricks
طوب أحمر فخاري

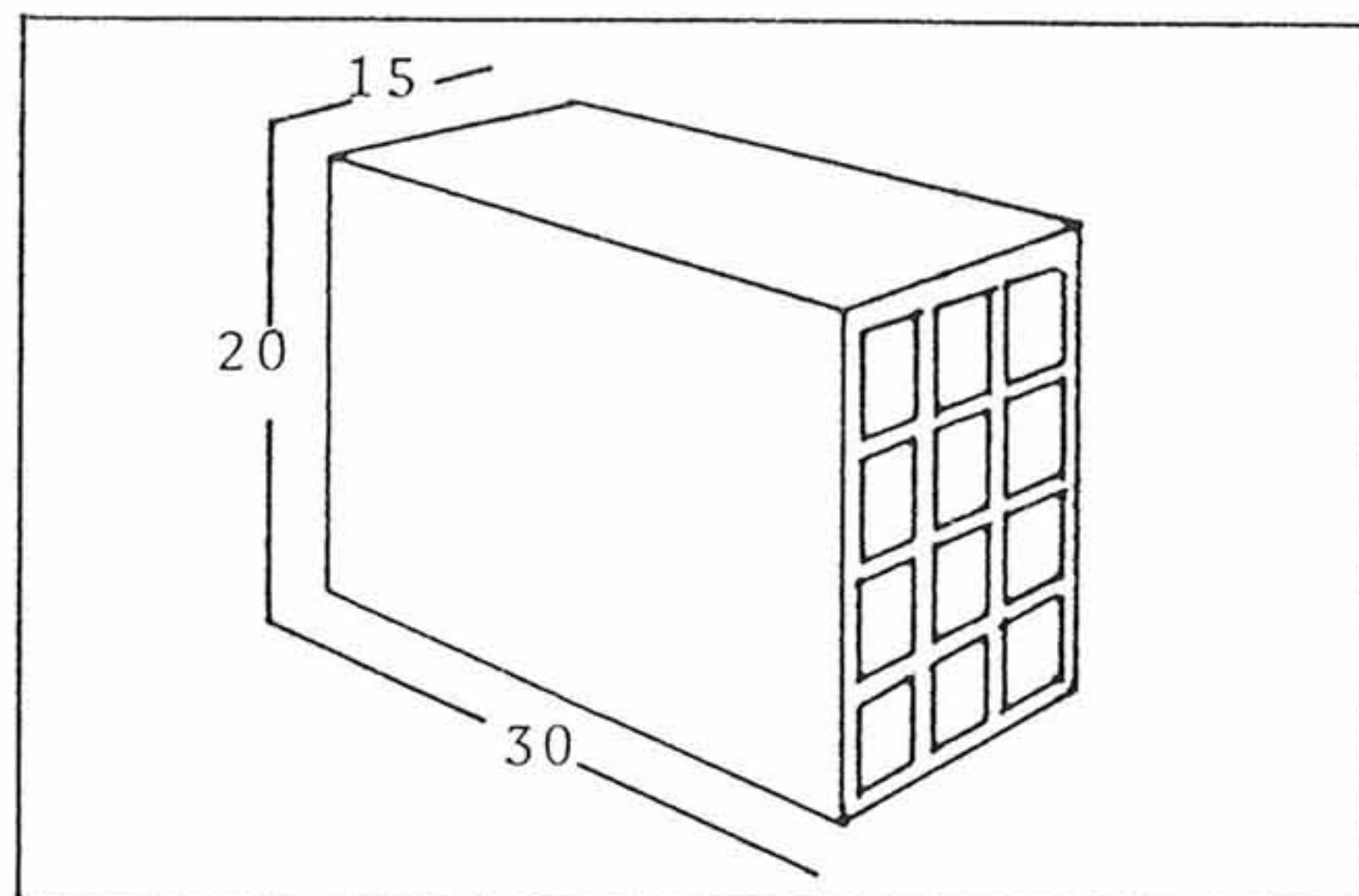
Figure 3. Types of tested building materials (cont.)
(All dimensions in cm)

الشكل ٣ : انواع مواد البناء التي تم اختبارها (بقية)
(كل المقاسات بالسـم)

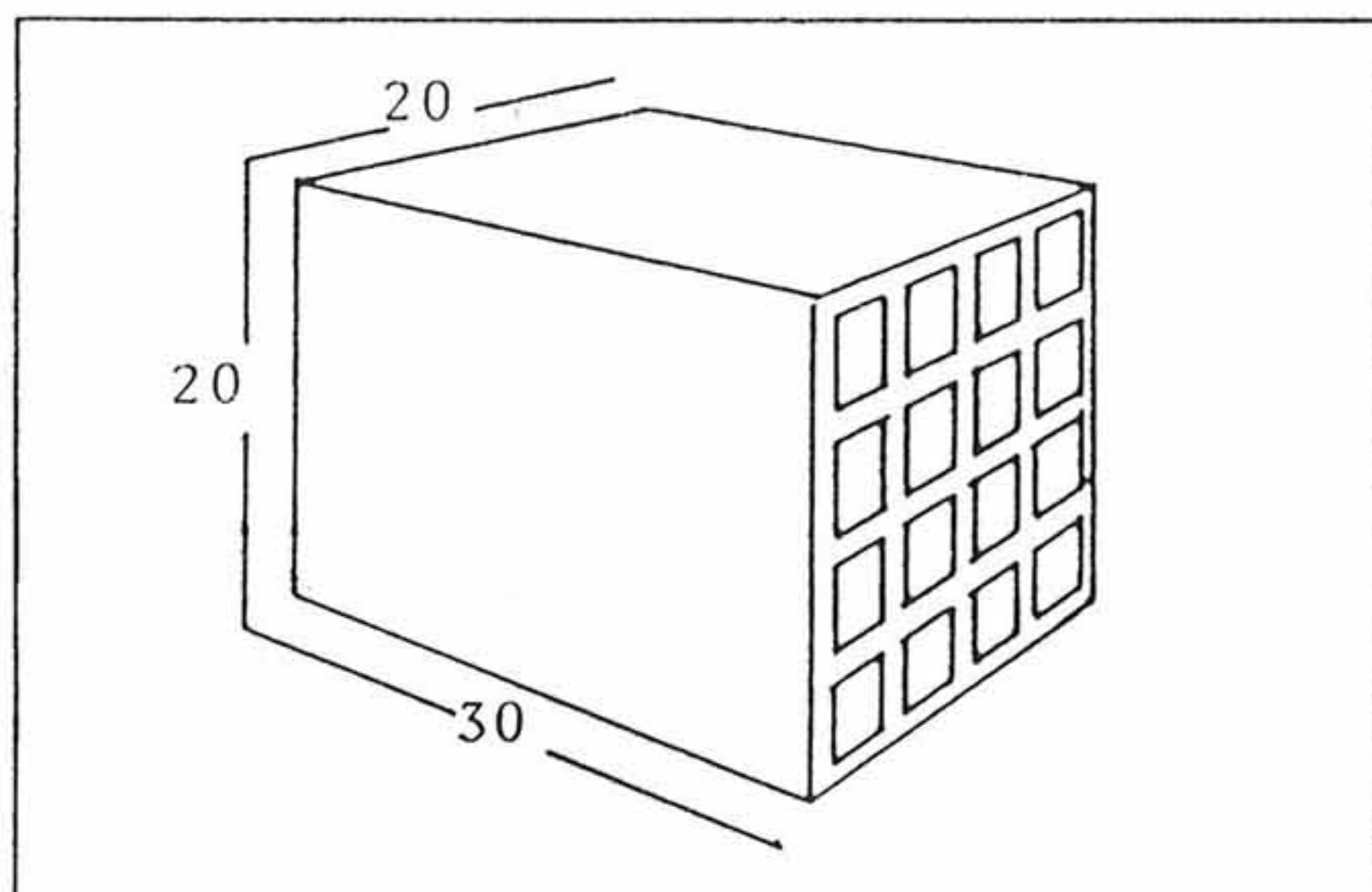
Type-1



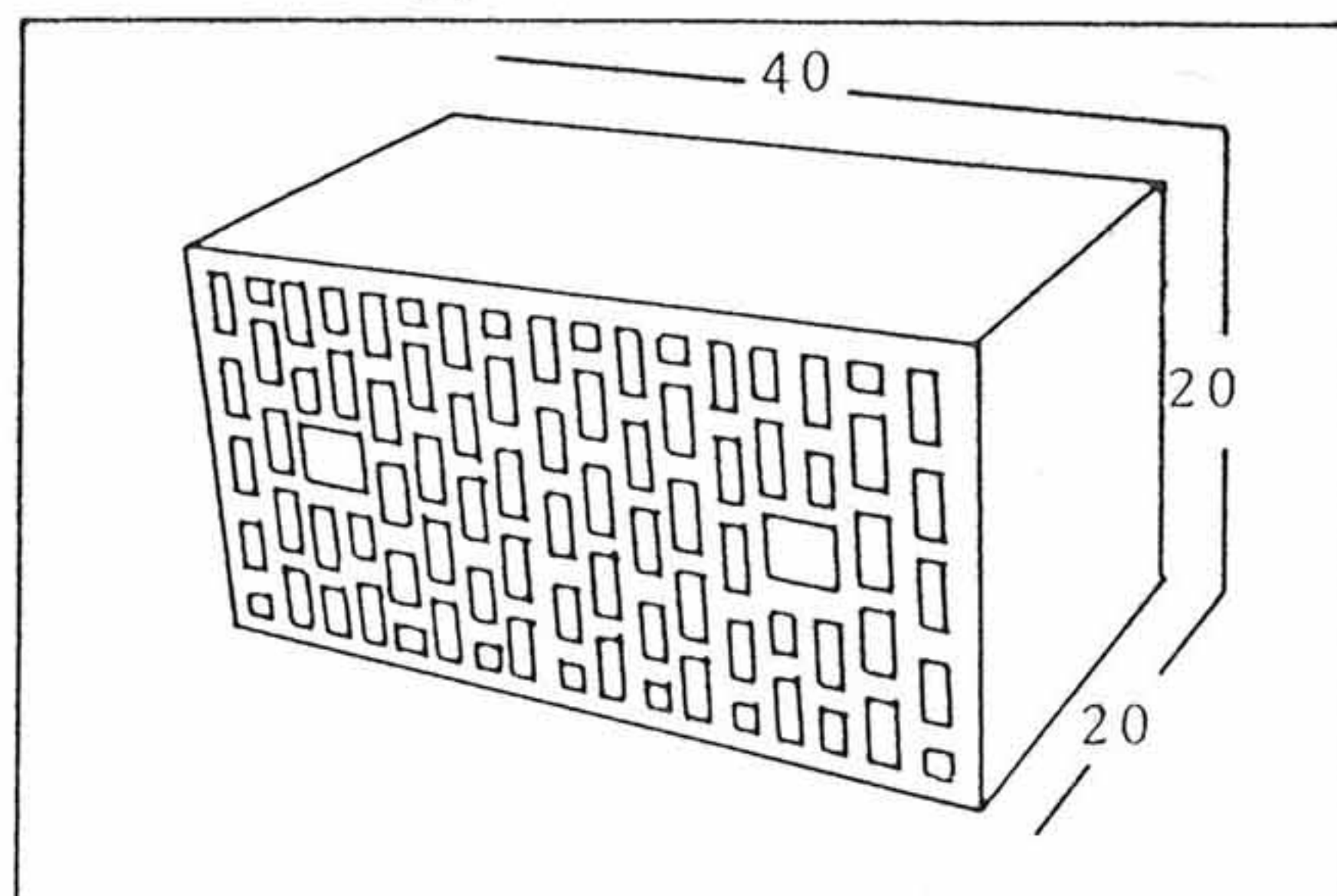
Type-2



Type-3



Type-4



Clay Bricks
طابوق احمر فخاري

Figure 3. Types of tested building materials
(All dimensions in cm)

الشكل ٣: انواع مواد البناء التي تم اختبارها (كل المقاسات بالسـم)

Table 1a. Physical and thermal properties of building materials (in metric units).

Type	Nominal Dimen. (cm)	Description	d	AD	TD	SD	Thermal Properties	
							k	R
Clay (6)	30*20*20	Regular	20	690	1577	138	0.470	0.425
Conc. (1)	40*20*20	Hollow	20	1203	1984	241	1.389	0.144
Conc. (5)	37*20*20	Hordi	20	1083	2303	217	1.092	0.183
Sandlime	22*6.5*10.5	Solid	10.5	1864	1864	196	1.125	0.093
Prefabric.	-----	Solid	10	2245	2245	224	1.355	0.074

d = Thickness, cm;
 TD = True density, Kg/m³;
 k = Thermal conductivity, W/m⁰K;
 R = Thermal resistance, m²K/W
 AD = Apparent density, Kg/m³;
 SD = Surface density, Kg/m²;

Table 1b. Physical and thermal properties of building materials (in British units).

Type	Nominal Dimen. (cm)	Description	d	AD	TD	SD	Thermal Prop.	
							k	R
Clay (6)	30*20*20	Regular	8	43	98	28	0.272	2.451
Conc. (1)	40*20*20	Hollow	8	75	124	49	0.803	0.830
Conc. (5)	37*20*20	Hordi	8	68	143	44	0.631	1.056
Sandlime	22*6.5*10.5	Solid	4.2	116	116	40	0.650	0.538
Prefabric.	-----	Solid	4	140	140	46	0.783	0.426

d = Thickness, in;
 TD = True density, lbm/ft³;
 k = Thermal conductivity, Btu/hr.ft.⁰F;
 R = Thermal resistance, hr.ft.² °F/Btu
 AD = Apparent density, lbm/ft³;
 SD = Surface density, lbm/ft²;

الجدول ١-ب المقاييس الطبيعية والخواص الحرارية لمواد البناء (*)
(وحدات بريطانية)

الخواص الحرارية

نوع المادة	الابعاد	الوصف	السبك	الكثافة الحقيقية		
	(سم)	(بوصة)	(رطل/قدم ^٣)	الموصلية	المقاومة	
				(١)	(٢)	
طوب أحمر فخاري-٦	٢٠X٢٠X٢٠	عادي	٨	٩٨	٠.٢٧٢	٢٤٥١
طابوق اسمنتي-١	٢٠X٢٠X٤٠	مفرغ	٨	١٢٤	٠.٨٠٣	٠.٨٣٠
طابوق اسمنتي-٥	٢٠X٢٠X٣٧	هوردي	٨	١٤٣	٠.٦٣١	١٠٥٦
طوب رملي	١٠.٥X٦.٥X١٠.٥	غير مفرغ	٤.٢	١١٦	٠.٦٥٠	٠.٥٣٨
جدار مسبق الصنع	—————	غير مفرغ	٤	١٤٠	٠.٧٨٣	٠.٤٢٦

(*) انظر الجدول ١-أ في الملحق لخواص باقى المواد

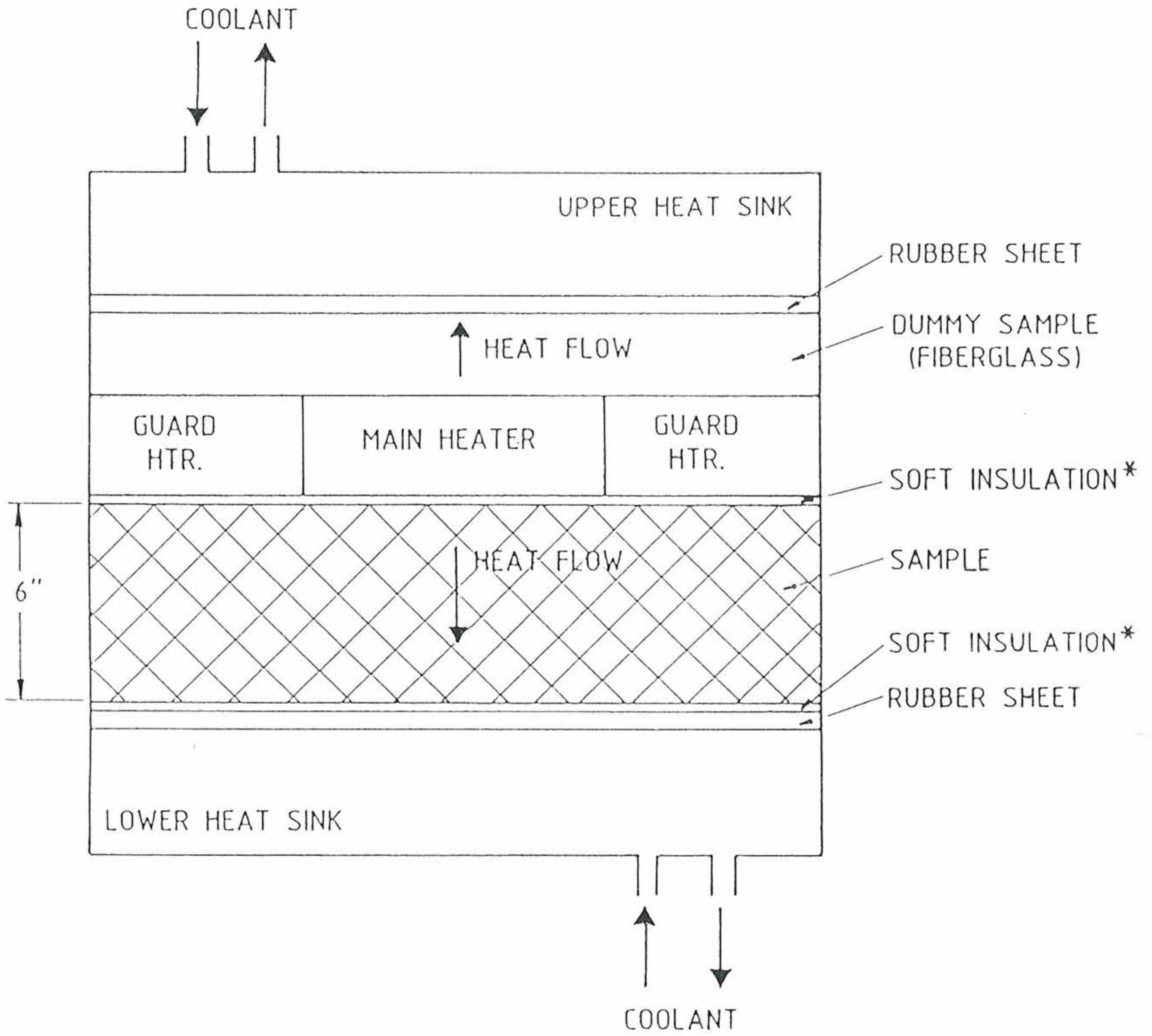
(١) وحدة بريطانية/قدم ، ساعة ، فهرنهايت

(٢) قدم^٢ ، ساعة ، فهرنهايت / وحدة بريطانية

الجدول ١-١ المقاييس الطبيعية والخواص الحرارية لمواد البناء (*)
(وحدات مترية)

الخواص الحرارية		الكثافة الحقيقية	الوصف	الابعاد	نوع المادة
المقاومة	الموصلية				
(م ^٢ كلفن/واط)	(واط/م كلفن)	(كجم/م ^٣)	(سم)	(سم)	
٠.٤٢٦	٠.٤٧٠	١٥٧٧	٢٠	٢٠×٢٠×٣٠	طوب أحمر فخاري-٦
٠.١٤٤	١.٣٨٩	١٩٨٤	٢٠	٢٠×٢٠×٤٠	طابوق اسمنتي-١
٠.١٨٣	١.٠٩٢	٢٣٠٣	٢٠	٢٠×٢٠×٣٧	طابوق اسمنتي-٥
٠.٠٩٣	١.١٢٥	١٨٦٤	١٠.٥	١٠.٥×٢٢×٢٥	طوب رملي
٠.٠٧٤	١.٣٥٥	٢٢٤٥	١٠	—————	جدار مسبق الصنع

(*) انظر الجدول ١-١ في الملحق لخواص باقى المواد



(*) Soft Insulation to Fill Voids of the Rough Surface of the Sample

Figure 2. Sample location in the guarded hot plate.

الشكل ٢ : وضع العينة على جهاز القياس

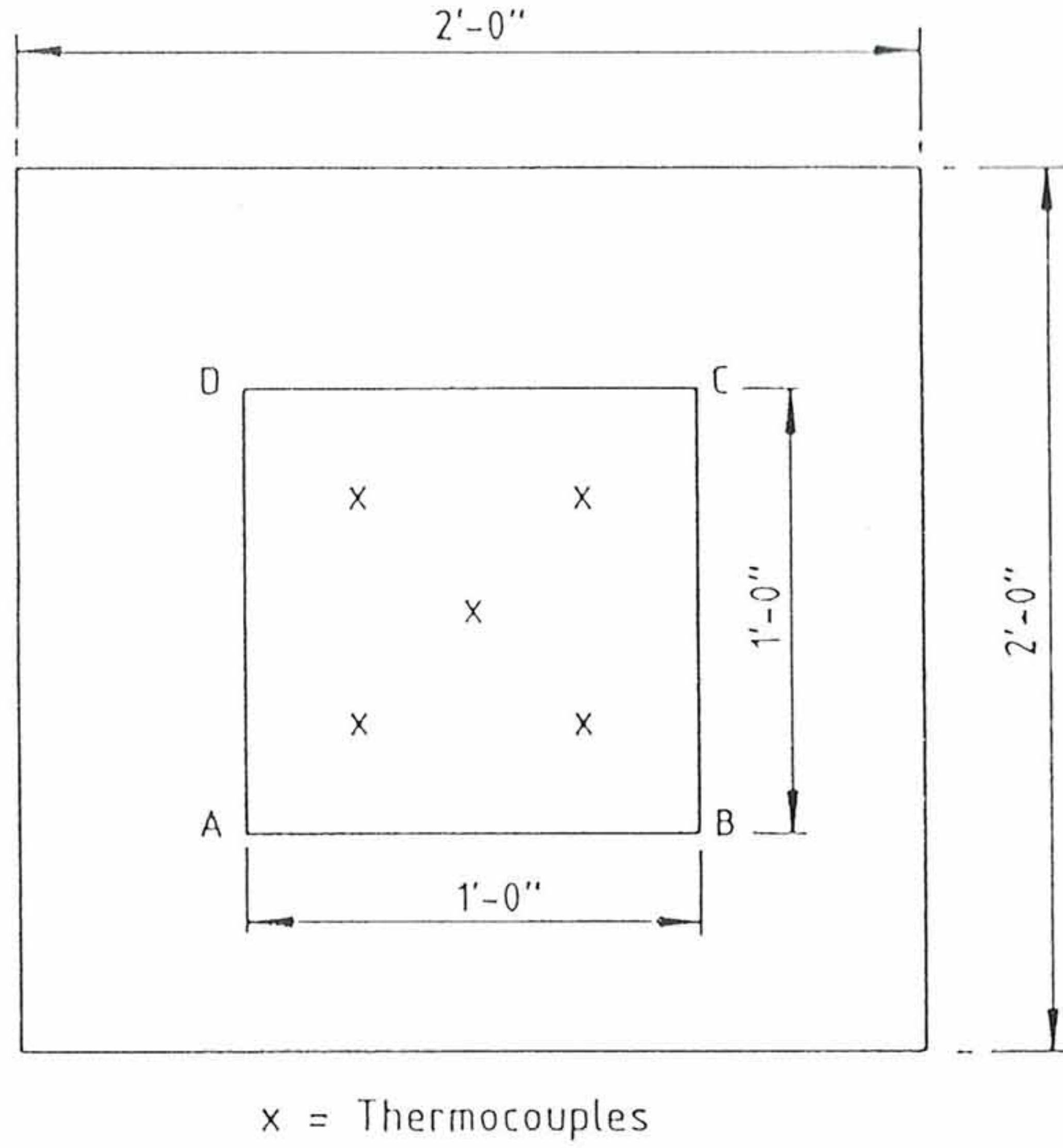


Figure 1 Sample dimensions and location of thermocouples.
 الشكل ١ : وضع مجسات الحرارة على العينة

In this work, thermal conductivity was measured under steady state heat flow according to the ASTM-C177 standard [5]. The Dynatech guarded hot plate, thermal conductance measuring system TCFG-R4-6 was used. This system conforms to ASTM-C177 and ISO 2582 specifications [6]. The machine is suitable for testing nonhomogeneous materials (e.g., concrete, masonry, wood products, cellular plastics, etc.).

The test samples (2 x 2 ft) were prepared in the laboratory in the same way they are assembled on walls. They were left to dry for two days. Five iron-constantan thermocouples were attached on each surface of the sample (Figure 1) to measure the surface temperature accurately. Temperatures were recorded by a separate data logger. The samples were then placed between an upper cold plate and a lower hot plate (Figure 2).

The thermal conductivity of a building material increases with the average temperature across the sample. The average temperature is usually made equal to 30°C (i.e., the cold side of the guarded hot plate is kept at 25°C and the hot side is kept at 35°C). In the present case, the hot side was increased to 45°C in order to get an average temperature of 35°C across the sample and, hence, to account for the hot summer conditions in Saudi Arabia. Two samples were tested for each of the four material types (Figure 3), and the average results of thermal conductivity, density, and thermal resistance are reported in Tables 1a and 1b and are shown graphically in Figures 4a and 4b. Test results for the other types as reported in Table A1 of the appendix. The measurement accuracy ranged between 2 to 4 percent.

3.2 SIMULATION

An appropriate selection of masonry material should lead to comfortable indoor conditions with minimum energy consumption. The least expensive way of making such a comparison is by a computer model. The next step is to make a cost-effectiveness analysis for the chosen option.

فى هذه الدراسة تم قياس الموصلية الحرارية حسب مواصفات الهيئة الامريكية لاختبار المواد (ASTM C-177) (0). وقد استعمل جهاز دايناتك TC6-R4-6 وهو مطابق للمواصفة الامريكية ASTM C-177 والمواصفة العالمية ISO 2582 (6). وهو صالح للاستعمال مع مواد البناء قيد الدراسة .

لقد تم تجهيز العينات بمقاس ٢ قدم X ٢ قدم وبنفس الطريقة التى يتم بها التجميع على الجدران الحقيقية وتركنت لتجف ثت ثبتت عليها مجسات قياس الحرارة من الجانبين (الشكل ١) ولقد استعمل جهاز لجمع المعلومات لتسجيل درجات الحرارة بجانب مقاسات الجهاز الاصلى (الشكل ٢) .

إن الموصلية الحرارية لجسم جامد تزداد مع زيادة درجة الحرارة ولذا فان القيم الموجودة فى المراجع والتى تم قياسها تحت درجات حرارة ٣٠ درجة مئوية لاتصلح فى بلد كالمملكة العربية السعودية نسبة لارتفاع درجات الحرارة فيها . وبناء على هذا الامر فقد تم ضبط درجة الحرارة المتوسطة على ٣٥ درجة مئوية . تمت التجارب على جميع انواع الطوب الفخارى والطابوق الاسمنتى والطوب الرملى والجدار الاسمنتى المسبق الصنع والموضحة على الشكل ٣ . وتوجد نتائج هذه الدراسة للانواع المعنية فى الجدول ١-أ والجدول ١-ب والرسم البيانى ٤-أ و ٤-ب . كما تم تحضير جدول لجميع الانواع ويوجد على الملحق ١-أ . ان الخطأ فى هذه المعلومات لايتجاوز نسبة ٢ الى ٤ فى المائة .

التمثيل الحسابى :-

إن الاختيار الصحيح لمواد البناء يؤدى الى الحصول على البيئة الحرارية الداخلية المناسبة للانسان والى تقليل استهلاك الطاقة . ولعل اسهل الطرق لدراسة الاختيارات هى الحاسب الآلى المعتمد على برنامج مناسب وبعد الحصول على هذه المعلومات يمكن اجراء الدراسة الاقتصادية لاختيار الأفضل .

SECTION 2 OBJECTIVES

The objective of this study was to carry out a simulation and cost-effectiveness study of energy use for a detached single family house built with clay bricks as compared to concrete blocks, sandlime bricks, and prefabricated concrete walls. The specific objectives were:

1. To measure the thermal conductivity of clay bricks, concrete blocks, prefabricated wall, and sandlime bricks under steady state conditions using the guarded hot plate available in our laboratories.
2. To prepare input data for modeling a typical average family house in the Dhahran area.
3. To make computer runs of the DOE-2.1A computer program using input data from (1) and (2) above.
4. To compare the four wall materials for energy consumption and cost-effectiveness.

SECTION 3 DISCUSSION OF THE WORK

As mentioned earlier, the building envelope is a major contributor in high energy consumption. For existing buildings, the only way to reduce the overall heat transfer coefficient of walls is by adding resistive insulation to the walls. For new buildings, a material with lower thermal conductivity can be used. This will reduce the cost of extra insulation and maintenance expenses. The risk of water vapor condensation within the wall fabric and on wall surface is also less with lower thermal conductivity.

3.1 MEASUREMENT OF THERMAL CONDUCTIVITY

The thermal conductivity of a material is defined as the rate of heat flow across a unit thickness of the material per unit surface area when a temperature difference of one degree is maintained across its surfaces. It is measured in $W/m^{\circ}K$. Thermal conductivity depends on the nature of the material, density porosity, water content, and temperature. Therefore, it is always preferred to give specifications of these variables. Unfortunately, these data are not always available.

الهدف :

تهدف هذه الدراسة لايجاد كمية الطاقة المستهلكة والميزة الاقتصادية لمنزل عائلي (فيلا) مبنى بالطوب الاحمر الفخاري الاسمنتى المسبق الصنع . ولتحقيق هذا الهدف كان علينا تحقيق الاهداف المحددة الآتية :-

- ١- قياس الموصلية الحرارية للطوب الاحمر الفخاري والطابوق الاسمنتى والجدار الاسمنتى المسبق الصنع باستعمال جهاز القياس الموجود بمعاملنا .
- ٢- تحضير المعلومات الضرورية لمثل هذه الدراسة لمنزل يمثل فيلا عائلي لمنطقة الظهران .
- ٣- ادخال هذه المعلومات فى برنامج الحاسب الآلى DOE-2.1A لايجاد حجم جهاز التكييف واستهلاك الطاقة .
- ٤- مقارنة مواد البناء الاربعة وتقدير الميزة الاقتصادية .

مناقشة للدراسة :

كما ذكرنا سابقاً فان الجدران والاسقف تساهم بصورة رئيسية فى استهلاك الطاقة . وبالنسبة للمباني القائمة فان الحل الوحيد هو اضافة العوازل الحرارية للجدران والاسقف . اما للمباني المستقبلية فانه يجب استعمال المواد ذات الموصلية الحرارية المتدنية وسيؤدى الى تقليل قيمة العازل الحراري الاضافي والصيانة . وسيقلل كذلك من مشاكل تكثف الرطوبة على الجدران وداخلها .

قياس الموصلية الحرارية :

الموصلية الحرارية هي كمية الحرارة التى تمررها مادة فى وحدة زمنية وبسماكة وحدة طولية واحدة اذا كان الفرق فى درجة الحرارة بين وجهى المادة تساوي درجة حرارة واحدة وتقاس عادة بـ (وحدة حرارة بريطانية/قدم ساعة فهرنهايت) أو (واط/كلفن م) . وتعتمد الموصلية الحرارية على طبيعة المادة وكثافتها وكمية المسام والرطوبة ودرجة حرارتها . ويفضل دائماً اعطاء هذه الخصائص اذا توفرت ولكنها فى العادة غير متوفرة .

SECTION 1 INTRODUCTION

This is the final report of the project titled *Simulation of energy and cost effectiveness studies for residential buildings built from clay bricks versus other masonry construction*. The objective of this project was to carry out measurements of the thermal conductivity of clay bricks, concrete blocks, sandlime bricks, and prefabricated concrete walls. The data obtained by these measurements were used in a simulation and cost effectiveness study of energy use for a detached single family house built with clay bricks as compared to the other three materials [1].

Buildings in Saudi Arabia consume more than 65 percent of the total electric energy generated in the country compared to 22 percent in the United Kingdom, 21 percent in U.S.A., and 21 percent in Australia [2,3,4]. Air-conditioning equipment is the main consumer with a yearly average of approximately 45 percent (70 percent out of the 65 percent) of the total electric energy generated in the country. The fuel cost is only 10 to 15 percent of the total cost of production, transmission, and distribution of electricity in the Kingdom. This means that even in an oil rich country like Saudi Arabia, power generation projects impose a heavy burden on the national budget. Also, the daily temperature range in Saudi Arabia (difference between minimum and maximum in a day) is about 15 to 20°C which imposes a requirement for adequate extra installed power generation to deal with peak loads during summer months. On the individual user side, air-conditioning equipment is usually oversized, and this leads to frequent on and off operation (or cycling) of the system and, consequently, high electric current draw and high "wear and tear" rates.

Efficient use of electricity is a duty of all users. Since buildings are the major consumers, all means should be explored to have energy efficient buildings. This is only possible by reducing the thermal load on buildings where the thermal transmission through the building envelope (wall and roof) constitutes about 40 to 45 percent of the total thermal load. About 25 percent of the thermal load is due to transmission through walls, The problem is one of selecting thermally appropriate wall material.

Wall material is characterized by its thermal conductivity for heat transmission into and out of the space. The ability of a wall to reduce the peak load and delay its effect on the space depends on its mass concentration (e.g., kg/m²) and its specific heat. Therefore, the major concern of this project was to compare four types of commonly used wall materials from the point of view of thermal conductivity as well as energy consumption and cost effectiveness.

المقدمة :

هذا التقرير يحتوى على نتائج الدراسة المسماة "دراسة لاستهلاك الطاقة والتكلفة لمسكن بالطوب الأحمر الفخارى مقارنة مع مواد البناء الاخرى". الغرض من هذه الدراسة هو اجراء الاختبارات اللازمة لتحديد الموصلية الحرارية لكل من الطوب الاحمر الفخارى والطابوق الاسمنتى والطوب الرملى والحائط الاسمنتى المسبق الصنع . ولقد استعملت نتائج الاختبارات لتقدير استهلاك الطاقة والميزة الاقتصادية لمنزل عائلى (فيلا) متوسط اذا تم بناؤه بالطوب الأحمر الفخارى مقارنة مع المواد الثلاث الاخرى (١) .

تستهلك المباني فى المملكة العربية السعودية حوالى ٦٥٪ من اجمالى انتاج الكهرباء فى المملكة مقارنة مع ٢٢٪ فى المملكة المتحدة و ٢١٪ فى الولايات المتحدة الامريكية و ٢١٪ فى استراليا (٢، ٣، ٤) . وإن اجهزة تكييف الهواء هي صاحبة النصيب الاكبر من هذا الاستهلاك بمقدار ٤٥٪ من الناتج الاجمالى للكهرباء فى المملكة مما يعنى انه حتى فى الدول الغنية بالبتروول مثل المملكة فان انتاج الكهرباء يضع عبئاً كبيراً على ميزانية الدولة . وهناك عامل الجو وفارق درجات الحرارة (١٥ الى ٢٠ درجة مئوية) يجعلان من وضع احتياطى للطاقة لاستعماله وقت الذروة امراً ضرورياً . وعلى مستوى الفردى فان الزيادة فى حجم الجهاز يؤدى الى رفع معدل التشغيل والتوقيف ومن ثم الى زيادة استهلاك الطاقة وقطع الغيار .

ان ترشيد استهلاك الطاقة هو واجب كل فرد فى المجتمع . وبما ان المباني هى المستهلكة الاولى للطاقة فان واجبنا هو الوصول الى نوعية عالية الكفاءة من المباني . ان هذا ممكن فقط بتقليل الحمل الحرارى وبما أن التسرب الحرارى يشكل عاملاً أساسياً فى هذا الحمل (٤٠٪ الى ٤٥٪ من الحمل الحرارى الكلى) فان مشكلتنا تنحصر فى اختيار المواد المناسبة حرارياً للجدران والاسقف .

ان مواد الجدران تتميز عن بعضها بالموصلية الحرارية وبمقدرتها لتقليل للتسرب الذروى للحرارة . ولذا فان المهمة الرئيسية لهذه الدراسة كانت مقارنة الموصلية الحرارية لمواد البناء المستعملة فى المملكة بصورة رئيسية وكمية الطاقة المستهلكة وتكاليفها .

إن هذه الدراسة قد اوضحت أهمية اختيار مواد البناء على المستوى الفردي . وبما أن الطاقة الكهربائية مدعومة من قبل الدولة فان نتائج هذه الدراسة تدل على أن الاختيار الصحيح لمواد البناء سيؤدي الى تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية على المستوى القومي وبالتالي تقليل المنصرفات على التشغيل والصيانة وتقليل تكلفة محطات التوليد في المستقبل . هذا بجانب تأثيره الايجابي على البيئة .

LIST OF FIGURES

Figure	Title	Page
Figure 1.	Sample dimensions and location of thermocouples.....	4
Figure 2.	Sample location in the guarded hot plate.....	5
Figure 3.	Types of tested building materials.....	7
Figure 4a.	The thermal conductivity of building materials (metric units.).....	11
Figure 4b.	The thermal conductivity of building materials (British units.).....	12
Figure 5.	DOE-2 computer program configuration	14
Figure 6a.	Typical house, front elevation.....	16
Figure 6b.	Typical house, right side elevation.....	17
Figure 6c.	Typical house, left side elevation.....	18
Figure 6d.	Typical house, back elevation.....	19
Figure 6e.	Typical house, ground floor plan.....	20
Figure 6f.	Typical house, first floor plan.....	21
Figure 7.	Wall and roof construction.	22
Figure 8.	Capacity of air-conditioning systems for different wall materials with slab roof compared to Hordi roof.	30
Figure 9.	Total energy consumption for different wall materials with slab roof compared to Hordi roof.....	31
Figure 10.	Correlation of monthly energy consumption (MWh) for building material with clay brick.....	32

TABLE OF CONTENTS

Section	Title	Page
SECTION 1	INTRODUCTION.....	1
SECTION 2	OBJECTIVES.....	2
SECTION 3	DISCUSSION OF THE WORK.....	2
3.1	MEASUREMENT OF THERMAL CONDUCTIVITY.....	2
3.2	SIMULATION.....	3
3.2.1	<i>The DOE-2.1A Computer Program</i>	13
3.2.2	<i>Model House</i>	15
3.2.3	<i>Input Data</i>	23
3.3	COST ANALYSIS.....	23
SECTION 4	RESULTS AND DISCUSSION.....	24
SECTION 5	REFERENCES.....	33
APPENDIXFollowing page 34	34

LIST OF TABLES

Table	Title	Page
Table 1a.	Physical and thermal properties of building materials (in metric units).....	6
Table 1b.	Physical and thermal properties of building materials (in British units).....	6
Table 2.	Characteristics of building, system, and operating conditions.....	26
Table 3.	Schedules.....	27
Table 4.	Required air-conditioning system capacity and energy consumption for the typical house built of different types of building materials.....	28
Table 5.	Comparison of initial investment and energy costs (SR) for different types of building materials.....	29

SUMMARY

This report describes the project *Simulation of energy and cost effectiveness studies for residential buildings built from clay bricks versus other masonry constructions* carried out by the Research Institute of King Fahd University of Petroleum and Minerals for the Committee of Clay Brick Producers in Saudi Arabia. The work started on June 1, 1989 and ended on April 30, 1990.

A guarded hot plate was used to determine the thermal conductivity of clay bricks, cement blocks, sandlime bricks and prefabricated concrete wall. The procedure used in these tests conformed to ASTM Standard C-177. The results showed that the thermal conductivity of clay bricks ranged between 0.440 W/m²K (0.254 Btu/hr ft²F) and 0.750 W/m²K (0.433 Btu/hr ft²F) while the thermal conductivity of the other three materials ranged between 0.960 W/m²K (0.555 Btu/hr ft²F) and 1.389 W/m²K (0.803 Btu/hr ft²F). The highest thermal conductivity of clay bricks is by 22 percent lower than the lowest thermal conductivity of the other three materials. The most commonly used type of clay brick has a thermal conductivity which is 57 percent less than the lowest of the other three materials.

If the model house were built of clay bricks, it would 16 percent less electrical energy than if built of concrete blocks, 23 percent less than if built of sandlime bricks, and 25 percent less than if built of prefabricated concrete wall. The addition of a clay brick Hordi roof decreases electrical energy consumption of the model house by another 17 percent. If the walls of the house were built of concrete blocks, than a clay Hordi will reduce electrical consumption by 10 percent.

The initial investment equals the material cost and the cost of the air conditioning machine. Based on this, the model house built of clay bricks will cost 13 percent less than if built of concrete blocks, 34 percent less than if built of sandlime bricks, and 57 percent less than prefabricated concrete wall. Although the use of concrete Hordi will add to the material cost, it will reduce the electrical energy cost of the clay brick house by 17 percent and of the concrete block wall house by 15 percent.

Correlation of the monthly energy consumption of the model house built with clay bricks with the other three materials showed a minimum reduction of 9, percent in electric energy consumption if the house was built in other regions of the Kingdom.

ملخص

يعطي هذا التقرير وصفا لمشروع « دراسة مقارنة لتوفير الطاقة والتكلفة للبناء بالطوب الاحمر الفخاري مقارنة ب مواد اخرى مستعمله في المملكة العربية السعودية ». قام بتنفيذ هذا المشروع معهد البحوث بجامعة الملك فهد للبترول والمعادن لحساب لجنة مصنعي الطوب الاحمر الفخاري . بدأ العمل في ١ يونيو ١٩٨٩م واكتمل في ٣٠ مايو ١٩٩٠م .

تم قياس خاصية الموصلية الحرارية للطوب الاحمر الفخاري والطوب الاسمنتي والطوب الرملي والحائط الخرسانى المسبق التصنيع حسب مواصفات الهيئة الامريكية لاختيار المواد [ASTM C-177] . اظهرت النتائج ان الموصلية الحرارية للطوب الاحمر الفخاري تتفاوت بين ٤٤ ر . واط/م كلفن (٢٥٤ ر . وحدة حرارية/قدم ساعة فهرنهايت) و ٧٥٠ ر . واط/م كلفن (٤٣٣ ر . وحدة حرارية/قدم ساعة فهرنهايت) بينما تفاوتت الموصلية الحرارية للمواد الثلاثة الاخرى بين ٩٦٠ ر . واط/م كلفن (٥٥٥ ر . وحدة حرارية/قدم ساعة فهرنهايت) و ٣٨٩ ر . واط/م كلفن (٨٠٣ ر . وحدة حرارية/قدم ساعة فهرنهايت) . ان اعلى قيمة للموصلية الحرارية للطوب الاحمر الفخاري تقل عن اقل قيمة للموصلية الحرارية للمواد الثلاثة الاخرى ب ٢٢٪ . ان الطوب الاحمر الفخاري الاكثر شيوعا يقل موصليته الحرارية بمقدار ٥٧٪ عن اقل موصلية حرارية للمواد الثلاث الاخرى .

اذا بني المنزل النموذج من الطوب الاحمر الفخاري فانه سيستهلك كمية اقل من الطاقة الكهربائية . بما تساوي ١٦٪ عما اذا تم بناؤه بالطابوق الاسمنتي و ٢٣٪ عما اذا تم بناؤه بالطوب الرملي و ٢٥٪ عما اذا تم بناؤه بالجدار المسبق الصنع . أما اذا اضعنا سقف الهوردي بالطوب الاحمر الفخاري الى المنزل بجدار الطوب الاحمر الفخاري فانه بالامكان تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية بمقدار ١٧٪ عن السقف الاسمنتي وبمقدار ١٠٪ اذا كان الجدار بالطابوق الاسمنتي .

اذا اعتبرنا أن التكلفة هي قيمة مواد الجدار وجهاز التكييف معا فان المنزل النموذج سيكلف بناؤه بالطوب الاحمر الفخاري اقل بمقدار ١٣٪ عن تكلفة بنائه بالطابوق الاسمنتي و ٣٤٪ عن تكلفة بنائه بالطوب الرملي و ٥٧٪ عن تكلفة بنائه بالجدار المسبق الصنع . وبالرغم من الاضافة في التكلفة باستعمال هوردي الطوب الاحمر الفخاري فان تكلفة الطاقة الكهربائية ستقل بمقدار ١٧٪ عندما يكون الجدار بالطوب الاحمر الفخاري وبمقدار ١٥٪ عندما يكون الجدار بالطابوق الاسمنتي .

إن للعلاقة بين استهلاك الطاقة الشهرية لنفس المنزل اذا تم بناؤه بالمواد الاربعة في مناطق المملكة توضح استهلاكاً اقل بما يساوى ٩٪ في المتوسط لصالح الطوب الاحمر الفخاري .

PN 22037

The information contained in this report is the property of the Client, whose approval will be obtained prior to any distribution by the Research Institute, of the report or any Client-owned information contained therein. Also, the approval of the Research Institute should be obtained prior to distribution outside of Client's own organization of any abridgement or summary of this report.

FINAL REPORT

SIMULATION OF ENERGY AND COST EFFECTIVENESS STUDIES FOR RESIDENTIAL BUILDINGS BUILT FROM CLAY BRICK VERSUS OTHER MASONARY CONSTRUCTION

Prepared for


COMMITTEE OF CLAY BRICK PRODUCERS IN SAUDI ARABIA

Prepared by:
Energy Resources Division

Ramadan 1410 H
April 1990 G



Approved by:


Abdallah E. Dabbagh,
Director

THE RESEARCH INSTITUTE
KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLEUM & MINERALS

DHAHRAN, SAUDI ARABIA

REPORT

FINAL REPORT

SIMULATION OF ENERGY AND COST EFFECTIVENESS STUDIES FOR RESIDENTIAL BUILDINGS BUILT FROM CLAY BRICK VERSUS OTHER MASONARY CONSTRUCTION

Prepared for

Committee of Clay Brick Producers in Saudi Arabia



THE RESEARCH INSTITUTE

KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLEUM & MINERALS

DHAHRAN, SAUDI ARABIA