



PROGRAMA *AUDITCAD* PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO EDILICIO BASADO EN AUDITORÍAS ENERGÉTICAS Y DE CONFORT.

Jorge Czajkowski

IDEHAB, Instituto de Estudios del Hábitat. Facultad de Arquitectura y Urbanismo.

Universidad Nacional de La Plata. Calle 47 Nro 162 (1900) La Plata, Argentina.

URL: http://members.tripod.com/IDEHAB_FAU_UNLP/ Email: czajko@yahoo.com

RESUMEN: El conocimiento del comportamiento edilicio respecto del confort y el uso de energía puede realizarse mediante la implementación de auditorías. Para modelizar ese comportamiento deben evaluarse muchos casos. Se desarrolló un programa cuyo objetivo consiste en reducir la mayor cantidad de etapas reservando tiempo al diseño. Es una personalización para Autocad 14 que integra bases de datos de sistemas constructivos y bioclimáticos. Permite predecir las necesidades de energía para mantener las condiciones medidas de confort, los aportes de energía inferidos de las mediciones totales y discriminados por vectores energéticos (combustibles, ocupación e insolación), el grado de ajuste de la auditoría, etc. Posee como antecedente al EnergoCAD que permitía diseñar un edificio de complejidad variable, evaluando su comportamiento energético en múltiples escenarios tecnológicos y bioclimáticos a lo largo de un año, mensualmente. Se exponen las características del sistema, el modelo bioclimático y ejemplos de aplicación.

ABSTRACT: Building behavior knowledge in relation to the comfort and the energy use can be carried out through audits implementation. To modelize that behavior many cases should be evaluated. A program was developed whose objective consists in reducing the number of stages reserving time to the design. It is a personalization for Autocad 14 that integrates constructive systems and bioclimatics databases. It allows to predict the energy necessities to maintain the comfort measured conditions, the inferred energy contributions of the total and discriminated mensurations by energy vectors (fuels, occupation and insolation), the audit's degree adjustment, etc. It has as antecedent the EnergoCAD that allowed to design a building of variable complexity, evaluating their energy behavior in multiple technological and bioclimatics stages along one year, monthly. The system's characteristics, the bioclimatic model and application examples are exposed.

1. Introducción

Cuando se desea ampliar el nivel de conocimientos sobre la relación Hábitat – Energía en el sector edilicio: residencial, educativo, hospitalario, comercial, etc.; debemos pensar en proyectos de investigación que incluyan un plan de auditorías ambientales. Utilizando las técnicas de auditoría para determinar el comportamiento edilicio respecto del confort y el uso de la energía.

Si se desea obtener algún grado de representatividad estadística se deberá pensar en auditar varios centenares de casos. Esto implica una gran movilización de recursos económicos, instrumentales y humanos.

Posteriormente se deberá procesar y analizar una cantidad de datos realmente grande que demandará muchas horas/hombre.

El proceso es relativamente largo y tedioso ya que se debe procesar la información dimensional y tecnológica del edificio, realizar un balance térmico con el fin de conocer la demanda de energía y compararlo con la energía consumida obtenida de la auditoría. Luego verificar el ajuste entre calculado y medido.

De querer plantearse un mejoramiento en la envolvente para lograr ahorros de energía o mejoras en el confort se debe reiniciar el proceso variando parámetros. Todo este proceso puede mejorarse integrando, automatizando y simplificando etapas en un entorno de diseño asistido por computadora.

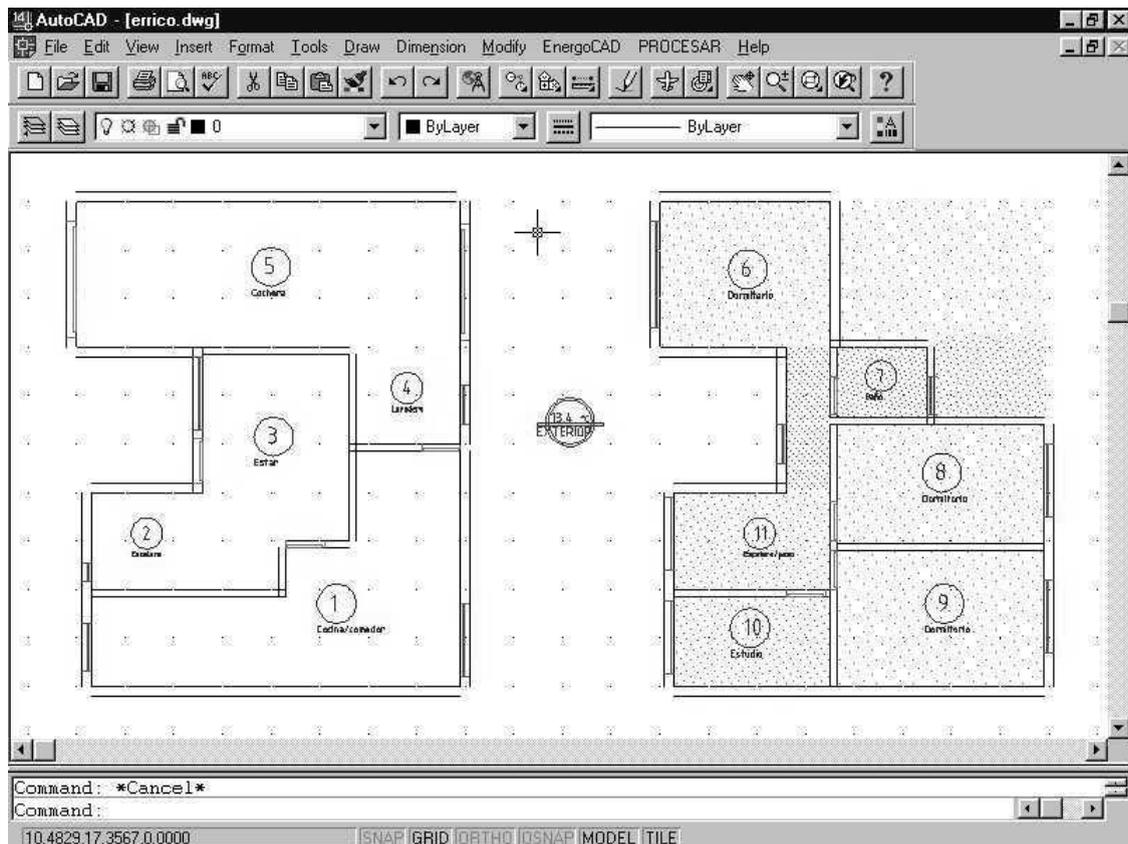
Es así que se desarrolló un programa cuyo objetivo consiste en reducir la mayor cantidad de etapas reservando tiempo al diseño.

Posee como antecedente al sistema EnergoCAD¹, desarrollado a principios de los 90, que permitía diseñar un edificio de complejidad variable y evaluar su comportamiento energético en múltiples escenarios tecnológicos y bioclimáticos a lo largo de un año, mensualmente.

2. Características del programa

La arquitectura del sistema se encuentra dividida en tres partes: a. Unidad de Preprocesamiento gráfico; b. Unidad de Exportación y clasificación y c. Unidad de Procesamiento y análisis.

- a. Unidad de Preprocesamiento gráfico: Esta unidad es una personalización del Autocad 14 que integra en un entorno de diseño las características dimensionales del edificio analizado con bases de datos de sistemas constructivos y cuadros de diálogo para el ingreso de datos provenientes de la auditoría.

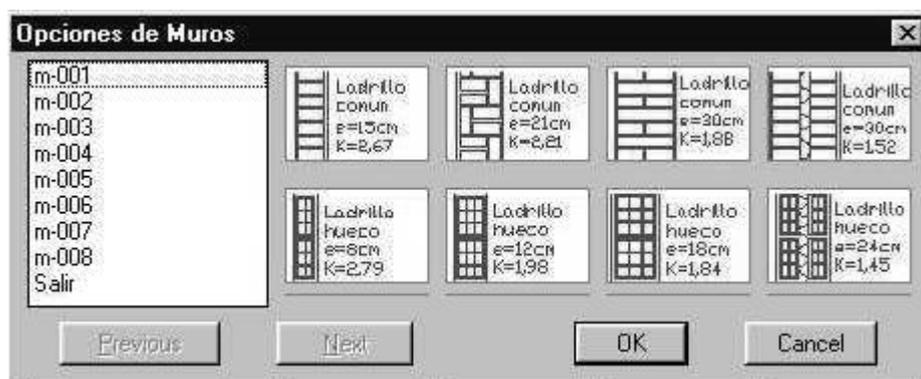


Este entorno se desarrolló como un menú específico, fácilmente intercambiable que no afecta al funcionamiento del Autocad, sino que lo amplía y complementa.

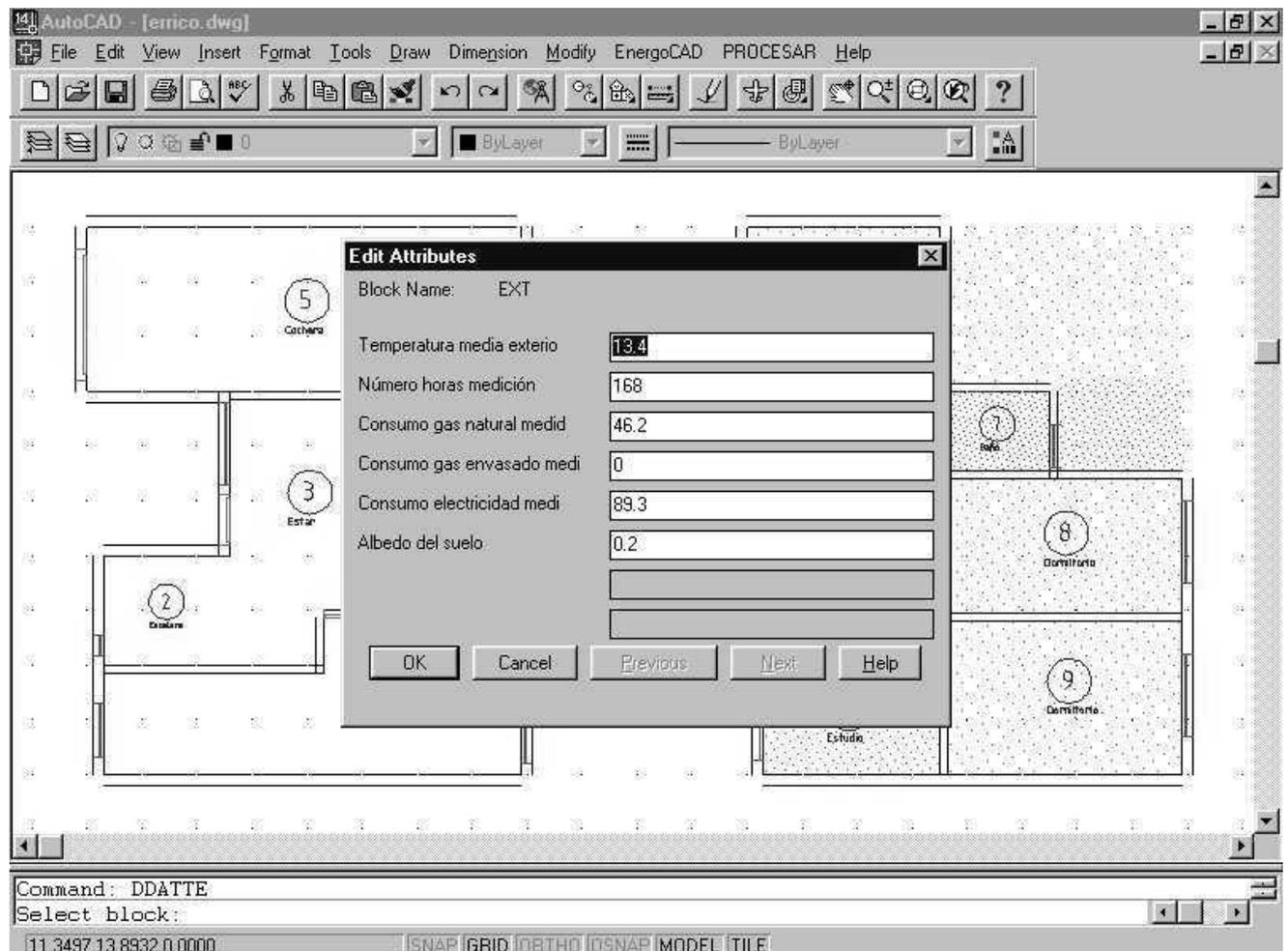
El entorno *AuditCAD* permite el manejo de múltiples variables: dimensionales, orientación, sistemas constructivos, temperaturas en cada local y exterior, grado de ocupación de locales, grados de exposición, grados de protección en aberturas (diurno y nocturno), horas medición consumo energía, consumos de energía, etc.

Prácticamente toda la gestión de información propia del edificio se realiza dentro del entorno. Si se desea analizar alternativas arquitectónicas o variaciones en la orientación solo debemos realizar una copia del edificio a un lado y continuar con el análisis.

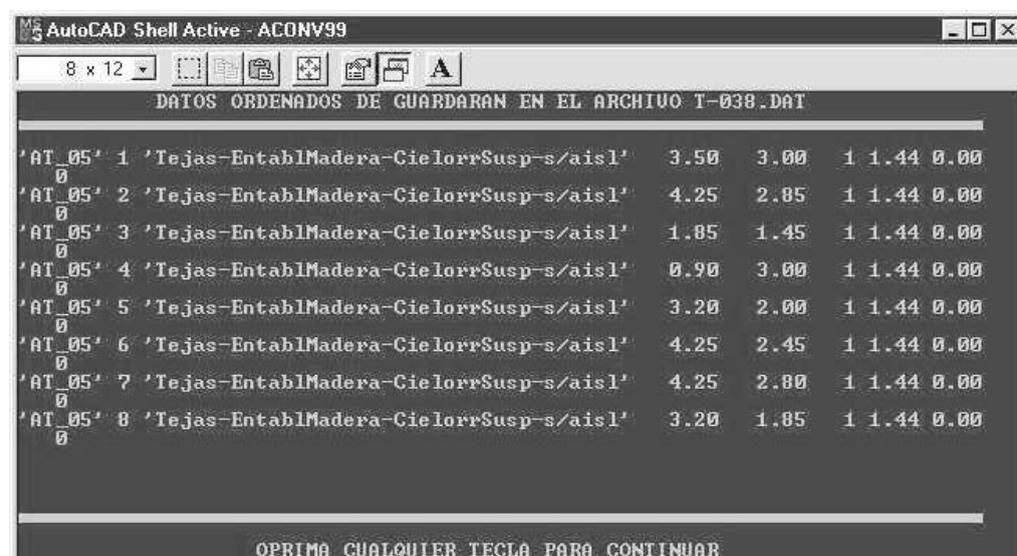
La selección de un objeto constructivo, por ejemplo un muro, es simple y solo deberemos seleccionarlo de un menú gráfico (ver figura).

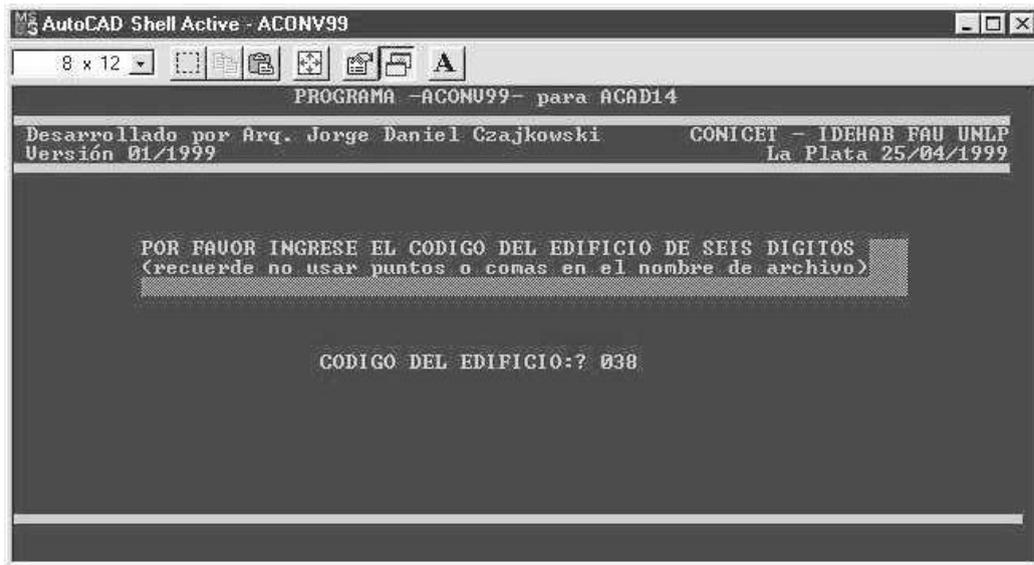


La edición del objeto que guarda la información de las condiciones ambientales exteriores al edificio (temperatura, horas de medición, consumo de energía y albedo del entorno) es simple y solo bastará con seleccionarlo (ver figura)



b. Unidad de Exportación y clasificación: Esta unidad permite luego de seleccionados los locales a evaluar, exportar y ordenar los datos en un formato compatible con el programa AudCAD. Este asigna un código a la base de datos exportada (ver figuras).





- c. Unidad de Procesamiento y análisis: Esta unidad permite seleccionar el escenario bioclimático, a partir del cual determinará las necesidades de energía para mantener las condiciones medidas de confort, los aportes de energía inferidos de las mediciones totales y discriminados por vectores energéticos (combustibles, ocupación e insolación), el grado de ajuste de la auditoría, etc.



Las figuras muestran una secuencia de trabajo con el *módulo AudCAD* donde se puede observar que los únicos datos adicionales que deberemos ingresar son: el código del edificio, la localidad donde deseemos evaluarlo, la cantidad de renovaciones de aire estimadas para el período frío del año, la temperatura base de calefacción y la de enfriamiento.

```
MS-DOS AutoCAD Shell Active - AUDCAD99
8 x 12
DATOS CLIMATICOS DISPONIBLES

El volumen de la unidad D no tiene etiqueta
El número de serie del volumen es 1353-0BCF
Directorio de D:\acad14\CLIM

GSUAREZ.DAT    GRALACHA.DAT    GRALPICO.DAT    LAPLATAA.DAT    LAPLATAO.DAT
MDELPLAT.DAT  MECOCHEA.DAT   PATAGONE.DAT    LP.DAT          AEROPARQ.DAT
BBLANCA.DAT   CORDOBAA.DAT

12 archivo(s)          12.353 bytes
0 directorio(s)       232.636.416 bytes libres

Desea continuar [S/N]
```

```
MS-DOS AutoCAD Shell Active - AUDCAD99
8 x 12

A U D C A D '99

Autor: Arg. Jorge Czajkowski
CONICET - IDEHAB PAU UNLP

Version 1.0
La Plata 29/04/99

Desea continuar [S/N]
```

Estos últimos datos se consideran arbitrarios y deberán ser adoptados por el profesional que realice la evaluación energética. En cuanto a la elección de las temperaturas de confort no existen tantos problemas y en las normas que se utilicen como referencia se las puede encontrar. Pero con las renovaciones de aire es diferente ya que si desearamos calcularlas nos encontraríamos con que son pocas las normas que nos proveen de un procedimiento. En el caso de las normas argentinas (IRAM 11604/99) se decidió eliminar el procedimiento de cálculo utilizado por más de 15 años ya que por una parte era inexacto y por otra sumamente engorrosa en su determinación.

La principal razón es que debe contarse con carpinterías que se encuentren homologadas y se conozca su permeabilidad al aire para varias velocidades de viento. Por ahora esto es casi un imposible en nuestros países. En función de esto se decidió adoptar un solo valor para las renovaciones de aire= 2.

El programa AuditCAD 1.0/99 cuenta con bases de datos de más de 80 localidades del país conteniendo datos medios mensuales de temperaturas (máximas, medias y

mínimas), humedad (relativa y tensión de vapor), velocidad del viento, índice de claridad atmosférica KT y radiación solar sobre el plano horizontal.

El módulo en función de esta información calcula las temperaturas de diseño, los grados día de calefacción y enfriamiento (ver figura)

MES	KT	RAD	TMED	TMAX	TMIN	TMXA	TMNA	GDC18	GDE25	UU	TU	HR
ENE	0.52	22.2	22.4	28.4	16.7	0.0	0.0	0	105	19	18.5	69
FEB	0.54	20.9	21.6	27.7	16.3	0.0	0.0	0	76	18	18.8	72
MAR	0.51	16.6	19.6	25.3	14.5	0.0	0.0	0	9	16	17.3	76
ABR	0.52	13.0	16.0	21.9	10.8	0.0	0.0	60	0	15	14.9	79
MAY	0.48	9.2	12.7	18.2	8.1	0.0	0.0	164	0	15	12.7	81
JUN	0.44	7.1	9.8	14.8	5.6	0.0	0.0	246	0	16	10.6	83
JUL	0.44	7.6	9.4	14.4	5.6	0.0	0.0	267	0	17	10.3	84
AGO	0.48	10.7	10.2	15.6	5.7	0.0	0.0	242	0	17	10.4	79
SET	0.48	14.1	12.6	17.9	7.5	0.0	0.0	162	0	20	11.6	78
OCT	0.49	17.8	15.0	20.5	10.1	0.0	0.0	93	0	20	13.5	78
NOV	0.51	21.2	18.1	23.5	12.3	0.0	0.0	0	0	20	16.1	76
DIC	0.49	21.4	21.1	26.9	15.3	0.0	0.0	0	59	20	17.1	69
	0.49	15.1	15.7	21.3	10.7			1234	249	18	14.3	77

El modelo bioclimático sobre el cual trabaja el programa es un análisis energético en estado estacionario.

Para la determinación de las ganancias solares por ventanas se realiza un análisis horario a lo largo de un año basado en el modelo de Liu y Jordan con arreglos de Orgill y Holland en la radiación difusa.

3. Un ejemplo de aplicación:

El ejemplo que se presenta es una vivienda unifamiliar auditada en invierno y verano de la ciudad de La Plata. Posee una superficie de 115 m² y residen 6 personas. Se la auditó durante 168 hs, durante las cuales se consumieron 46.2 m³ de gas natural y 89.3 Kw/h de electricidad. El área y volumen calefaccionados fueron 62.6 m² y 342.3 m³ respectivamente. En la siguiente figura puede verse que las necesidades de energía calculadas por balance fueron de 2046 MJ, mientras que de las mediciones surge que se han aportado 2211 MJ. Esto representa una diferencia de 7.46% entre calculado y medido. Los aportes discriminados son: 55% en gas natural, 14.5% en electricidad, 7.4% por ocupación y 23.1% debidos ganancias solares. Las técnicas de auditoría y el instrumental utilizado se tratan en otro trabajo.

En las siguientes figuras pueden verse las otras salidas del programa: a. Asignación porcentual de pérdidas térmicas por partes de la envolvente junto a indicadores dimensionales, energéticos y de calidad térmica del edificio; b. Demanda de energía mensual en calefacción para tres tipos de combustible con y sin aporte solar y c. Carga térmica mensual en refrigeración basado en el discutido modelo de grado días de enfriamiento.

AutoCAD Shell Active - AUDCAD99

8 x 12

ASIGNACION PORCENTUAL DE PERDIDAS TERMICAS SEGUN BALANCE

CONSUMO DEBIDO A PERDIDAS POR MUROS.....W/°C...	177	28.30 %
TECHOS.....W/°C...	90	14.32 %
VENTANAS.....W/°C...	139	22.22 %
PUERTAS.....W/°C...	12	2.00 %
PISOS.....W/°C...	38	6.13 %
RENOU. DE AIRE..W/°C...	170	27.07 %

RESUMEN CARACTERISTICAS DIMENSIONALES Y TERMICAS DEL EDIFICIO

COMPACIDAD.....	0.27
FACTOR DE FORMA.....	0.94
FACTOR DE EXPOSICION.....	0.45
CARGA TERMICA DEL EDIFICIO.....KW.h.....	18557
COEFICIENTE UA DEL EDIFICIO.....W/°C.....	627
COEFICIENTE UA POR UNIDAD DE AREA.....W/m²°C.....	10.01
COEFICIENTE UA POR UNIDAD DE VOLUMEN.....W/m³°C.....	2.59

Ver Resultados [1 /2 /3 /4 /N]

AutoCAD Shell Active - AUDCAD99

8 x 12

COMPARACION BALANCES ENTRE APORTES MEDIDOS Y CALCULADOS

Horas medición consumo energía:	168	hs	Dias medición:	7.00	dias
Consumo gas natural	46.20	m3			
Consumo Gas Envasado	0.00	Kg			
Consumo Energía Eléctrica	89.30	KW/h			
Temperatura del exterior media:	13.40	°C			
Temperatura del interior media:	18.80	°C			
Numero de renovaciones de aire:	2.00	ra			
Número de habitantes	6	Hab			
Area habitable estudiada	62.63	m²			
Volumen climatizado estudiado	242.30	m3			

NECESIDADES DE ENERGIA CALCULADAS POR BALANCE	: 2046.91	MJ	
Aportes de energía debidos al Gas Natural	: 1216.63	MJ	55.0 %
Aportes de energía debidos al Gas Envasado	: 0.00	MJ	0.0 %
Aportes de energía debidos a la Energía Eléctrica	: 321.48	MJ	14.5 %
Aportes de energía debidos a la ocupación	: 163.30	MJ	7.4 %
Aportes de energía debidos a la insolación	: 510.45	MJ	23.1 %

APORTES DE ENERGIA INFERIDO A PARTIR DE MEDICIONES	: 2211.86	MJ
DIFERENCIA PORCENTUAL ENTRE CONSUMO CALCULADO Y MEDIDO:	-7.46	%

Ver Resultados [1 /2 /3 /4 /N]

En la figura del punto a puede observarse que las pérdidas debidas a las renovaciones de aire significan un 27.1%, esto hace que ese valor adoptado al comienzo de RA=2 posea un gran peso relativo en el balance térmico. Míni-mas variaciones en las renovaciones del aire causan importantes va-riaciones en las deman-das de energía.

MS AutoCAD Shell Active - AUDCAD99

8 x 12

BALANCE TERMICO Y DEMANDA DE ENERGIA MENSUAL - GRADOS DIA CALEFACCION

Energia	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOU	DIC	AÑO
GD (18°C)	0	0	0	60	164	246	267	242	162	93	0	0	1234
Perdidas	0	0	0	9	25	37	40	36	24	14	0	0	186
Ganancias	15	17	16	16	15	13	13	15	15	16	16	15	182
Balance %	0	0	0	183	60	36	33	41	63	112	0	0	98

en kWh* 100

Sin sol	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOU	DIC	AÑO
m3/mes/10	0	0	0	8	23	34	37	33	22	13	0	0	171
Kg/mes/10	0	0	0	6	18	26	28	26	17	10	0	0	132

Con sol	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOU	DIC	AÑO
m3/mes/10	0	0	0	0	9	22	25	20	8	0	0	0	84
Kg/mes/10	0	0	0	0	7	17	19	15	6	0	0	0	65

Ver Resultados [1 /2 /3 /4 /N]

La calidad térmica del edificio es relativamente buena con un $G = 2.6 \text{ W/m}^3\text{°C}$ y un $UA = 627 \text{ W/°C}$.

El aporte potencial de energía por ganancia directa en los meses fríos es del 33 al 41 %. Esto en condiciones ideales, ya que el modelo supone que todos los días del mes son claros. Mientras que se ha medido que el 75% de los días invernales en La Plata se encuentran con el cielo parcial o totalmente cubierto. En función de esto se trabaja en un arreglo que considere días tipo (si se poseen datos) que permita un menor error en el diagnóstico mensual y anual.

MS AutoCAD Shell Active - AUDCAD99

8 x 12

CARGA TERMICA MENSUAL EN REFRIGERACION - GRADOS DIA ENFRIAMIENTO

La determinación del comportamiento térmico edilicio en verano basado en el modelo de Grados Día de Enfriamiento se encuentra en discusión. Los resultados obtenidos no son confiables y por lo tanto no deben ser tomados en consideración. Se recomienda realizar un balance dinámico.

Energia	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOU	DIC	AÑO
Env.opaca	16	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9	37
Env.vidrio	15	17	16	0	0	0	0	0	0	0	0	15	63
Total	31	28	18	0	0	0	0	0	0	0	0	23	101

en kWh* 100

Ver Resultados [1 /2 /3 /4 /N]

4. Conclusión:

El desarrollo de esta herramienta significó una importante ayuda para el tratamiento del centenar de casos auditados por los proyectos UREAM y REDES que llevan adelante el grupo de investigación. Las mayores inestabilidades e inconsistencias del modelo bioclimático desarrollado para el programa AuditCAD son de difícil control. Como ser la obtención de datos experimentales de: infiltraciones de aire por carpinterías y

conductos, variaciones en la resistencia térmica superficial interior de los locales, una mejor discriminación de los aportes de energía (calor sensible y calor latente), características de las superficies transparentes, efectos del entorno (sombras cercanas y lejanas), rendimientos de los artefactos, calidad de los combustibles, etc. A pesar de lo mencionado no debemos olvidar que la diferencia entre calculado y medido se encuentra en un valor cercano al 10%. Sobre algunos de estos temas se está trabajando con el fin de obtener en el corto y mediano plazo valores experimentales que permitan un mayor ajuste en la evaluación energética, que serán presentados oportunamente para su discusión.

5. Referencias:

Czajkowski Jorge. Sistema Informatizado en ambiente CAD *EnergCAD* para el diseño bioclimático y diagnóstico energético energético de edificios en múltiples escenarios. Anais III Encontro Nacional ANTAC. Conforto no ambiente Construído. Gramado, 1995. Págs. 366-370. (Nota: el trabajo fue mal compilado en las actas y no se lo consigno en el índice)

Una versión de prueba del programa AuditCAD 1,0/99 puede descargarse en la dirección: <http://pagina.de/auditcad> o en http://members.tripod.com/IDEHAB_FAU_UNLP/auditcad/