

## VERIFICACION DE ASOLEAMIENTO IN SITU

### EVALUACION DE DISTINTOS METODOS

Evans, J.M. y Gutierrez, M. A.

Colaboradores: Roman, C. y Ruano, M.

Cátedra de Diseño Bioambiental, Facultad de Arquitectura y Urbanismo,  
Universidad de Buenos Aires, Pabellón 3, Ciudad Universitaria,  
Nunez, Capital Federal, C.P. 1428.

#### RESUMEN

El objetivo de este trabajo es la evaluación de distintos métodos de verificación de asoleamiento en terrenos existentes, espacios interiores y en la determinación de lugares aptos para el emplazamiento de colectores para sistemas solares activos o pasivos. Se comparan y métodos, existentes y nuevos, enumerando sus ventajas y desventajas con el empleo de criterios tales como facilidad de uso, precisión, limitaciones geométricas, costos y facilidad de construcción. Se han desarrollado dos métodos que permiten una rápida verificación de las horas de asoleamiento en edificios existentes y alrededor de los mismos o en terrenos con obstrucciones tales como árboles, accidentes topográficos, etc. La sencillez de construcción y el bajo costo del instrumental necesario favorecen la aplicación y difusión de estos métodos.

#### INTRODUCCION.

La evaluación de asoleamiento en situaciones donde existen obstrucciones se puede dividir en dos etapas:

- 1). Definición de zonas en la bóveda celeste desde la que se puede recibir asoleamiento directo, por no existir obstáculos tales como edificios, aleros, montañas, árboles (tomando en cuenta posibles variaciones estacionales de follaje), etc..
- 2). Determinación de la trayectoria del sol a través de las zonas sin obstrucciones (definidas en la primera etapa) y la medición del número de horas de sol directo según la época del año.

La primera etapa permite además una estimación de la intensidad de radiación difusa con cielo cubierto según las obstrucciones, mientras la

segunda indica la de la radiación directa. En cada etapa es necesario utilizar una proyección de la bóveda celeste sobre un plano o superficie curva para compatibilizar las sombras de los obstáculos y la trayectoria del sol.

Los métodos que se consideran en la evaluación son los siguientes:

Método	Característica
1. Fotografiar	lente de ojo de pez
2. Fotografiar	vertical hacia abajo con superficie reflectora curva.
3. Visual	vertical hacia abajo con medidor solar tipo "INU"
4. Visual	superficie reflectora con trayectoria.
5. Visual	pantalla transparente curva.
6. Visual	pantalla transparente plana.
7. Mecánico	horizontógrafo.
8. Fotografiar	vistas horizontales panorámicas.
9. Visual	reloj solar con espejo.

#### CRITERIOS DE EVALUACION

Para la evaluación de los distintos métodos se han utilizado los siguientes parámetros:

Altura del sol:

La trayectoria más crítica es la del solsticio de invierno, ya que las horas de sol útil logradas en esta fecha aseguran mejor asoleamiento en otras épocas del año, con mayor intensidad sobre una superficie horizontal durante un período más largo.

La radiación de las primeras y últimas horas del día es de poca utilidad, debido a la absorción de la



atmósfera y a la mayor probabilidad de obstrucciones cuando la altura del sol es baja. Por tal razón, varias normas de asoleamiento exigen una altura angular mínima del sol. Límites mínimos de la radiación directa o fijan límites horarios con el mismo fin (ref. 1 y 2).

Así, las latitudes del sur del país, con bajas alturas del sol en invierno, requieren métodos que permitan determinar las zonas con obstrucciones de altura limitada. Por ejemplo, en Ushuaia (latitud 55°S) la altura máxima del sol apenas alcanza los 12° en el solsticio de invierno. El método a adoptar debe facilitar la medición del tamaño angular de las obstrucciones comprendidas entre 5° y 15° de altura.

Sin embargo, en el norte del país (latitud 24°S) la altura máxima del sol será de 43° en la misma fecha. Un método que permita verificar el asoleamiento con alturas del sol superiores a 15° será apto para verificar hasta 8 horas de asoleamiento durante los períodos de mayor intensidad en esta latitud durante el invierno.

#### Facilidad de uso:

La comodidad y simplicidad de uso determinan en gran parte la aptitud de los métodos y sus posibilidades de aplicación. Entre los factores se consideran:

Facilidad de colocar y nivelar el aparato "in situ".

Necesidad de elementos complementarios de apoyo, como trípodes.

Posibilidad de determinar las horas de asoleamiento en el lugar de medición.

Posibilidad de obtener un registro (fotográfico) permanente.

Algunos métodos fotográficos no facilitan mediciones inmediatas, mientras que ciertos métodos visuales no resultan aptos para registros fotográficos. Uno de los métodos desarrollados durante este trabajo permite superar esas limitaciones.

#### Precisión:

Debido a sus características geométricas, los métodos tienen distintos grados de precisión en ciertos rangos de altura angular: por ejemplo, cercano al horizonte o al cenit.

En la mayoría de los casos, el grado de precisión no es muy crítico. Un error de 2° a 3° influye poco en las horas de asoleamiento. Sin embargo, se necesitará mayor precisión en el caso de colectores o aberturas orientados hacia el norte con obstrucciones lineales de la misma orientación y ubicados frente a ellos.

Una medición realizada en el punto más bajo de un colector o abertura registra el punto más crítico de la superficie receptora, ya que otros sectores de la superficie recibirán mayor asoleamiento.

En todos los casos, la precisión dependerá de la correcta nivelación y orientación del aparato. Algunos métodos permiten verificar estas variables utilizando la posición del sol en la bóveda celeste a una hora determinada. Será necesario calcular las correcciones correspondientes según la diferencia entre la hora legal y la hora solar media.

#### MÉTODOS

##### Método 1. Lente "Ojo de Pez".

Este método permite la verificación del asoleamiento en espacios exteriores por medio de una fotografía que registra la totalidad de la bóveda celeste con una proyección estereográfica a través de un lente especial. Sobre una ampliación de dicha fotografía se coloca una transparencia del diagrama de la trayectoria solar de la latitud correspondiente y del mismo tamaño en forma tal que el círculo del horizonte de la fotografía coincida con el de la trayectoria. Es imprescindible colocar el eje de la máquina fotográfica en sentido exactamente vertical. Dado que no existe un punto de referencia en el cenit, se puede nivelar la máquina utilizando el horizonte (ref. 3, 4 y 5).

#### Ventajas:

La fotografía permite una lectura de fácil comprensión y proporciona un registro permanente de las características geométricas de los obstáculos.

#### Desventajas:

El problema principal radica en la disponibilidad y alto costo del lente. La cámara "ojo de pez", originalmente desarrollada por Robin Hill, está fuera de producción. Nikon fabrica una versión cuyo costo supera

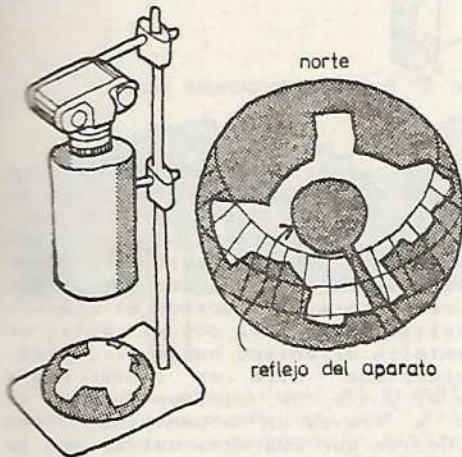


Los US\$ 500; también se encuentran en el mercado lentes para cámaras de 35 mm cuyo costo es de US\$ 200 aproximadamente pero con leves variaciones en la proyección angular de la imagen.

Se requiere un trípode para nivelar la cámara.

Resulta difícil regular la abertura debido al fuerte contraste y registra puntos de baja altura sobre el suelo. La ampliación de la fotografía necesita un cuidado especial para lograr el tamaño coincidente con el de la trayectoria del sol. Con este método, no se pueden hacer evaluaciones "in situ". (Ref. 3, 4, 5, y 7)

Método 2. Vertical Hacia Abajo con Superficie Refractora Curva.



Método 2 Superficie reflectora Globoscopio desarrollado por Pleijel

En un intento de superar las desventajas principales del método anterior, G. Pleijel desarrolló otro método usando un espejo parabólico convexo que refleja una imagen de la bóveda celeste. Esta superficie reflectora es más económica que el lente especial del método anterior. Sobre un soporte con base se monta una cámara enfocada hacia el espejo que se encuentra directamente debajo de la misma. Pleijel denominó su aparato "Globoscopio" (ref. 3, 4, 5 y 6).

Ventajas:

El costo es inferior al lente "ojo de pez". \*

El resultado tiene las mismas ventajas que el método 1: fácil comprensión, registro preciso y permanente.

El ajuste de la máquina

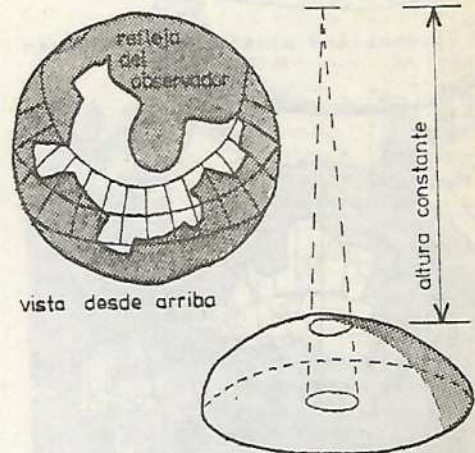
rotográfica es más sencillo debido a la posición del visor.

Desventajas:

Si bien el reflejo de la cámara y del soporte aparecen en la fotografía, este no representa, en general, una desventaja seria, ya que los problemas más críticos de asoleamiento aparecen cuando la altura del sol es menor de 60°.

Se requiere montar un aparato con una distancia fija entre el reflector y el lente. Algunos ejemplos indicados en las referencias tienen un tubo cilíndrico que actúa como marco de la fotografía y disimula la cámara.

Método 3. Visual hacia abajo : Medidor Solar "T.N.O."



Método 3 Superficie reflectora T.N.O.

El Instituto de Investigación de Salud Pública T.N.O. (Delft, Países Bajos) ha desarrollado un aparato muy sencillo para verificar asoleamiento e iluminación natural en el interior de viviendas, pero también resulta apto para analizar asoleamiento en espacios exteriores. El aparato consiste en un sector de estera maciza de plástico transparente de 12.5 cm de diámetro. En el centro de la base se encuentra un círculo y sobre la superficie curva está grabado otro: se ajusta la altura de la visión hasta que los dos círculos coincidan. En la base está impresa la trayectoria del sol en líneas blancas sobre fondo negro. Para verificar el asoleamiento se compara la trayectoria impresa en la base y el reflejo sobre la superficie curva del cielo con obstáculos (ref. 5 y 7).



**Ventajas:**

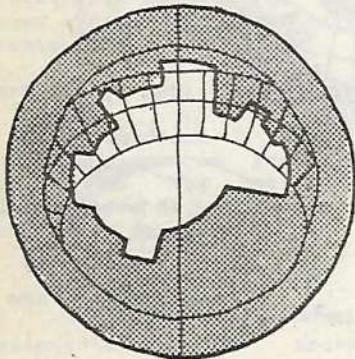
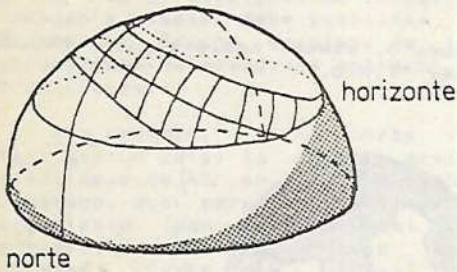
Se puede fotografiar el instrumento para obtener un registro permanente.

Es manuable, liviano y fácil de usar.

**Desventajas:**

El instrumento fue fabricado solamente para latitudes de los Países Bajos, comprendidas entre 50° y 53°, y no resulta sencillo construirlo para otras latitudes.

**Método 4. Superficie Reflectorora Curva con Trayectoria.**



Los autores han realizado una modificación del método 3 para implementarlo en latitudes correspondientes a la Argentina. Para simplificar la producción, se colocaron las líneas de la trayectoria del sol sobre el exterior de una superficie hemisférica.

**Ventajas:**

Se puede utilizar cualquier superficie curva reflectante.

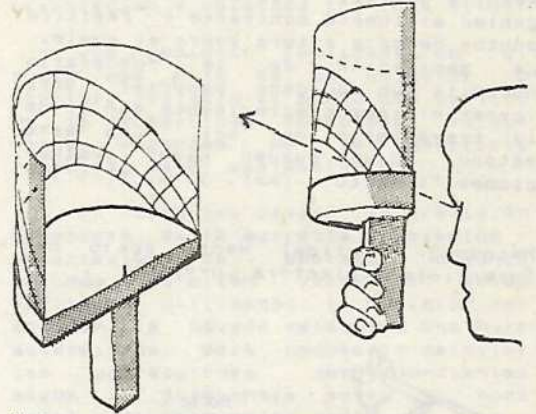
El registro fotográfico es más claro que el del instrumento T.N.O. debido a la facilidad de lectura de la trayectoria del sol sobre la superficie exterior.

De producción sencilla, el aparato es manuable, liviano y fácil de usar.

**Desventajas:**

El trazado de las líneas de la trayectoria del sol sobre una superficie curva con precisión es relativamente dificultoso.

**Método 5. Pantalla Transparente Curva.**



Método 5 Pantalla transparente curva

El aparato incorpora una proyección de la bóveda celeste y una trayectoria del sol sobre una superficie transparente curva. Esta pantalla se apoya sobre una base semicircular que cuenta con un gnomon como referencia. Colocando el aparato en sentido horizontal con el centro de la pantalla orientado hacia el norte, el observador mira en línea recta desde el punto del gnomon hacia el cielo a través de la pantalla. Toda obstrucción que aparezca detrás de la trayectoria del sol impedirá el asoleamiento en la hora y mes indicada. En los Estados Unidos se vende este aparato con lente, brújula y nivel, complementos que facilitan su uso.

**Ventajas:**

Sencillez de construcción.  
Rápida indicación del asoleamiento "in situ".  
Visuales directas hacia el cielo o los obstáculos, favoreciendo su uso como elemento didáctico.

**Desventajas:**

La precisión depende de la habilidad del observador para mantener el instrumental nivelado y correctamente orientado.

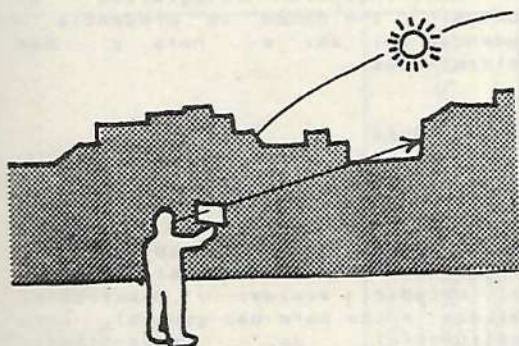
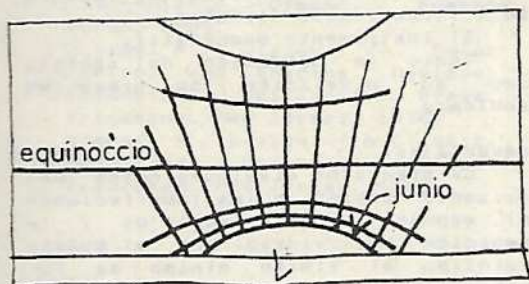
Es relativamente voluminoso y difícil de transportar comparado con los instrumentos de los métodos 3 y 4.

El método no permite una evaluación del sol cuando las alturas



superan los 60° aproximadamente, ni tampoco cuando el azimut supera 80° desde el norte hacia el este u oeste (sol de verano durante las primeras y últimas horas del día).

#### Método 6. Pantalla Transparente Plana.



Para simplificar el aparato del método 5, se puede usar una pantalla plana con una proyección distinta de la trayectoria del sol. La superficie plana no permite un ángulo de verificación tan amplio, pero al menos incluye la totalidad de la trayectoria del sol en invierno, la época del año más crítica. El menor tamaño del aparato y la restricción en el plano horizontal son las dos diferencias principales respecto al método 5. Para su construcción, se utilizan proyecciones gnomónicas: trayectorias del sol proyectadas sobre superficies planas (ref.7).

#### Método 7. Horizontógrafo.

Este aparato fue desarrollado en Alemania por F. Tonne en 1950. Tiene una base circular sobre la que se coloca el diagrama de la trayectoria del sol. El mecanismo tiene dos brazos móviles e interconectados y gira sobre un eje vertical. El observador gira el aparato, ajustando la inclinación de

un brazo para seguir el perfil de las obstrucciones a través de un visor en su extremo, mientras el segundo brazo traza el perfil sobre el diagrama. Las ventajas y desventajas del aparato indicadas en este trabajo son apreciaciones subjetivas, ya que no fue posible adquirir, fabricar o probar el aparato (ref.8).

#### Ventajas:

Un registro permanente trazado en el terreno.

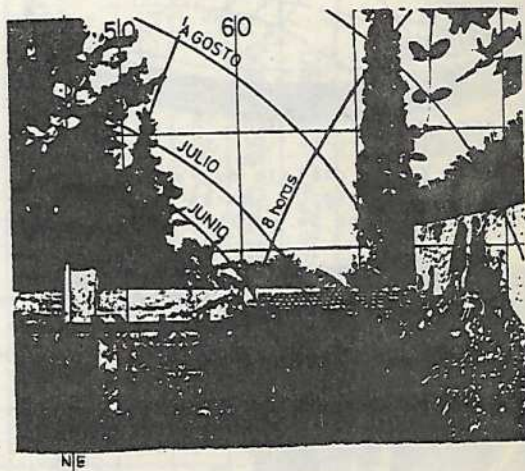
#### Desventajas

El aparato no está en venta y tampoco es de fácil construcción.

La exactitud del registro depende de la habilidad del observador y del movimiento mecánico (se supone que el tamaño reducido de los brazos no permite gran precisión).

Se necesita un trípode firme para apoyar el aparato.

#### Método 8. Fotografía Horizontal



Una fotografía tomada con una cámara sin lente especial solamente registra una proporción limitada de la bóveda celeste, pero una serie panorámica permite registrar un sector de hasta 30° de altura. La trayectoria del sol en verano supera este ángulo, pero la de invierno queda comprendida dentro del mismo, en latitudes desde el círculo ártico o antártico hasta 35°. En los casos donde las obstrucciones no exceden los 30°, una serie de fotografías también permitirán verificar el asoleamiento en verano y en latitudes menores.

#### Ventajas:

El registro permanente es de comprensión inmediata.



El ángulo horizontal de la toma corresponde a la visión normal.

No requiere un aparato especial.

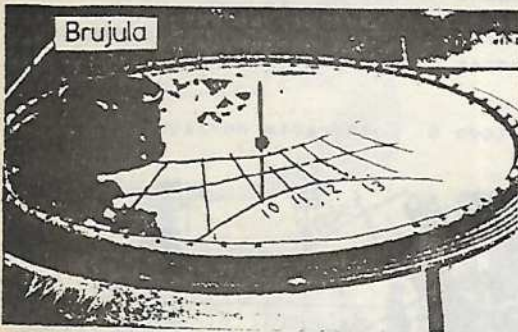
**Desventajas:**

La fotografía no proporciona una evaluación directa "in situ".

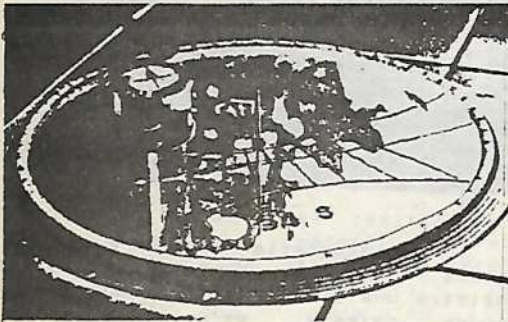
Aparecen pequeñas inexactitudes en la unión de las fotografías, cuando el eje de la cámara no está exactamente en posición horizontal.

La cobertura angular de una cámara normal con lente de 36mm es de aproximadamente  $40^\circ \times 30^\circ$ .

**Método 9. Reloj Solar con Espejo.**



Ejemplo 1. El reflejo del gnomon sobre las líneas de 10.00 horas en junio, fondo es cielo; se recibe sol directo.



Ejemplo 2. A las 11.00 horas, junio, el reflejo indica obstrucciones; estos obstáculos arrojan sombras.

Este método, desarrollado durante este estudio, utiliza un reloj solar horizontal delineado sobre un espejo con un gnomon central. Ubicando el reloj de sol sobre una superficie horizontal con su flecha orientada directamente al norte, el método de verificación es el siguiente:

Se ajusta la visión en posición tal que la intersección de las líneas correspondientes a un mes y una hora determinada, coincidan con el reflejo

de la punta del gnomon.

Si detrás de ésta se visualiza el cielo sin obstáculos, el punto recibirá sol en dicho momento; caso contrario, las obstrucciones bloquean el asoleamiento.

**Ventajas:**

El método es sencillo, de lectura fácil y resultados directos.

El instrumento es portátil.

Tanto la ubicación del aparato como su nivelación no presentan problemas.

**Desventajas:**

La precisión disminuye cerca del horizonte debido a las imperfecciones del espejo, dobles reflejos y la absorción del vidrio. En el modelo prototipo el límite mínimo es  $10^\circ$  aproximadamente, apto para latitudes desde el Ecuador hasta  $45^\circ$  N o S.

El registro fotográfico es puntual, indicando la presencia o ausencia del sol a hora y mes determinados.

**CONCLUSIONES**

Las características y ventajas de cada método, indicadas sintéticamente en la Tabla 1, han sido evaluadas según las posibles aplicaciones generales, respondiendo al objetivo del estudio: evaluar y desarrollar métodos aptos para uso general, como instrumental de proyectistas, instaladores de colectores solares, evaluadores, etc., además de especialistas e investigadores.

Dos métodos desarrollados durante este estudio combinan facilidad de construcción y simplicidad de uso. El método 4, Superficie Refleктора Curva con Trayectoria, representa la mejor alternativa para registros fotográficos. La precisión es suficiente en un amplio espectro de aplicaciones. El reflejo del observador no influye en la verificación de asoleamiento, salvo al mediodía, en verano, en latitudes menores de  $30^\circ$ . El otro método desarrollado, Reloj Solar con Espejo, resulta más apto en el centro y norte del país, donde la altura máxima del sol supera los  $25^\circ$  en invierno.

El tercer método desarrollado, Fotografías Panorámicas, con diagrama de trayectoria del sol superpuesto a las mismas, constituye un complemento útil y resulta el método más apto para presentar las condiciones de asoleamiento "in situ" cuando la altura del sol no excede los  $30^\circ$ .



BIBLIOGRAFIA

19. Acondicionamiento Térmico de Edificios: Clasificación Bioambiental de la Republica Argentina. Norma IRAM 11.603. IRAM, Buenos Aires, 1978.
20. Resolución FONA VI 89, Anexo II, Secretaria de Vivienda y Ordenamiento Urbano, Buenos Aires, 1985.
30. Olgyay, A. y Olgyay, V.. Solar Control and Shading Devices. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1976.
40. Olgyay, V.. Design with Climate, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1963.
- 5). Burberry, P., The Sun, Architect's Journal Information Library, Architect's Journal, 12 Enero 1966, pp105-140.
- 6). Pliejel, G.. The Computation of Natural Radiation in Architecture and Town Planning, Statens Nämnd för Byggnads Forskning, Stockholm, 1954.
- 7). A. J. Handbook : The Building Environment, Architect's Journal, 23 Octubre 1968, pp 959-961.
- 8). Geiger, R.. The Climate near the Ground, Harvard University Press, Harvard, 1961. (referencia 1197: Tonne, F., Besser Bauen mit Besonnungs und Taglichtplanung, Kittoffman - Verl Schorndorf, Stuttgart, 1953).

METODOS	REGISTRO			PRECISION	ZENIT SIN OBSTRUCCION	ECONOMIA	FABRICACION SENCILLA	VALOR DIDACTICO	TAMAÑO REDUCIDO	FACILIDAD DE USO	REFERENCIAS
	FOTOGRAFICO	VISUAL	GRAFICO								
1 LENTE 'OJO DE PEZ'	●			●	●	○	○	●	●	○	3 4 5 7
2 SUPERFICIE REFLECTORA	●			●	○	●	●	●	●	●	3 4 6
3 SUP. REFLECTORA 'TNO'	●	●		●	○	●	○	●	●	●	5 7
4 SUP. REFL. CON TRAYECT	●	●		○	○	●	●	●	●	●	Modific. de 3
5 PANTALLA TRANSP. CURVA		●		●	○	●	●	●	●	●	
6 PANTALLA TRANSP. PLANA		●		○	○	●	●	●	●	●	7
7 HORIZONTALOGRAFO			●	○	○	○	○	○	○	○	3 8
8 FOTOGRAFIA HORIZONTAL	●			●	○	●	●	●	●	●	7
9 RELOJ SOLAR CON ESPEJO		●		●	○	●	●	●	●	●	NUEVO

Tabla 1. Evaluación Comparativa de Métodos de Verificación de Asoleamiento "in situ".

Ref: ● Positiva ○ Intermedia  
○ Negativa ○○ Muy negativa