

# ACONDICIONAMIENTO TERMICO AMBIENTAL DE UN EDIFICIO ESCOLAR CON ORIENTACION NO APROPIADA EN LA CIUDAD DE RIO CUARTO

A. Fasulo \*, A. Esteves ^, L. Lifschitz #, A. Pattini ^

\* Universidad Nacional de San Luis - Chacabuco y Pedernera  
5700 San Luis - Fax: 0652 30224

^ Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV) CRICYT  
C.C. 131 - 5500 Mendoza - Fax: 061 380370

# Universidad Nacional de Río Cuarto - Ruta Nac. 36 Km 601  
5800 Río Cuarto - Fax: 058 623925

## RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolla una propuesta de solarización, y sugerencias de mejoras tendientes a la conservación de energía, de un edificio destinado a la ampliación del Colegio Galileo Galilei de la Ciudad de Río Cuarto. El mismo contará con dos plantas, encontrándose en la actualidad, ejecutada una sola planta. La propuesta contempla el uso de un sistema activo con colectores planos para flujo de aire, y la inclusión de un sistema de almacenamiento de energía. Se realiza el cálculo de la fracción de energía suministrada por el sistema propuesto, en relación a los requerimientos de calefacción, para distintas áreas de colectores (en módulos de 24 m<sup>2</sup>), utilizándose para ello el Método f-chart, [1], y se efectúa una evaluación económica. Se han determinado los niveles de iluminación natural en el interior de las aulas, resultando, para los días claros, dentro de los recomendados por la Norma IRAM AADL J 20-05, a pesar de no tener las ventanas la orientación apropiada.

## INTRODUCCION

La Ciudad de Río Cuarto está ubicada a 33° 03' de latitud sur y a 64° 16' de longitud oeste, siendo su altitud de 421 m sobre el nivel del mar, encontrándose en la zona IIIa, de acuerdo a la clasificación bioambiental de la República Argentina, según Norma IRAM 11603. Los datos climáticos correspondientes a los meses de época invernal, consignados en TABLA I, nos muestran que el mes de julio es el más frío del año, con una temperatura media de casi 9 °C, una temperatura mínima media de 5,3 °C y una temperatura mínima absoluta de -5,6 °C. En la misma se indican los GDCD -tb: 18 °C-, Grados-día de calefacción diurna, mensual, para una temperatura base de 18 °C, tomándose por diurno el intervalo comprendido entre las 6 horas y las 20 horas -referencia [1]-

|           | ABRIL | MAYO | JUN   | JUL   | AGO   | SET  |
|-----------|-------|------|-------|-------|-------|------|
| TM (°C)   | 16,4  | 12,8 | 9,5   | 8,9   | 10,9  | 13,3 |
| TMIA (°C) | -1,0  | 0,0  | - 2,4 | - 5,6 | - 0,8 | 0,9  |
| TMIM (°C) | 13,1  | 9,2  | 5,8   | 5,3   | 6,9   | 9,4  |
| GDCD-b18° | 35,7  | 91,8 | 113,4 | 114,3 | 96,4  | 43,3 |
| H (MJ/M2) | 14,7  | 11,1 | 9,2   | 8,8   | 11,8  | 13,4 |

TABLA I: VARIABLES CLIMÁTICAS DE RÍO CUARTO

TM: temperatura media. TMIA: temperatura mínima absoluta. TMIM: temperatura mínima media. H: radiación global diaria horizontal en valor medio mensual. GDCD(18°C): grados-día, mensuales, de calefacción diurna, base 18 °C.

El Colegio, objeto del presente trabajo, se encuentra en el denominado microcentro de la Ciudad de Río Cuarto, en una zona de densidad edilicia elevada, indicándose la ubicación catastral en la FIGURA 1.

- Ubicación del Colegio:  
 (1) Sector en construcción  
 (2) Patio  
 (3) Sector existente

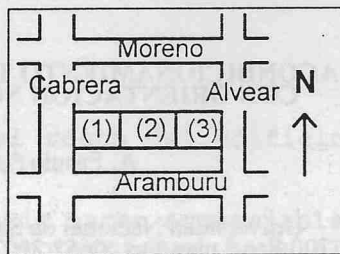


FIGURA 1

## SITUACION ACTUAL DEL PROYECTO

La construcción existente (planta baja del sector anteriormente citado) es del tipo tradicional con muros medianeros de ladrillo macizo de 30 cm de espesor, y muros no medianeros de bloques de hormigón, siendo de 20 cm de espesor nominal los que dan al exterior, y de 15 cm los interiores. El revestimiento de los muros consta de jaharro y enlucido a la cal. La estructura del cerramiento superior es de losa de hormigón armado, con cielorraso aplicado a la cal. Sobre la losa se encuentra en la actualidad una cubierta de techo con aislación térmica insuficiente y sobre ésta una aislación hidrófuga. Los solados son de mosaico granítico. Las ventanas son de perfiles livianos de aluminio, con hojas corredizas, en tanto las puertas que dan al exterior son de chapa de acero conformada, con insuficiente hermeticidad relativa a infiltraciones de aire. Las puertas interiores son de tipo placa. Asimismo las aulas están separadas por sendas puertas plegadizas de dimensiones considerables a efectos de permitir mayor versatilidad en el uso de las aulas.

Considerando ambas plantas, de acuerdo al proyecto arquitectónico, resulta un coeficiente volumétrico G de 1,028 W/m<sup>3</sup> °C, resultante de los datos consignados en TABLA II

TABLA II

|           |                                  |                           |
|-----------|----------------------------------|---------------------------|
| Grupo I   | - Cerram. vert. con el exterior: | 0,575 W/m <sup>3</sup> °C |
| Grupo II  | - Techos:                        | 0,221 W/m <sup>3</sup> °C |
| Grupo III | - Pisos:                         | 0,042 W/m <sup>3</sup> °C |
| Grupo IV  | - Pérdidas por infiltración:     | 0,190 W/m <sup>3</sup> °C |

En este caso resulta un requerimiento energético, para los meses consignados en TABLA I, de 110111 MJ, equivalente a 2867 m<sup>3</sup> de gas natural.

## OPTIMIZACION ENERGETICA

A los fines de la conservación energética, las mejoras a introducir están dadas fundamentalmente, por razones económicas, en la inclusión de planchas de poliestireno expandido de 5 cm de espesor en muros y de 10 cm en techos. Por razones de accesibilidad la ubicación de dichas aislaciones es del lado interior en los muros medianeros existentes y exterior en el resto de muros, y en techos. Asimismo por razones económicas se mantienen las aberturas con una sola hoja de vidrio, porque los perfiles no están conformados para la colocación de doble vidrio, aunque se deja abierta la posibilidad de reducir las pérdidas térmicas mediante el reemplazo de las aberturas por otras que permitan la colocación de doble vidrio -o placas de policarbonato-. No obstante, se ha considerado, como paliativo para reducir las pérdidas térmicas por infiltración de aire, la colocación de burletes en ventanas y la adición de pequeñas "planchuelas" en puertas de chapa a los fines de lograr doble contacto en las mismas.

No se puede acceder a introducir modificaciones en pisos o fundaciones, tendientes a la conservación de energía, dado que los pisos -a la fecha de nuestra intervención- ya estaban colocados.

Para ambas plantas, y tomando en cuenta las aislaciones consideradas, se determina que el coeficiente volumétrico G es de 0,604 W/m<sup>3</sup> °C, resultante de los datos consignados en la TABLA III

TABLA III

|           |                                  |                           |
|-----------|----------------------------------|---------------------------|
| Grupo I   | - Cerram. vert. con el exterior: | 0,360 W/m <sup>3</sup> °C |
| Grupo II  | - Techos:                        | 0,052 W/m <sup>3</sup> °C |
| Grupo III | - Pisos:                         | 0,042 W/m <sup>3</sup> °C |
| Grupo IV  | - Pérdidas por infiltración:     | 0,150 W/m <sup>3</sup> °C |

En este caso resulta un requerimiento energético, para los meses a que se ha hecho referencia, de 64695 MJ, equivalente a 1684 m<sup>3</sup> de gas natural, resultando un ahorro en el requerimiento de energía, respecto a la situación correspondiente sin las aislaciones mencionadas, del 41 %.

## APORTES INTERNOS

Dado que en el sector analizado -en ambas plantas-, la utilización de las ocho aulas ubicadas en el mismo, corresponde al nivel pre-primario, se establece una ganancia de calor por alumno, equivalente a 49 W, ponderándose, asimismo, una ganancia de calor de 200 W debido al uso de computadoras. Estimando una ocupación diaria de seis horas, y un número de treinta alumnos por aula resulta una ganancia de calor, en un mes, de 7776 MJ. Estos aportes no se tomarán en cuenta, lo que permitirá elevar, ligeramente, la temperatura base de 18 °C, para mayor confort.

## SISTEMA SOLAR

a) Está constituido básicamente, por colectores solares, en módulos de 12 m<sup>2</sup>, con una placa de policarbonato de 4 mm de espesor, una chapa colectora negra y una envolvente de chapa galvanizada calibre N° 24, previéndose una aislación con lana de vidrio alumnizada con un espesor de 5 cm. La separación entre esta aislación y la chapa negra colectora es de 5 cm, por donde circulará el aire para el acondicionamiento térmico. A su vez entre la placa colectora y la cubierta de policarbonato la separación será cercana a los 3 cm, resultando un espesor total del colector de, aproximadamente, 13 cm.

b) Se determinó, para superficies de colectores de 24 m<sup>2</sup>, 48 m<sup>2</sup>, 72 m<sup>2</sup>, 96 m<sup>2</sup>, 120 m<sup>2</sup>, 144 m<sup>2</sup>, 168 m<sup>2</sup> y 192 m<sup>2</sup>, la fracción F -ponderada- de la energía suministrada por los colectores solares, en relación a los requerimientos térmicos -tomando en consideración la ganancia de calor referida en el subtítulo precedente-, calculados para los meses de abril a setiembre, mediante el Método f-Chart, referencia [2], adoptándose para los parámetros intervinientes en dicho método de cálculo, valores extraídos de la referencia [3]. Los valores resultantes de F -porcentuales- se consignan en TABLA IV

TABLA IV

| Sup. col.<br>[m <sup>2</sup> ] | F<br>[%] | C.S.<br>\$ | Sup. col.<br>[m <sup>2</sup> ] | F<br>[%] | C.S..<br>\$ |
|--------------------------------|----------|------------|--------------------------------|----------|-------------|
| 24                             | 25,2     | 3440       | 120                            | 73,1     | 17200       |
| 48                             | 43,0     | 6880       | 144                            | 79,1     | 20640       |
| 72                             | 51,7     | 10320      | 168                            | 82,8     | 24080       |
| 96                             | 64,5     | 13760      | 192                            | 87,0     | 27520       |

C.S.: Costo solar: es el costo del sistema colector de aire más acumulador de piedras.

## ACUMULACION

En principio, se consideró utilizar únicamente colectores de aire en la azotea del edificio, que calienten el aire que se circularía por el edificio. Esta solución es factible, pero existe un gran inconveniente para utilizar la energía con mayor rendimiento; indudablemente el calor se dispone en el momento de menos pérdidas al exterior (mayor radiación solar y temperatura exterior) y por lo tanto de menor demanda de potencia. Posteriormente, cuando se pone el sol, y baja el nivel térmico del interior de las aulas, se necesita un refuerzo de energía. Por otro lado, cuando comienza el ciclo diario en la mañana, hay una demanda de energía para calefaccionar los ambientes y aún la energía solar no tiene una intensidad como para proveerla.

Se ha pensado que, utilizando un acumulador de calor, podría una cantidad de energía sobrante en las horas pico, almacenarse para poder utilizarla horas más tarde o en horas de la mañana del día siguiente.

De acuerdo a la metodología de referencia [4], se ha dimensionado un acumulador de piedras que se adapta al bloque de 24 m<sup>2</sup> (dos colectores de 12 m<sup>2</sup> cada uno) y cuyas medidas pueden consultarse a continuación, tomando en consideración que puede repetirse en caso de ser necesario otro bloque de 24 m<sup>2</sup>.

|                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| Volumen del acumulador:            | 3,6 m <sup>3</sup>                   |
| Area transversal al flujo          | 2,4 m <sup>2</sup>                   |
| Diámetro medio de la piedra        | 2 cm                                 |
| Peso del material sólido (piedras) | 6700 kg (considerando 30% de vacíos) |

## EVALUACION ECONOMICA

La evaluación económica se tiene en cuenta como referencia para determinar la conveniencia o no de la inversión. No se ha puesto en consideración otros aspectos, como preservación del medio ambiente, factor derivado del ahorro de recursos energéticos no renovables, etc.

En cuanto al aspecto de conservación de energía, las estrategias utilizadas implican una inversión inicial (colocación de aislaciones térmicas en elementos sólidos, reducción de infiltraciones, etc.) que permitirán un ahorro de energía anual que puede cuantificarse a partir de los valores indicados más arriba y el costo de la energía (4,06 \$/MJ para el gas natural y 12,3 \$/MJ para el gas envasado en cilindros de 45 kg). Igualmente la incorporación del sistema solar implica una erogación inicial de dinero, que producirá un ahorro anual.

Tanto la inversión inicial como los ahorros ocasionados pueden compararse por medio de algunas figuras convenientes tales como el Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) o el período de recupero de la inversión inicial.

En el caso de la conservación de energía, el costo de la inversión inicial alcanza los \$ 7865 para el total del edificio. El ahorro incurrido es de 45416 MJ que representan \$ 1119 por año, para el caso de consumir gas envasado y \$ 368 por año para el caso de gas natural. En ambos casos se ha tenido en cuenta la incorporación de artefactos de tiro balanceado y un rendimiento térmico del 50%. De este modo el período de recupero de la inversión inicial para cada uno de los combustibles resulta, 7 años para el caso de utilizar gas envasado y 21 años para el caso de gas natural.

En la tabla siguiente, TABLA V, se indican para 24 m<sup>2</sup> de área colectora y múltiplos de la misma, el porcentaje de ahorro, la energía auxiliar consumida y la ahorrada, el costo de la energía gastada y de la ahorrada, el costo inicial, el VAN, el período de recupero de la inversión, el VAN Marginal y el VAN Marginal por cada peso invertido. El VAN nos indica el valor presente del flujo de fondos a lo largo de la vida útil del equipo (considerado 30 años).

A juzgar por los resultados, se podría concluir que económicamente, de utilizarse gas envasado, podremos recuperar la inversión en un período más acorde con la situación actual. El gas natural, por su precio reducido, genera períodos de recupero muy extensos, perdiendo atracción la inversión en este caso. Debemos indicar, sin embargo, que es necesario tener en cuenta la externalidades que pueden ocurrir a lo largo de los 30 años de vida útil considerada.

TABLA V

| Gas env.  |          | RENDIMIENTO EQ |                |                 | 0,5     |               |         |               |  |
|-----------|----------|----------------|----------------|-----------------|---------|---------------|---------|---------------|--|
| AREA COL. | % ahorr. | ENERGIA AUXIL. | ENERGIA AHORR. | \$GAST. 0,02465 | \$AHORR | COSTO INICIAL | VAN [€] | Amort. [años] |  |
| 0         | 0        | 64695          | 0              | 3190            | 0       | 0             | 0       |               |  |
| 24        | 0,25     | 48521          | 16173,8        | 2392            | 797     | 3440          | 5127,8  | 4,3           |  |
| 48        | 0,43     | 36876          | 27818,9        | 1818            | 1372    | 6880          | 7927,97 | 5,0           |  |
| 72        | 0,51     | 31701          | 32994,5        | 1563            | 1627    | 10320         | 7402,94 | 6,3           |  |
| 96        | 0,64     | 23290          | 41404,8        | 1148            | 2042    | 13760         | 8540,51 | 6,7           |  |
| 120       | 0,73     | 17468          | 47227,4        | 861             | 2329    | 17200         | 8348    | 7,4           |  |
| 144       | 0,79     | 13586          | 51109,1        | 670             | 2520    | 20640         | 7157,94 | 8,2           |  |
| 168       | 0,83     | 10998          | 53696,9        | 542             | 2648    | 24080         | 5302,83 | 9,1           |  |
| 192       | 0,87     | 8410           | 56284,7        | 415             | 2775    | 27520         | 3447,72 | 9,9           |  |

| Gas nat.  |          | RENDIMIENTO EQ |                |                 | 0,5     |               |         |               |  |
|-----------|----------|----------------|----------------|-----------------|---------|---------------|---------|---------------|--|
| AREA COL. | % ahorr. | ENERGIA AUXIL. | ENERGIA AHORR. | \$GAST. 0,00812 | \$AHORR | COSTO INICIAL | VAN [€] | Amort. [años] |  |
| 0         | 0        | 64695          | 0              | 525             | 0       | 0             | 0       |               |  |
| 24        | 0,25     | 48521          | 16173,8        | 787             | 262     | 3440          | -448,92 | 13,1          |  |
| 48        | 0,43     | 36876          | 27818,9        | 598             | 451     | 6880          | -1664   | 15,2          |  |
| 72        | 0,51     | 31701          | 32994,5        | 514             | 535     | 10320         | -3973,6 | 19,3          |  |
| 96        | 0,64     | 23290          | 41404,8        | 378             | 672     | 13760         | -5735,9 | 20,5          |  |
| 120       | 0,73     | 17468          | 47227,4        | 293             | 766     | 17200         | -7936   | 22,4          |  |
| 144       | 0,79     | 13586          | 51109,1        | 220             | 829     | 20640         | -10465  | 24,9          |  |
| 168       | 0,83     | 10998          | 53696,9        | 178             | 871     | 24080         | -13212  | 27,6          |  |
| 192       | 0,87     | 8410           | 56284,7        | 136             | 913     | 27520         | -15959  | 30,1          |  |

## ILUMINACION NATURAL

El análisis de la iluminación natural exterior realizado en este trabajo, se divide fundamentalmente en dos partes. La primera de ellas analiza la cantidad de luz exterior disponible en la Ciudad de Río Cuarto para los meses de marzo a diciembre, en valores horarios, para situaciones de cielo claro. Estos valores están tabulados en la TABLA VI. La segunda parte analiza la cantidad de luz natural que llega a los distintos puntos del plano de trabajo en el interior del aula a través de la ventana. Es importante mencionar que la orientación de las mismas (oeste en algunas aulas y este en otras) no es la adecuada para iluminación natural. A pesar de esto, los valores calculados, para días claros, se encuentran todos dentro de los recomendados por la Norma IRAM AADL J 20-05 para iluminación interior en aulas (valor mínimo recomendado 300 lux).

En las gráficas siguientes se muestran estos valores para el día 21, al mediodía solar, en el mes de junio. Estos valores disminuirán para los días nublados.

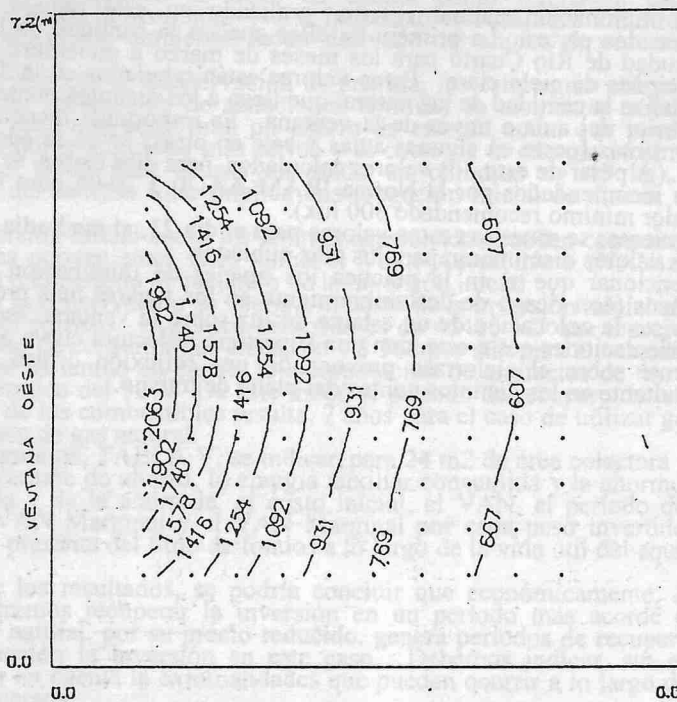
Es importante mencionar que si en la práctica los niveles de iluminación interior no resultaran homogéneos (con riesgo de deslumbramiento en los lugares más próximos a la ventana) se ha previsto la colocación de un estante de luz sobre la ventana, especialmente diseñado para las orientaciones oeste-este, con una superficie reflectora curva que proyecta la luz solar incidente sobre el cielorraso provocando una reflexión difusa desde éste, nivelando la luz resultante en los distintos puntos del plano de trabajo.

TABLA VI

TABLA DE ILUMINACION NATURAL EXTERIOR PARA RIO CUARTO

Valores de Iluminancia Horizontal Global Horaria ( Lux )

| HORA | MARZO  | ABRIL  | MAYO   | JUNIO  | JULIO  | AGOST. | SEPT.  | OCT.   | NOV.    | DIC.    |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 7    | 13,180 | 3,095  | 38     |        | 40     | 2,704  | 12,544 | 23,296 | 31,735  | 35,87   |
| 8    | 35,397 | 21,841 | 12,150 | 9,768  | 13,485 | 21,255 | 34,692 | 46,005 | 53,988  | 57,985  |
| 9    | 55,469 | 40,702 | 29,370 | 26,964 | 31,538 | 39,959 | 54,609 | 65,991 | 73,433  | 77,223  |
| 10   | 71,077 | 55,563 | 43,272 | 40,789 | 45,789 | 54,662 | 70,063 | 81,463 | 88,478  | 92,093  |
| 11   | 80,948 | 64,987 | 52,127 | 49,550 | 54,777 | 63,976 | 79,827 | 92,248 | 98,008  | 101,527 |
| 12   | 84,325 | 68,212 | 55,160 | 52,546 | 57,850 | 67,162 | 83,166 | 94,602 | 101,292 | 104,802 |
| 13   | 80,948 | 64,987 | 52,127 | 49,550 | 54,777 | 63,976 | 79,827 | 92,248 | 98,008  | 101,527 |
| 14   | 71,077 | 55,563 | 43,272 | 40,789 | 45,789 | 54,662 | 70,063 | 81,463 | 88,478  | 92,093  |
| 15   | 55,469 | 40,702 | 29,370 | 26,964 | 31,538 | 39,959 | 54,609 | 65,991 | 73,433  | 77,223  |
| 16   | 35,397 | 21,841 | 12,150 | 9,768  | 13,485 | 21,255 | 34,692 | 46,005 | 53,988  | 57,985  |
| 17   | 13,180 | 3,095  | 38     |        | 40     | 2,704  | 12,544 | 23,296 | 31,735  | 35,87   |



0.0  
Analysis: Horizontal Illuminance

Scale: 0.010 = 100

0.0(m) Mes Junio (mediodía)  
cielo Claro

## CONCLUSIONES

La inclusión de conservación de energía en edificios con orientación no apropiada, genera períodos de amortización razonables, si la energía proviene de gas envasado u otra más costosa. En el caso en que se disponga de gas natural, los mismos se incrementan apreciablemente.

Conclusiones similares se pueden efectuar en el caso de incorporar solarización, debiendo mencionarse que el período de recupero de la inversión, para el caso de gas natural, se torna -en un análisis económico- demasiado extenso. Se considera que a los fines de una toma de decisiones deben considerarse, entre otros, aspectos de índole ecologista.

Dado que el colegio se encuentra ubicado en una zona provista de gas natural, si aún así, existiese la decisión de avanzar en la segunda etapa, solarización, para la toma de decisión se podría efectuar un estudio más exhaustivo incorporando tecnologías de cálculo por simulación.

## REFERENCIAS

- [1]: Variables Climáticas de la Región Centro Sur de Córdoba  
Estado de Avance. - A. Fasulo, J. Barral, A. Adaro, A. Lema - Comunicación Personal
- [2]: Performance Prediction for Solar Heating Systems - W. A. Beckman, S. A. Klein, J. A. Duffie
- [3]: Thermal Performance of three Solar Air Heaters - B. F. Parker, M. R. Lindley, D. G. Colliver, W. E. Murphy - Solar Energy, Vol. 51, N° 6, pp. 467-479, 1993.
- [4]: Design and Installation Manual for Thermal Energy Storage (1980) - R. L. Cole, K. J. Nield, R.R. Rohde, R. M. Woloswicz - Argonne National Laboratory, Illinois.