



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles

**INFLUENCIA DE LA DOSIFICACIÓN Y LA
RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN LA REFLECTANCIA
DE LA RADIACIÓN UV-B, UV-A Y VISIBLE SOBRE
SUPERFICIES DE HORMIGÓN.**

Tesis para optar al Título de:

Ingeniero Civil en Obras Civiles

Profesor Patrocinante

Dr. Ernesto Zumelzu D.

Ingeniero Civil Metalúrgico

Profesor Co-patrocinante

MSc. Charlotte Lovengreen V.

MAURICIO ANTONIO CÁCERES SANDOVAL

VALDIVIA – CHILE

2004

*Dios, Tu me amas tanto
que permites que mi camino esté lleno de alegrías,
yo desde aquí sólo puedo agradecer tu presencia
a lo largo de mí vida y dedicarte estos logros como ofrenda
a tu inmenso amor. Te amo.*

*Mamá y Papí gracias por ser como son, más importante que haber
conseguido esto, es saber que los tengo como padres. Su esfuerzo es el que
hoy los deja ver el fin de un ciclo. (gracias a su amor sus hijos son gente de
Bien. Los amo*

*Hermanita, tu haz sido siempre un ejemplo para mí de esfuerzo y generosidad, tu
nueva familia ha sido un regalo que fue aliciente para mí a la hora de conseguir esto.
Te amo*

*Andreita, gracias por recibirme siempre con esa sonrisa en el rostro
cuando la desesperación se apoderaba de mí, cuando yo necesite de tu
apoyo siempre lo obtuve, desde que apareciste en mí vida me hiciste ver
que el mundo está lleno de color. Te amo*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u>	III
<u>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS</u>	VII
<u>RESUMEN</u>	XII
<u>SUMMARY</u>	XIII
Capítulo I <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 OBJETIVO DE LA TESIS	1
1.2.1 <u>Objetivos Generales</u>	1
1.2.1 <u>Objetivos Específicos</u>	2
1.3 ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE	2
1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO	3
Capítulo II <u>INTRODUCCIÓN A LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS</u>	4
2.1 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS PLANAS	4
2.1.1 <u>Las ecuaciones de Maxwell</u>	5
2.2 ENERGÍA Y MOMENTO DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA	6
2.2.1 <u>Energía de una onda electromagnética</u>	6
2.2.2 <u>Irradiancia</u>	6
2.2.3 <u>Momento y presión de la radiación</u>	7
2.3 FOTONES	8
2.4 RADIACIÓN Y SU CLASIFICACIÓN	8
2.4.1 <u>Radiaciones Ionizantes</u>	9
2.4.2 <u>Radiaciones No Ionizantes</u>	9
2.5 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO	9
2.5.1 <u>Visible</u>	11
2.5.2 <u>Ultravioleta</u>	11

2.6	PRINCIPIOS DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	12
2.6.1	<u>Bandas de Ondas UV</u>	12
Capítulo III <u>INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA</u>		
	<u>CON LA MATERIA</u>	14
3.1	ESPARCIMIENTO	14
3.1.1	<u>Esparcimiento de Rayleigh</u>	14
3.1.2	<u>Esparcimiento de Mie</u>	15
3.2	REFLEXIÓN	16
Capítulo IV <u>LA RADIACIÓN, SUS EFECTOS BIOLÓGICOS Y LA</u>		
	<u>INFLUENCIA DEL OZONO</u>	19
4.1	CARACTERÍSTICAS FOTOBIOLOGICAS DE LAS RADIACIONES QUE LLEGAN A LA TIERRA	19
4.1.1	<u>Efectos comparativos entre UV-A y UV-B</u>	20
4.1.2	<u>Riesgos por el aumento de la radiación ultravioleta</u>	20
4.2	RELACIÓN ENTRE EL OZONO ESTRATOSFÉRICO Y LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA	21
4.2.1	<u>Ozono</u>	21
4.2.2	<u>Ozono estratosférico</u>	22
4.2.3	<u>Ozono en la superficie</u>	22
4.2.4	<u>El ozono y la capa de ozono</u>	22
4.2.5	<u>ciclo vital de una molécula de ozono en la estratosfera</u>	25
4.3	EL AGUJERO DE OZONO ANTÁRTICO	27
4.3.1	<u>Niveles de ozono para la ciudad de Valdivia</u>	28

Capítulo V	<u>RADIACIONES Y HORMIGÓN</u>	35
5.1	LA REFLECTIVIDAD DEL HORMIGÓN	35
5.1.1	<u>Albedo:Una medida de la reflectancia superficial de pavimentos</u>	35
5.1.1.1	Ejemplos de albedo	36
5.2	LA REFLEXIÓN DE LA LUZ VISIBLE SOBRE PAVIMENTOS	37
5.3	LA QUÍMICA DEL HORMIGÓN Y SU RELACIÓN CON LA REFLEXIÓN	39
5.3.1	<u>Química dek cemento</u>	39
5.3.1.1	Compuestos mineralógicos del clínquer	40
5.3.2	<u>Estructura del hormigón</u>	41
5.3.3	<u>Elementos que reflejan la radiación</u>	42
5.4	JUSTIFICACIÓN DEL ENSAYO	43
Capítulo VI	<u>ENSAYOS DE LABORATORIO</u>	44
6.1	PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS	44
6.1.1	<u>Dosificación</u>	44
6.1.2	<u>Caracterización de los áridos</u>	45
6.1.3	<u>Cemento</u>	47
6.2	MATERIALES Y EQUIPOS	47
6.3	ENSAYO DE LABORATORIO	51
6.4	RESULTADOS	54
6.4.1	<u>Radiación UV-B</u>	55
6.4.2	<u>Radiación UV-A</u>	58
6.4.3	<u>Radiación Visible</u>	61
Capítulo VII	<u>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</u>	68
7.1	RADIACIÓN UV-B	68
7.2	RADIACIÓN UV-A	73
7.3	RADIACIÓN VISIBLE	76
7.4	ANÁLISIS POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA	84

Capítulo VIII <u>CONCLUSIONES</u>	92
<u>GLOSARIO</u>	95
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	99
<u>ANEXO A</u>	105
<u>ANEXO B</u>	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS.

N° TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Tabla 2.01	Sub división de la radiación visible	11
Tabla 2.02	Cuadro resumen tipos de onda electromagnética	12
Tabla 2.03	Longitudes de onda del espectro electromagnético para el rango UV	13
Tabla 4.01	Comparación UV-A vs. UV-B	20
Tabla 4.02	Concentraciones de ozono em las diferentes capas de la atmósfera	21
Tabla 5.01	Albedo de superficies de pavimentos	36
Tabla 5.02	Clasificación de las superficies de pavimentos	38
Tabla 5.03	Resumen de los óxidos principales de las materias primas del clínquer	40
Tabla 5.04	Principales fases de um cemento típico	40
Tabla 6.01	Detalle dosificación D1	44
Tabla 6.02	Detalle dosificación D2	45
Tabla 6.03	Propiedades de los áridos	45
Tabla 6.04	Granulometría áridos	46
Tabla 6.05a	Humedades para D1	46
Tabla 6.05b	Humedades para D2	46
Tabla 6.06	Características del cemento	47
Tabla 6.07a	Resumen resultados reflectancia UV-B/D1 60°	55
Tabla 6.07b	Resumen resultados reflectancia UV-B/D2 60°	55
Tabla 6.07c	Resumen resultados reflectancia UV-B/D1 49°	56
Tabla 6.07d	Resumen resultados reflectancia UV-B/D2 49°	56
Tabla 6.07e	Resumen resultados reflectancia UV-B/D1 40°	57
Tabla 6.07f	Resumen resultados reflectancia UV-B/D2 40°	57
Tabla 6.08a	Resumen resultados reflectancia UV-A/D1 60°	58
Tabla 6.08b	Resumen resultados reflectancia UV-A/D2 60°	58
Tabla 6.08c	Resumen resultados reflectancia UV-A/D1 49°	59
Tabla 6.08d	Resumen resultados reflectancia UV-A/D2 49°	59
Tabla 6.08e	Resumen resultados reflectancia UV-A/D1 40°	60
Tabla 6.08f	Resumen resultados reflectancia UV-A/D2 40°	60

N° TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Tabla 6.09a	Resumen resultados reflectancia Luz Visible/D1 60°	61
Tabla 6.09b	Resumen resultados reflectancia Luz Visible /D2 60°	61
Tabla 6.09c	Resumen resultados reflectancia Luz Visible /D1 49°	62
Tabla 6.09d	Resumen resultados reflectancia Luz Visible /D2 49°	62
Tabla 6.09e	Resumen resultados reflectancia Luz Visible /D1 40°	63
Tabla 6.09f	Resumen resultados reflectancia Luz Visible /D2 40°	63
Tabla 6.10a	Resultados desviación standard muestras del tipo D1Rm	65
Tabla 6.10b	Resultados desviación standard muestras del tipo D1RM	66
Tabla 6.10c	Resultados desviación standard muestras del tipo D2Rm	66
Tabla 6.10d	Resultados desviación standard muestras del tipo D2RM	66
Tabla 6.11	Valores promedio desviación standard	66
Tabla 7.01	Valores promedio de la reflectancia UV-B/60°	68
Tabla 7.02	Valores promedio de la reflectancia UV-B/49°	70
Tabla 7.03	Valores promedio de la reflectancia UV-B/40°	71
Tabla 7.04	Valores promedio de la reflectancia UV-A/60°	74
Tabla 7.05	Valores promedio de la reflectancia UV-A/49°	75
Tabla 7.06	Valores promedio de la reflectancia UV-A/40°	75
Tabla 7.07	Valores promedio de la reflectancia Luz Visible/60°	76
Tabla 7.08	Valores promedio de la reflectancia Luz Visible /49°	77
Tabla 7.09	Valores promedio de la reflectancia Luz Visible /40°	78
Tabla 7.10	Porcentaje de los compuestos presentes em D1RM-a	86
Tabla 7.11	Porcentaje de los compuestos presentes em D2RM-a	90
Tabla G.01	Diferencias de conceptos para lãs componentes especular y difusa de la reflexión	97
Tabla A.01	Fuentes UV comunes em el lugar de trabajo	106
Tabla A.02	Limites permisibles para piel y ojos	111
Tabla A.03	Tiempo máximo de exposición permitido para piel y ojos	112
Tabla B.01	Resumen resultados reflectancia UV-B/D1 60°	115
Tabla B.02	Promedio y desviación standard R. incidente y reflejada	115
Tabla B.03	Resultado de reflectancia e incerteza	115

Nº FIGURA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Fig. 2.01	Campos eléctricos y magnéticos en una onda electromagnética plana	4
Fig. 2.02	Espectro electromagnético	10
Fig. 3.01	Comportamiento del esparcimiento según Raleigh y Mie	16
Fig. 3.02	Ley de Reflexión	17
Fig. 3.03	Idealización del fenómeno de reflexión	17
Fig. 3.04	La reflexión y su relación con la superficie	18
Fig. 3.05	Diagramas polares en los que se muestra la intensidad direccional de la reflexión	18
Fig. 4.01	Perfil vertical típico de ozono en las latitudes medias del hemisferio norte	23
Fig. 4.02	Imagen flujo solar y espectro de acción	24
Fig. 4.03	Ciclo de vida de una partícula de ozono	25
Fig. 4.04	Imagen tridimensional agujero de ozono antártico	27
Fig. 4.05	Variación del agujero de ozono antártico 1979-1997	28
Fig. 4.06a	Niveles de ozono en Valdivia 1997	29
Fig. 4.06b	Niveles de ozono en Valdivia 1998	29
Fig. 4.06c	Niveles de ozono en Valdivia 1999	29
Fig. 4.06d	Niveles de ozono en Valdivia 2000	30
Fig. 4.06e	Niveles de ozono en Valdivia 2001	30
Fig. 4.06f	Niveles de ozono en Valdivia 2002	30
Fig. 4.06g	Niveles de ozono en Valdivia 2003	31
Fig. 4.06h	Niveles de ozono en Valdivia 2004	31
Fig. 4.07a	Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. 260 UD 1997	32
Fig. 4.07b	Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. 260 UD 1998	32
Fig. 4.07c	Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. 260 UD 1999	32
Fig. 4.07d	Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. 260 UD 2000	33
Fig. 4.07e	Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. 260 UD 2001	33

N° FIGURA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Fig. 4.07f	Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. 260 UD 2002	33
Fig. 4.07g	Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. 260 UD 2003	34
Fig. 4.07h	Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. 260 UD 2004	34
Fig. 6.01	Vistas cámara de irradiación	48
Fig. 6.02a	Esquema posición sensores 60°	48
Fig. 6.02b	Esquema posición sensores 49°	48
Fig. 6.02c	Esquema posición sensores 40°	49
Fig. 6.03	Espectro irradiancia lámpara UVA-340	49
Fig. 6.04	Espectro irradiancia lámpara UVB-313	50
Fig. 6.05	Sensores UV-B, UV-A, visible	50
Fig. 6.06	Data logger LI-1400 y sensores	51
Fig. 6.07	Ubicación probeta em cámara de irradiación	52
Fig. 6.08	Cámara de posicionamiento del sensor	52
Fig. 6.09	Posicionamiento del sensor, ensayo de medición de la radiación reflejada	53
Fig. 6.10	Imagen general ensayo medición de la radiación reflejada	53
Fig. 6.11	Esquema ensayo de rugosidad superficial	54
Fig 6.12a	Histograma obtenido para análisis de rugosidad mediante desviación standard, cara rugosa	64
Fig. 6.12b	Histograma obtenido para análisis de rugosidad mediante desviación standard, cara lisa	65
Fig. 7.01	Valores promedio de la reflectancia UV-B, con $\alpha = 60^\circ$	69
Fig. 7.02	Valores promedio de la reflectancia UV-B, con $\alpha = 49^\circ$	70
Fig. 7.03	Valores promedio de la reflectancia UV-B, con $\alpha = 40^\circ$	72
Fig. 7.04	Valores promedio reflectancia UV-B	73
Fig. 7.05	Valores promedio de la reflectancia UV-A, con $\alpha = 60^\circ$	74
Fig. 7.06	Valores promedio de la reflectancia luz visible, con $\alpha = 60^\circ$.	76
Fig. 7.07	Valores promedio de la reflectancia luz visible, con $\alpha = 49^\circ$.	78
Fig. 7.08	Valores promedio reflectancia luz visible, con $\alpha = 40^\circ$.	79
Fig. 7.09	Valores promedio reflectancia luz visible	80

N° FIGURA	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Fig. 7.10	Resumen reflectancia	80
Fig. 7.11	Comparación reflectancia D1/RM vs. D1/Rm	81
Fig. 7.12	Comparación reflectancia D2/RM vs. D2/Rm	82
Fig. 7.13	Comparación reflectancia D2/RM vs. D1/RM	82
Fig. 7.14	Comparación reflectancia D2/Rm vs. D1/Rm	83
Fig. 7.15	Promedios desviación standard para D1 y D2	83
Fig. 7.16a	Imagen microscópica D1RM-a 100 μ m	84
Fig. 7.16b	Imagen microscópica D1RM-a 30 μ m	84
Fig. 7.16c	Imagen microscópica D1RM-a 30 μ m	85
Fig. 7.16d	Imagen microscópica D1RM-a 3 μ m	85
Fig. 7.17	Espectro D1RM-a	85
Fig. 7.18	Scan sobre una línea de 200 μ m	86
Fig. 7.19	Compuestos resultados del espectro	87
Fig. 7.20a	Imagen microscópica D2RM-a 100 μ m	88
Fig. 7.20b	Imagen microscópica D2RM-a 15 μ m	88
Fig. 7.20c	Imagen microscópica D2RM-a 2 μ m	89
Fig. 7.20d	Imagen microscópica D2RM-a 1 μ m	89
Fig. 7.21	Espectro D2RM-a	90
Fig. 7.22	Scan sobre una línea de 70 μ m	90
Fig. 7.23	Compuestos resultados del espectro	91
Fig. G.01	Representación de los fenômenos reales de la reflectancia com mezcla de componentes	97
Fig. G.02	Designación de flujo y ângulos para mediciones de reflexión	97
Fig. A.01	Equipos de protección personal	110

RESUMEN.

En el presente trabajo de tesis se dan a conocer los principios básicos del efecto de reflectancia de la radiación sobre superficies y analiza la influencia de la dosificación y de la rugosidad superficial del hormigón en este efecto.

Para ello se realizó un estudio detallado del significado de reflectancia, los distintos tipos de radiación que llegan a la superficie y los factores que la afectan. Fue así como finalmente se seleccionaron tres diferentes tipos de radiación: la radiación UV-B, la radiación UV-A y la radiación visible.

Para evaluar la reflectancia de las radiaciones sobre las superficies de hormigón, fue necesaria la confección de 12 probetas cúbicas de hormigón de 15 cm. de arista, seis de ellas presentaban una razón $a/c = 0,398$ y las otras seis una razón $a/c = 0,448$.

La evaluación de la influencia de la dosificación y la rugosidad en la reflectancia se efectuó mediante 2 ensayos de laboratorio, el primero mide la reflectancia de las diferentes radiaciones sobre 2 caras de las muestras, una cara rugosa y una cara lisa. El segundo ensayo determina un valor, por medios ópticos, de la rugosidad superficial que anteriormente fue expuesta a la radiación y finalmente un análisis por microscopía electrónica, que permite caracterizar las muestras expuestas.

Los resultados obtenidos en este trabajo son de gran interés sobre todo por dos hechos que parecieran no tener relación, por un lado el aumento de la radiación UV, producto de la disminución de la capa de ozono y la posibilidad de que el hormigón aporte a este fenómeno por medio de la reflexión de la radiación incidente y por otro lado la posibilidad de disminuir la cantidad de alumbrado en calles y carreteras al aprovechar el aporte reflectivo del hormigón, creando una fuente de ahorro energético.

SUMMARY.

In the present thesis work they occur to know the basic principles the effect of reflectance of the radiation on surfaces and analyzes the influence of the metering and the superficial roughness of the concrete in this effect.

For it a detailed study of the reflectance meaning was made, the different types from radiation that arrive at the surface and the factors that affect it. It was as well as finally three different types from radiation were selected: the UV-B radiation, the UV-A radiation and the visible radiation.

In order to evaluate the reflectance of the radiations on the concrete surfaces, the preparation of 12 concrete cubical test samples of 15 cm. of edge was necessary, six of them presented a reason $w/c = 0.398$ and the other six a reason $w/c = 0.448$.

The evaluation of the influence of the metering and the roughness in reflectance took place by means of 2 laboratory tests, first measures the reflectance of the different radiations on 2 faces from the samples, a rough face and a smooth face. The second test determines a value, by average optician, of the superficial roughness that previously was exposed to the radiation and finally an analysis by electronic microscopy, that allows to characterize the exposed samples.

The results obtained in this work are of great interest mainly by two cause that seemed not to have relation, by a side the increase of radiation UV, product of the depletion of the ozone layer and the possibility that the concrete contributes to this phenomenon by means of the reflection of the incident radiation on the other hand the possibility of diminishing the amount of lighting system in streets and highways when taking advantage of the reflecting contribution the concrete, creating a source of power saving.

I. INTRODUCCIÓN.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El hormigón es el material más versátil y más ampliamente usado, con una producción mundial anual del orden de 5 billones de toneladas, comparada sólo con la cantidad de agua para consumo humano (Hansson, 1997). Por otro lado el componente urbano de mayor superficie horizontal expuesta a la radiación solar es el pavimento de hormigón, el que representa aproximadamente un 20% de suelo urbano (Correa, et al, 2003).

La degradación de polímeros producto de una exposición prolongada a la radiación ultravioleta, la producción de radiación ultravioleta en el proceso de soldadura, la fabricación de materiales que protejan de sus efectos, entre otros, son algunas de las corrientes de investigación actual (Andrady et al, 2003).

Por otro lado, el aumento de la radiación ultravioleta producto del agujero de la capa de ozono, los efectos climáticos que influyen en la cantidad de radiación incidente, y los efectos de ésta sobre personas, animales y plantas, son puntos a considerar cuando se abarcan este tipo de temas (de Grujil et al, 2003).

Por otra parte, desde un punto de vista de la composición química del hormigón, este presenta entre sus constituyentes silicatos. Estos compuestos se utilizan en la industria farmacéutica, en el área de los fotoprotectores, como filtros físicos para la radiación UV y luz visible, ya que filtran el 99% de ellos mediante un mecanismo de acción que se basa en la reflexión y la dispersión (Serra, 1994).

Por lo anterior se hace necesario estudiar el efecto de reflexión sobre superficies de hormigón, asumiendo que producto de algunos de los compuestos químicos constituyentes de este, y su rugosidad superficial, una parte de la radiación incidente sobre él, es reflejada en distintas direcciones.

1.2 OBJETIVOS DE LA TESIS.

1.2.1 Objetivos Generales.

Se intenta crear una metodología para medir la radiación UV-B, UV-A y visible, reflejada sobre superficies de hormigón. Además determinar si existe en ésta, influencia de la dosificación y/o rugosidad superficial de las muestras.

El siguiente trabajo de tesis como objetivo central tiene dos componentes, por una parte pretende presentar los conceptos básicos de radiaciones ultravioleta y visible, y como estos se relacionan con las superficies de hormigón, haciendo de éstas, posibles elementos reflectantes de la radiación incidente, con lo cual aumenta la cantidad de radiación dispersada, y por consiguiente su amplia gama de efectos sobre el ambiente y una parte experimental de implementación metodológica de evaluación de la reflectancia de hormigones, específicos para este estudio.

1.2.2 Objetivos específicos.

- Implementar un método experimental que permita determinar la reflectancia de radiación UV-B, UV-A y visible para superficies de hormigón con distintas rugosidades y dosificaciones.
- Caracterizar detalladamente los materiales utilizados en la elaboración de las probetas de hormigón.
- Determinar las características superficiales de las muestras de hormigón, por medio de los valores de rugosidad.
- Determinar mediante microscopía electrónica, la composición química superficial de las muestras de hormigón así como también las fases presentes, con el fin de identificar posibles elementos o compuestos que influyan en la reflexión.
- Evaluar el efecto de la dosificación y rugosidad superficial en la reflectancia de las muestras de hormigón.

1.3 ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE.

Este análisis pretende ser una guía práctica para la comprensión del efecto reflectivo de las radiaciones sobre el hormigón. Para esto la tesis se ha estructurado en cinco grandes bloques:

El primer bloque trata sobre la teoría electromagnética y sus ecuaciones constituyentes, además de introducir al concepto de radiación y su clasificación. A su vez el bloque dos explica la interacción de la radiación con la materia, fundamentándola en el concepto de dispersión, y además profundiza en el concepto de reflexión y sus características geométricas.

El tercer bloque presenta una nueva arista al problema y abarca los efectos biológicos y ambientales producto de una exposición prolongada a la radiación, así como también las medidas a tomar para prevenir esta exposición, basándose en documentos extranjeros y la legislación vigente.

Finalmente se analizan las radiaciones sobre hormigón y otros materiales, basándose en la literatura existente.

1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO.

El presente trabajo se divide en cuatro etapas, una etapa más bien teórica y tres fases o etapas de laboratorio.

En la primera etapa se hizo hincapié en la búsqueda del fundamento teórico para la investigación, para ello se realizó una extensa búsqueda de normas nacionales e internacionales relacionadas con la medición de radiación ultravioleta, equipos y geometría, así como también la revisión del estado del arte, sobre investigaciones de radiaciones y superficies de hormigón.

Una vez que existió un fundamento teórico, se procedió con la segunda etapa, que fue la confección de un total de 12 probetas normalizadas de hormigón de 15 cms. de arista, según norma chilena (NCh 1017 E Of. 75), dividiéndose en 6 probetas cúbicas de hormigón con una dosificación con mayor contenido de cemento y 6 con otra dosificación con menor contenido de cemento. Simultáneamente se confeccionó una cámara de radiación que permitiera adoptar configuraciones geométricas distintas para el análisis de la reflexión de radiación sobre las caras de las muestras. Una vez terminada la confección y elaboración de las muestras y la cámara, se procedió a medir la radiación incidente y reflejada por las 12 muestras de hormigón.

Como tercera etapa, se utilizó un método óptico, junto con métodos de análisis de imágenes, para la medición de rugosidad superficial de las caras sobre las cuales se midió la reflexión, representadas por el valor de la desviación standard de la distribución de grises de la imagen capturada de la superficie de la muestra.

Finalmente, mediante análisis con microscopio electrónico, se realizó una caracterización superficial del hormigón para conocer detalles de la composición de la superficie en que incide la radiación.

II. INTRODUCCIÓN A LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.

Es importante señalar las ecuaciones de Maxwell, que describen el campo electromagnético dependiente del tiempo, para de este modo acercarse al concepto de radiación, su clasificación y propiedades.

2.1 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS PLANAS.

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por un conjunto de parámetros, que incluyen la frecuencia f , la longitud de onda λ , la intensidad del campo eléctrico E , la intensidad del campo magnético B , la polarización eléctrica (dirección del campo E), la velocidad de propagación c y el vector de Poynting S . La figura 2.01 representa la propagación de una onda electromagnética en el espacio.

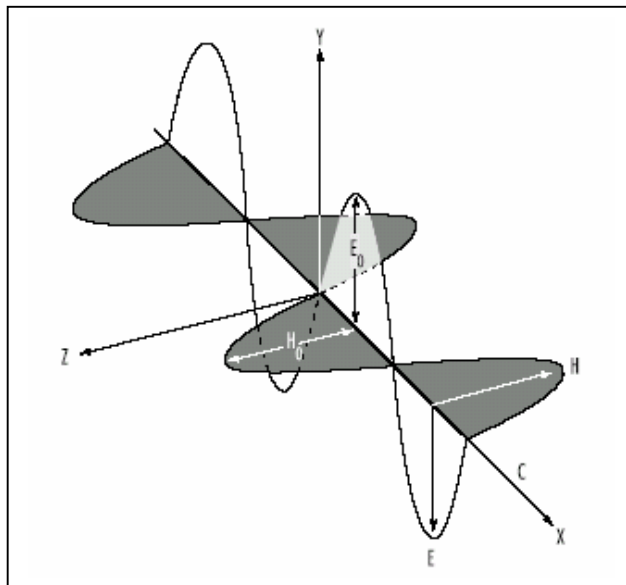


FIG. 2.01. Campos eléctricos y magnéticos en una onda electromagnética armónica plana.
FUENTE. Hansson, 2001.

En una onda plana (aquella que viaja en una dirección), el campo eléctrico es perpendicular al campo magnético y la dirección de propagación es perpendicular a ambos campos, además los campos eléctrico y magnético están en fase, es decir, toman valores extremos y valores nulos, al mismo tiempo.

La velocidad de una onda electromagnética en el espacio es igual a la velocidad de la luz (ecuación 2.01), pero la velocidad en los materiales depende de las propiedades eléctricas de éstos, es decir, de su permitividad y permeabilidad. La permitividad está relacionada con las interacciones del material con el campo eléctrico, en tanto que la permeabilidad expresa las interacciones con el campo magnético. En general, cuando las ondas electromagnéticas encuentran un objeto, una parte de la energía incidente se refleja, otra parte es absorbida y el resto se transmite. Las proporciones de energía transmitida, absorbida o reflejada por el objeto dependen de la frecuencia y polarización del campo y de las propiedades eléctricas y la forma del objeto (Valea, 1998).

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} \cong 3 \cdot 10^{10} \left(\frac{cm}{seg} \right) \quad (2.01)$$

Donde, ϵ_0 = permitividad
 μ_0 = permeabilidad magnética.

2.1.1 Las ecuaciones de Maxwell.

Este conjunto de ecuaciones integrales se conocen como las ecuaciones de Maxwell. Estas ecuaciones son fundamentales para los fenómenos electromagnéticos así como las leyes de Newton lo son para el estudio de los fenómenos mecánicos.

La formulación más simple de las ecuaciones de Maxwell gobierna el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos en el espacio libre, donde $\epsilon = \epsilon_0$, $\mu = \mu_0$. En este caso

$$\oint_C E \cdot dl = - \iint_A \frac{\partial B}{\partial t} \cdot ds \quad (2.02a)$$

$$\oint_C B \cdot dl = \mu_0 \epsilon_0 \iint_A \frac{\partial E}{\partial t} \cdot ds \quad (2.02b)$$

$$\oiint_A E \cdot ds = 0 \quad (2.02c)$$

$$\oiint_A B \cdot ds = 0 \quad (2.02d)$$

Hay que hacer notar que exceptuando un escalar multiplicativo, los campos eléctricos y magnéticos aparecen en las ecuaciones con una simetría notable. Para cualquier modificación que E provoque en B, B a su vez afectará a E. Con esto se demuestra que los campos eléctricos son generalmente generados tanto por cargas eléctricas como por campos magnéticos variables en el tiempo. De manera análoga, los campos magnéticos son generados por corrientes eléctricas y por campos eléctricos variables con el tiempo.

2.2 ENERGÍA Y MOMENTO DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA.

2.2.1 Energía de una onda electromagnética.

Una vez demostrada la cualidad de onda electromagnética, es necesario, evidenciar cuales son las propiedades que esta transporta, estas son, energía, momento lineal y angular (Valea, 1998).

Una de las propiedades más significativas de las ondas electromagnéticas es que transportan energía. La luz de la estrella más cercana detrás del Sol viaja 25 millones de millones de millas para llegar a la Tierra y aún así trae suficiente energía para poder interactuar. Las ondas electromagnéticas conducen energía, y cuando se propagan a través del espacio transfieren energía a objetos situados en su trayectoria. La tasa de flujo de energía en una onda electromagnética se describe por medio de un vector S, denominado vector de Poynting, dado por la siguiente expresión:

$$S = \frac{1}{\mu_0} E \times B \quad (2.03)$$

La magnitud del vector de Poynting representa la tasa a la cual la energía fluye a través de una superficie perpendicular al flujo y su dirección es a lo largo de la dirección de la onda, y representa la potencia por unidad de área, orientándose el área unitaria en ángulos rectos con la dirección de la propagación de la onda.

2.2.2 Irradiancia.

Lo que es de mayor interés para una onda electromagnética plana es el promedio en el tiempo de S sobre uno o más ciclos, lo que se denominaba antiguamente como intensidad de onda y hoy se conoce con el término de irradiancia I, y corresponde a la energía media por unidad de área por unidad de tiempo.

El valor promedio en un intervalo de tiempo T de la magnitud del vector de Poynting, simbolizado por $\langle S \rangle_T$, es una medición de I.

$$\boxed{\langle S \rangle_T = \frac{c^2 \epsilon_0}{2} E_0 \times B_0} \quad (2.04)$$

$$\boxed{I \equiv \langle S \rangle_T = \frac{c^2 \epsilon_0}{2} E_0 \times B_0} \quad (2.05)$$

La irradiancia es proporcional al cuadrado de la amplitud del campo eléctrico, es decir:

$$\boxed{I = \epsilon_0 c \langle E^2 \rangle_T} \quad (2.06)$$

La variación de la irradiancia con la distancia se rige por la ley del inverso del cuadrado, según esta ley, cuando la superficie está iluminada por un manantial de luz puntiforme, la intensidad de la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia respecto al foco. Siendo r la distancia respecto del foco (Hecht, 2000).

$$\boxed{I = \frac{1}{r^2}} \quad (2.07)$$

2.2.3 Momento y presión de la radiación.

Fue Maxwell en 1873 quien estableció teóricamente, que las ondas ejercen efectivamente una presión. Cuando una onda electromagnética incide en la superficie de un material, interacciona con las cargas que constituyen el material masivo. Independientemente de que la onda sea absorbida parcialmente o reflejada, ejerce una fuerza sobre aquellas cargas y, por consiguiente sobre la superficie misma.

La presión de la radiación P, equivale a la densidad de energía de la onda electromagnética. Se puede expresar la presión en términos del vector de Poynting

$$\boxed{P(t) = \frac{S(t)}{c}} \quad (2.08)$$

Esta es la presión instantánea que se ejercería en una superficie perfectamente absorbente por un haz incidente normalmente.

2.3 FOTONES.

Los fotones son paquetes de energía electromagnética, absorbidos o emitidos por los átomos en cantidades discretas. La energía que lleva uno de estos fotones depende de la frecuencia de la radiación electromagnética en cuestión: a mayor frecuencia, mayor energía por fotón (Hecht, 2000).

Se puede considerar que los electrones se encuentran orbitando los núcleos atómicos en órbitas fijas. Cuando un átomo absorbe un fotón, uno de sus electrones cambia de órbita (el átomo se excita); para que eso suceda la energía del fotón debe coincidir con la energía necesaria para que el electrón cambie de órbita. Luego de ser absorbido, el fotón puede ser re-emitido, el electrón involucrado vuelve a su órbita general y el átomo abandona el estado excitado. Sin embargo, si durante el tiempo en que el átomo está excitado, se produce una colisión con un átomo vecino, la energía puede transferirse como movimiento, y el átomo puede abandonar el estado excitado sin emitir. En este caso, el fotón se habrá absorbido definitivamente, cediendo su energía. Los fotones de la radiación ultravioleta poseen suficiente energía como para excitar a la mayoría de los átomos, y aún arrancarles electrones, es decir, ionizarlos, en ciertos casos.

2.4 RADIACIÓN Y SU CLASIFICACIÓN.

La radiación, es un proceso de transmisión de ondas o partículas a través del espacio o de algún medio; el término también se emplea para las propias ondas o partículas. Las ondas y las partículas tienen muchas características comunes; no obstante, la radiación suele producirse predominantemente en una de las dos formas. La radiación mecánica corresponde a ondas que sólo se transmiten a través de la materia, como las ondas de sonido. La radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación; sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influidos por la presencia de materia. Esta radiación abarca una gran variedad de energías. La radiación electromagnética se puede clasificar según su capacidad de ionizar átomos, en dos grandes grupos:

- Radiaciones Ionizantes
- Radiaciones No Ionizantes.

2.4.1 Radiaciones Ionizantes.

La radiación ionizante consiste en partículas, incluidos los fotones, que causan la separación de electrones de átomos y moléculas. Pero algunos tipos de radiación de energía relativamente baja, como la luz ultravioleta, sólo pueden originar ionización en determinadas circunstancias. Para distinguir estos tipos de radiación de la radiación que siempre causa ionización, se establece un límite energético inferior arbitrario para la radiación ionizante, que se suele situar en torno a 10^3 electronvoltios (eV).

La radiación ionizante directa consta de partículas cargadas. Este tipo de radiación ionizante interactúa con la materia sobre todo mediante la fuerza de Coulomb, que les hace repeler o atraer electrones de átomos y moléculas en función de sus cargas.

La radiación ionizante indirecta es producida por partículas sin carga. Los tipos más comunes de radiación ionizante indirecta son los generados por fotones con energía superior a 10^3 eV, rayos X, rayos gamma y todos los neutrones.

2.4.2 Radiaciones No-Ionizantes.

Son aquellas radiaciones que por interacción con la materia no generan iones debido a que su contenido energético es relativamente bajo. Las radiaciones electromagnéticas vienen determinadas por la frecuencia, la longitud de onda y la energía.

En orden creciente de frecuencia y, por tanto, de energía encontramos a lo largo del espectro:

- Campos electromagnéticos de extremadamente baja frecuencia.
- Radiofrecuencias, microondas.
- Radiaciones infrarrojas.
- Radiación visible.
- Radiación ultravioleta.

2.5 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.

Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias y/o longitudes de onda, que varían en unos 20 órdenes de magnitud (desde unos 10^{-9} cm hasta más de 10^3 cm), por esta razón se subdivide en diferentes regiones llamadas regiones espectrales, o se clasifican en función de la fuente que genera la radiación. En la actualidad también es frecuente subdividir el espectro electromagnético en función de las técnicas espectroscópicas (materiales, fuentes, detectores, etc.) utilizadas para estudiar cada zona, e incluso también, en función de la información que se puede extraer del estudio de cada región espectral.

Sea cual sea el procedimiento de clasificación, se puede decir que las subregiones espectrales no tienen límites precisos, ya que evidentemente los criterios clasificadores se superponen en los límites de las diferentes subregiones.

Para expresar la longitud de onda λ , en cada una de las diferentes regiones espectrales, se utilizan, por conveniencia, diferentes unidades, con el fin de evitar números demasiado grandes o demasiado pequeños.

Para la interpretación teórica de los espectros, en relación con la estructura de la materia, es más conveniente utilizar la frecuencia f de la radiación electromagnética en vez de la longitud de onda, ya que es proporcional a la energía. Ambas magnitudes se relacionan entre sí por la relación fundamental de toda radiación electromagnética.

$$\lambda \cdot c = f \tag{2.09}$$

Siendo c , la velocidad de la luz en el vacío y que es independiente de la longitud de onda y de la frecuencia de la radiación.

La frecuencia de la radiación electromagnética no varía con el medio de propagación (si este es diferente al vacío), pero sí cambia la velocidad de propagación y la longitud de onda de la radiación electromagnética. El espectro electromagnético es una sucesión de λ continua, pero existen una serie de bandas donde la radiación electromagnética manifiesta un comportamiento similar. La organización de éstas bandas de longitudes de onda λ o frecuencias f se llama espectro electromagnético y se puede ver una representación de este en la Fig. 2.02.

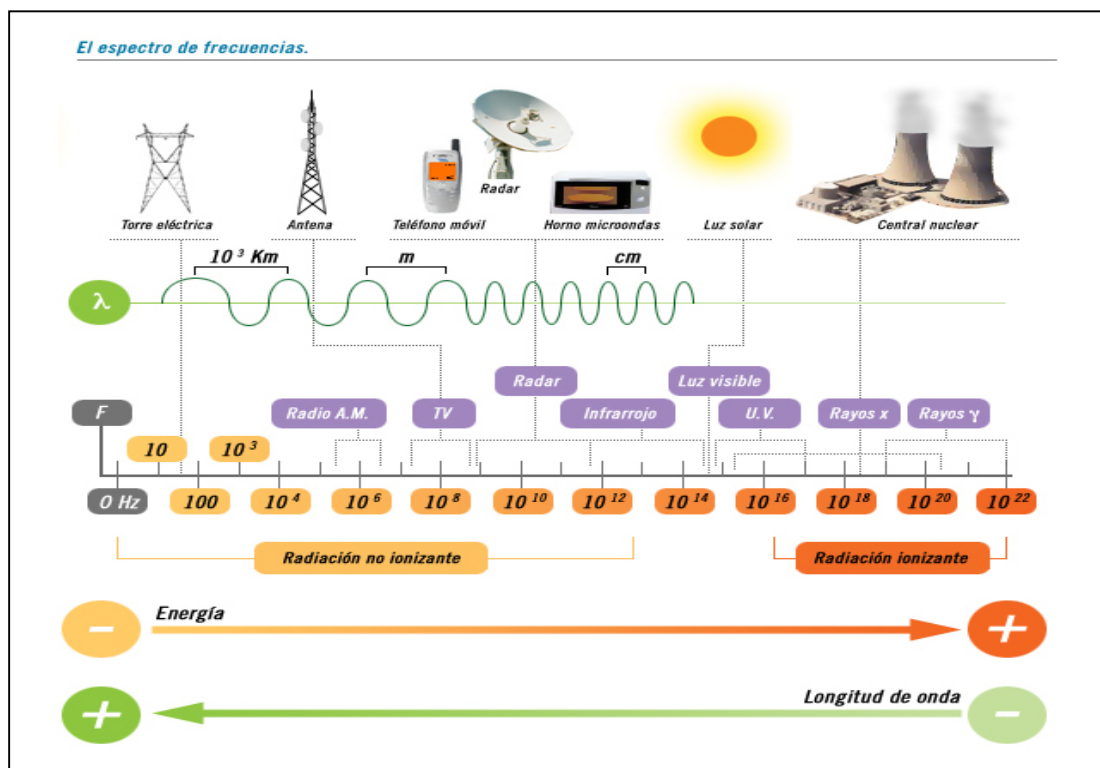


FIG. 2.02. Espectro Electromagnético.
FUENTE. [URL 1]

2.5.1 Visible.

Es la zona más estrecha del espectro electromagnético. Su nombre procede del hecho de que es la única zona que resulta visible para el ser humano.

Cubre las longitudes de onda entre 750 nm y 400 nm aproximadamente, lo que corresponde a frecuencias que van desde $4 \cdot 10^{14}$ hasta $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz. La energía de los fotones va desde 1,6 eV a 3,2 eV.

La radiación visible se produce por átomos y moléculas, como consecuencia del reajuste interno de los electrones.

Las diferentes sensaciones que produce la luz sobre la retina, y que son transmitidas al cerebro, dan lugar a colores que dependen de la frecuencia (o longitud de onda) de la radiación electromagnética y que, para una persona promedio, corresponden ordenadamente a los siguientes intervalos (de mayor a menor longitud de onda)

Color	Longitud de Onda
Rojo	622 a 750 nm
Anaranjado	597 a 622 nm
Amarillo	577 a 597 nm
Verde	492 a 577 nm
Azul	450 a 490 nm
Añil	420 a 450 nm
Violeta	400 a 420 nm

TABLA 2.01. Subdivisión de la radiación visible.
FUENTE. Valea, 1998

2.5.2 Ultravioleta.

Es la región espectral con energía inmediatamente superior a la visible, y su nombre deriva etimológicamente del más allá del violeta, razón por la que esta radiación tampoco es visible al ojo humano.

Aquí se puede observar que existen diferentes divisiones o clasificaciones de la radiación ultravioleta, dependiendo de quien las realice, por ejemplo una subdivisión clásica de los físicos incluye el UV cercano, entre 300 y 400 nm, el UV medio entre 300 y 200 nm, el UV lejano entre 200 y 100 nm y el UV extremo entre 100 y 10 nm. Por otro lado existe una subdivisión dependiente de los efectos biológicos que presenta el UV cercano entre 400 y 315 nm, el actínico

entre 315 y 200 nm y de vacío menores a 200 nm. Sin embargo en este trabajo se utilizarán las divisiones establecidas por la CIE, que se presentan en la tabla 2.03.

Sin embargo generalmente esta región es la comprendida entre 400 nm y 10 nm, con frecuencias que van desde $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz a $3 \cdot 10^{16}$ Hz. La energía de sus fotones va desde 3,2 eV hasta $1,24 \cdot 10^2$ eV. Esta radiación electromagnética se produce por reajustes en átomos y moléculas o por descargas eléctricas sobre ellos.

Debería notarse que la energía, implicada en esta radiación, es del orden de magnitud (o superior) a la que se pone en juego en muchas reacciones químicas, lo que explica que la radiación ultravioleta sea capaz de romper muchos enlaces y dar lugar a múltiples efectos químicos (fotoquímica, fotofísica).

Puesto que son del orden de magnitud energética de los procesos nucleares su efecto puede producir cambios y por lo tanto efectos muy profundos sobre la materia y muy graves sobre los organismos vivos.

Tipo de Radiación	Longitud de Onda	Frecuencia (Hz)	Energía (eV)
Ondas de Radio	$> 1 \cdot 10^{-1}$ m	$< 3 \cdot 10^9$	$< 1 \cdot 10^{-5}$
Microondas	$1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-1}$ m	$3 \cdot 10^9 - 3 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-3}$
Infrarrojo	750 nm - $1 \cdot 10^{-3}$ m	$3 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{-3} - 1,6$
Visible	400 - 750 nm	$4 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$	1,6 - 3,2
Ultravioleta	10 - 400 nm	$7,5 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16}$	$3,2 - 1,24 \cdot 10^2$
Rayos X	0.01 - 10 nm	$3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{19}$	$1,24 \cdot 10^2 - 1,24 \cdot 10^5$
Rayos Gamma	< 0.01 nm	$> 3 \cdot 10^{19}$	$> 1,24 \cdot 10^5$

TABLA 2.02. Cuadro resumen tipos de onda electromagnética.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

2.6 PRINCIPIOS DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.

2.6.1 Bandas de ondas UV.

La banda de radiación electromagnética que se encuentra más allá del extremo violeta del espectro visible, se denomina ultravioleta (UV).

El efecto de los estudios conseguidos con radiación UV, de diferentes longitudes de onda, ha conducido a una subdivisión en tres bandas de longitudes de onda establecidas por la Comisión Internacional de Iluminación.

Radiación	Tipo de onda	Longitud de onda
Luz visible		Más de 400 nm
UV-A	Onda larga	315 - 400 nm
UV-B	Onda media	280 – 315 nm
UV-C	Onda corta	100 – 280 nm
Rayos x, gamma		Menos de 100 nm

TABLA 2.03. Longitudes de onda del espectro electromagnético para el rango UV.
FUENTE. Valea, 1998

A pesar de que no existe una clara diferencia funcional entre ondas largas UV y ondas cortas de radiación visible, sí existe un límite inferior bien definido para las aplicaciones prácticas del UV. Por debajo de los 220 nm la radiación UV se absorbe cada vez más por el oxígeno del aire para formar ozono, lo que implica que no existan prácticamente aplicaciones para estas longitudes de onda tan cortas fuera de laboratorios especializados. Algunas autoridades distinguen incluso una cuarta banda ultravioleta UV en el vacío (hasta 190 nm y UV próximo al visible) que cubre desde el límite anterior hasta 365 nm.

III. INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA CON LA MATERIA.

Se quiere destacar este tipo de interacción, base de la presente tesis, teniendo claro los conceptos de esparcimiento, es decir, la absorción y rápida re-emisión de la radiación electromagnética por electrones asociados con átomos y moléculas.

3.1 ESPARCIMIENTO.

Desde un punto de vista macroscópico, la reflexión tiende a verse engañosamente de forma superficial, a primera vista parece ser algo tan simple como la luz que rebota en una superficie, sin embargo, es un fenómeno que generalmente implica el comportamiento coordinado de innumerables átomos (Bohren, 1998).

El esparcimiento es un efecto que depende fundamentalmente de la longitud de onda de la radiación, así como también del tamaño de las partículas o moléculas con las cuales interactúa (Cabrera, 2003).

Muchos fenómenos, que no son identificados como fenómenos de dispersión, son un resultado último de ésta. Entre esos están: (1) reflexión difusa por rugosidad de superficies; (2) difracción por aberturas, rejillas, y bordes; y (3) reflexión y refracción difusa en interfaces ópticamente lisos.

Los procesos de reflexión, transmisión y refracción son manifestaciones macroscópicas del esparcimiento o dispersión que tiene lugar a un nivel microscópico.

3.1.1 Esparcimiento de Rayleigh.

El esparcimiento de Rayleigh es un fenómeno que ocurre cuando un átomo reemite la radiación que ha incidido sobre él, y es válido cuando la radiación incidente choca con partículas de tamaños menores a $1/10$ de la longitud de onda de la radiación incidente. Para las partículas que cumplen con esta característica, existe una simetría completa del esparcimiento sobre un plano normal a la dirección de la radiación incidente, de modo que el esparcimiento hacia adelante es igual al esparcimiento hacia atrás. (Cabrera, 2003).

Cuando estos átomos son reemitidos, habitualmente no lo hacen en la misma dirección de la radiación incidente, sino que emite fotones en múltiples direcciones.

El esparcimiento de Rayleigh se puede considerar como un esparcimiento elástico, puesto que las longitudes de onda de la radiación dispersada son las mismas que aquellas de la radiación incidente.

Las moléculas de oxígeno y nitrógeno, que constituyen la mayor parte de la atmósfera, dispersan de este modo la radiación solar.

La magnitud de la dispersión de Rayleigh es inversamente proporcional a la longitud de onda de la radiación a la cuarta.

$$I \propto \frac{1}{\lambda^4} \quad (3.01)$$

por lo que la dispersión de la radiación ultravioleta es mayor que la de la visible. Dentro de esta última, las componentes violeta y azul son las que más se dispersan, mientras que los colores rojos son los menos afectados por este fenómeno. Por la misma razón, la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra es, en una proporción importante, radiación difusa proveniente, no del disco solar en forma directa, sino del resto del cielo (Hecht, 2000).

3.1.2 Esparcimiento de Mie.

Para los tamaños de partícula más grandes que una longitud de onda, el esparcimiento es debido principalmente por el esparcimiento de Mie. Este esparcimiento produce un patrón de dispersión semejante a un lóbulo, con un lóbulo delantero más agudo y más intenso para partículas más grandes.

El esparcimiento de Mie no está fuertemente influenciado por la longitud de onda, sino más bien, por el tamaño de la partícula.

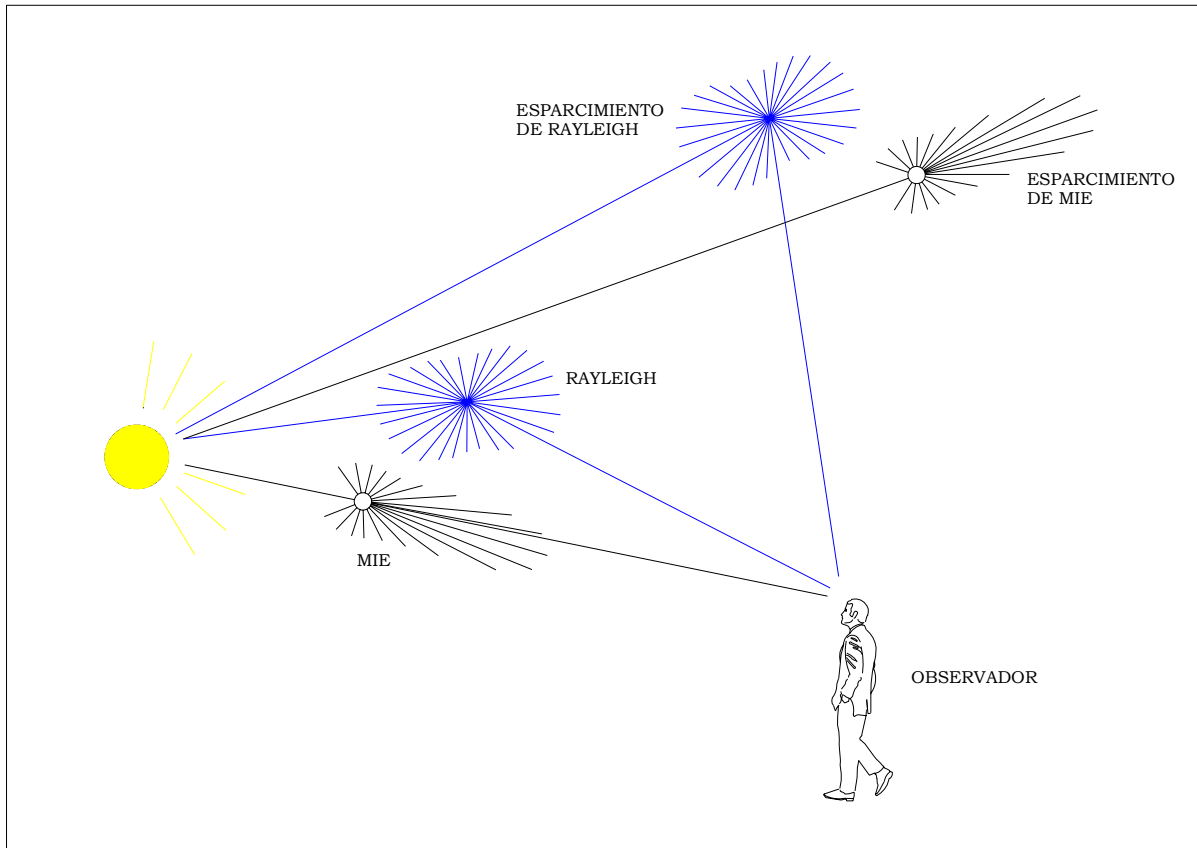


FIG. 3.01. Comportamiento del esparcimiento según Rayleigh y Mie.
FUENTE [URL 2]

3.2 REFLEXIÓN.

Cuando la luz incide sobre un material, varios fenómenos pueden ocurrir. Parte de la luz puede ser reflejada, otra parte puede ser transmitida, y otra parte puede ser absorbida. Cuando un rayo de luz que viaja en un medio encuentra una frontera que conduce a un segundo medio, parte o la totalidad del rayo incidente se refleja en el primer medio (Serway, 2000).

Se ha comprobado experimentalmente que si se considera un rayo de luz que viaja en el aire y que incide a cierto ángulo sobre una superficie plana y lisa, los rayos incidente y reflejado forman un ángulo θ_i y θ_r respectivamente, con una línea perpendicular (normal) a la superficie en el punto donde incide el rayo original, “el ángulo de incidencia θ_i es igual al ángulo de reflexión θ_r ” (Fig. 3.02). Esto es lo que se considera como la primera parte de la ley de reflexión. La segunda parte de la ley de reflexión establece que “el rayo incidente, la perpendicular a la superficie y el rayo reflejado se encuentran todos en un mismo plano, que se denomina plano de incidencia”.

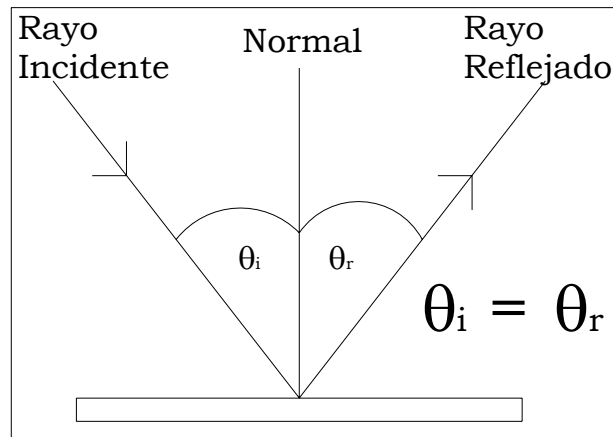


FIG. 3.02. Ley de reflexión.
FUENTE Hecht, 2000.

Cuando un rayo incidente cae sobre una superficie, y las irregularidades superficiales son pequeñas comparadas con λ , se forma un único haz reflejado, bien definido, en un proceso denominado reflexión especular. Por otro lado si la superficie es rugosa comparada con λ , pese a que el ángulo de incidencia sea igual al de reflexión para cada rayo, el conjunto de todos ellos se esparcirá por todas direcciones, constituyendo la llamada reflexión difusa (Serway, 2000). Estas dos condiciones son extremas, ya que el comportamiento de la reflexión de la mayoría de las superficies se encuentra en algún punto entre ambas.

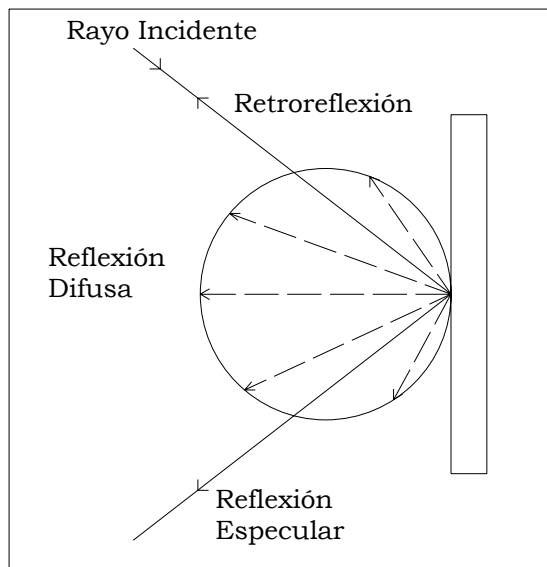


FIG. 3.03. Idealización del fenómeno de reflexión.
FUENTE Norma ASTM E179-96

El aspecto general de un determinado material está afectado fuertemente por las cantidades relativas de reflexión especular y difusa (Shackelford, 1998). La reflexión especular se define como la reflexión relativa a la superficie “media”, mientras que la reflexión difusa es la

reflexión debida a la rugosidad superficial donde, localmente, la verdadera superficie no es paralela a la superficie media, según se muestra en la figura 3.04.

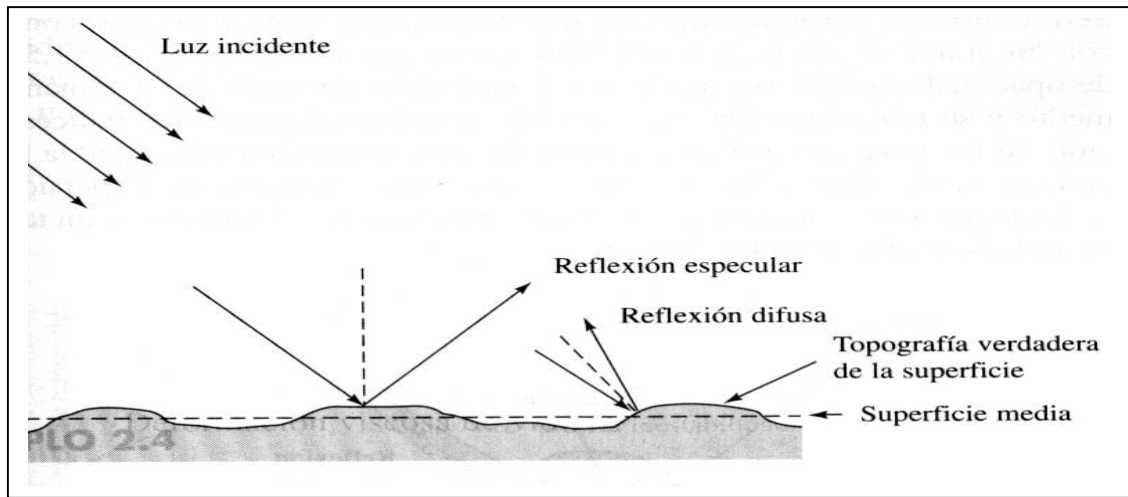


FIGURA 3.04. La reflexión y su relación con la superficie
FUENTE Shackelford, 1998

El balance neto entre la reflexión especular y la difusa se ve mejor con la ayuda de los diagramas polares. Estos diagramas indican la intensidad de la reflexión en una dirección dada mediante la longitud relativa de un vector. La figura 3.05 muestra dos diagramas polares, distinguiéndose (a) una superficie “lisa”, con una reflexión predominantemente especular y (b) una superficie “rugosa”, con una reflexión completamente difusa. El diagrama polar perfectamente circular de la figura 3.05 (b) es un ejemplo de la ley del coseno de la dispersión. La intensidad relativa de la reflexión varía con el coseno del ángulo, ϑ donde I_0 es la intensidad de dispersión a $\vartheta = 0^\circ$.

$$I_{\vartheta} = I_0 \cos \vartheta \quad (3.02)$$

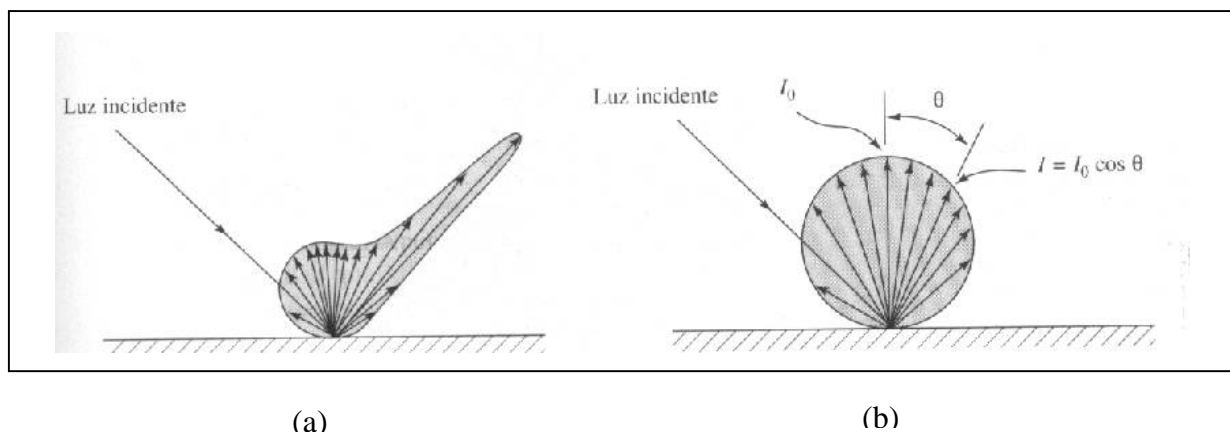


FIGURA 3.05. Diagramas polares en los que se muestra la intensidad direccional de la reflexión
FUENTE Shackelford, 1998

IV. LA RADIACIÓN , SUS EFECTOS BIOLÓGICOS Y LA INFLUENCIA DEL OZONO.

La radiación UV-B es biológicamente nociva y daña el ADN de las células y puede causar defectos genéticos en las superficies externas de las plantas y animales si se recibe en dosis altas. De esta manera, los rayos UV-B pueden dañar la piel humana causando desde unos ligeros enrojecimientos conocidos como eritemas, hasta quemaduras.

4.1 CARACTERÍSTICAS FOTOBIOLOGICAS DE LAS RADIACIONES QUE LLEGAN A LA TIERRA.

El sol es una central termonuclear que produce una gran cantidad de radiación electromagnética, aunque sólo llegan a la superficie de la tierra longitudes de onda comprendidas entre los 290 nm y los 5000 nm, gracias a que la capa de ozono estratosférica detiene las radiaciones más peligrosas. La energía radiante está constituida aproximadamente por un 56% de rayos infrarrojos (800-5000nm), 39% de luz visible (400-800nm) y 5% de radiación ultravioleta (290-400nm), estos últimos divididos en:

- **UV-C (100-280 nm):** Esta radiación altamente dañina para los seres vivos y en presencia de la cual no sería posible la vida tal y como se conoce, es absorbida totalmente por la capa de ozono y el oxígeno atmosférico.
- **UV-Burning (280-320 nm):** Parte de esta radiación es absorbida por la capa de ozono, pero un porcentaje que varía según los autores entre aproximadamente un 5% a 10% alcanza la superficie terrestre y afecta a los seres vivos, su efecto sobre las personas no solamente produce bronceado, sino que además puede producir quemaduras, envejecimiento de la piel, cáncer y otros efectos que se verán más adelante.
- **UV-Aging (320-400 nm):** Los efectos de este tipo de radiación sobre las personas son similares a los de la radiación UV-B, pero 1000 veces menor en intensidad, lo que proporcionalmente resulta menos perjudicial, a pesar que la intensidad que alcanza la superficie terrestre es muy superior a la UV-B, por lo que no hay que desmerecerla (Cabrera, 2003).

4.1.1 Efectos comparativos entre UV-A y UV-B.

A pesar de que ambas son ondas electromagnéticas en el rango ultravioleta, sus diferencias en la longitud de onda, provocan diferencias notorias a la hora de ver sus efectos fotobiológicos, en la tabla 4.01 se muestran las principales diferencias.

UV-B	UV-A
Posee mayor energía	Posee menor energía
Penetra poco en la piel (epidermis)	Penetra más profundamente (Dermis)
Produce eritema a corto plazo	Efecto a largo plazo (fotoenvejecimiento)
Más intenso entre las 10AM-2PM	Constante durante todo el día
Responsable del 65% de cánceres de piel	A largo plazo produce efectos iguales a los UV-B

TABLA 4.01. Comparación UV-A v/s UV-B
FUENTE. Honeyman, 2004

4.1.2 Riesgos por el aumento de radiación ultravioleta.

El Programa Ambiental de Naciones Unidas, estima que sobre 2 millones de casos de cáncer a la piel ocurren alrededor del mundo cada año, inducidos por la exposición a radiación ultravioleta. Además, 20% de los 12 a 15 millones de casos de ceguera se deben supuestamente a la inducción de radiación ultravioleta (Greinert et al, 2001). El incremento de la incidencia de estas enfermedades puede ser atribuible en particular a la excesiva exposición al sol debido a cambios en el comportamiento social y recreacional de la población. Además, la disminución de la capa protectora de ozono en la atmósfera, que permite el incremento de la radiación solar UV en la superficie, puede convertirse en una causa para un incremento en los casos de cáncer a la piel.

La investigación de los efectos causados por irradiación UV en la biosfera, y especialmente la estimación de riesgo en la población humana, requiere tener presente un conocimiento de las variables y procesos de interacción de ésta con la materia.

Existen una gran cantidad de efectos agudos y crónicos sobre la salud humana debido a la exposición UV, autores como Greniert, Honeyman, Sage, de Gruijl entre otros, señalan como principales efectos el enrojecimiento de la piel conocido como eritema, cáncer a la piel, además de efectos fotobiológicos de la irradiación UV como el daño al ADN, muerte programada de las células, inmunosupresión, daño ocular, entre otros.

4.2 RELACIÓN ENTRE EL OZONO ESTRATOSFÉRICO Y LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.

Es también importante saber la relación que existe entre el ozono y la radiación ultravioleta y como el ozono desempeña un papel esencial, al blindar la superficie de la radiación ultravioleta dañina, convirtiéndose en un filtro de la radiación genéticamente destructiva del sol, razón por la cual el ozono adquiere una importancia enorme.

4.2.1 Ozono

El ozono es un gas, una molécula formada por tres átomos de oxígeno cuya notación química es O₃. La palabra ozono deriva del griego *ozein*, que significa “lo que se huele”, sin embargo el ozono mismo no presenta hedor. El fuerte olor que se le atribuye al ozono viene de la ionización (la liberación de electrones por la energía necesaria para crear y destruir ozono).

Cuando el ozono se hace presente en la tropósfera, cerca de la superficie y en grandes concentraciones, es peligrosamente tóxico tanto para animales y humanos, ya que causa problemas respiratorios e irritación ocular, incluso puede causar corrosión en algunos materiales, y por esto el ozono es considerado como un contaminante del aire cuando está presente en la superficie terrestre. Sin embargo cuando se encuentra en la parte alta de la atmósfera, filtra la radiación solar ultravioleta, biológicamente perjudicial, manteniéndola lejos de la superficie.

Concentraciones de ozono (partes por billón)	
10 – 20	Valores promedio tropósfera.
20 – 45	Aire de buena calidad
45 – 100	Aire de moderada calidad
100 - 120	Aire de pobre calidad
120 - 225	Aire de calidad peligrosa
10.000	Valores promedio estratósfera

TABLA. 4.02. Concentraciones de ozono en las diferentes capas de la atmósfera.
FUENTE. [URL 3]

4.2.2 Ozono estratosférico.

El ozono concentrado en la superficie es un hecho de ocurrencia bastante local, restringida generalmente a las áreas urbanas. Sin embargo, en la estratósfera, el ozono se distribuye alrededor de todo el globo, es más, existe en concentraciones que en la superficie serían mortales, pero en la estratósfera crea un escudo protector eficaz contra la radiación ultravioleta. La capa de ozono no es una venda fina de ozono concentrado, por el contrario se presenta desde cerca de los 10 kilómetros hasta los 50 kilómetros de altitud.

4.2.3 Ozono en la superficie.

Mucho del ozono cercano a la superficie de la Tierra, es el resultado de reacciones fotoquímicas. La radiación solar entrante (específicamente la parte ultravioleta), rompe la molécula de NO_2 en una molécula de NO (óxido nitroso) y un átomo de oxígeno (O). Este átomo de oxígeno se une rápidamente a una molécula de oxígeno (O_2) y se convierte en ozono. Cuando se produce demasiado ozono en la superficie y se mezcla con otros gases (NO_2) y partículas (carbonos, polvo), puede formar lo que se conoce como *smog*. Aunque absorbe también la radiación UV, respirarlo en altos niveles es tóxico.

4.2.4 El ozono y la capa de ozono.

Cerca del 90% del ozono en nuestra atmósfera está contenida en la estratósfera, la región que abarca desde los 10 hasta los 50 kilómetros sobre superficie de la Tierra. Diez por ciento del ozono está contenido en la tropósfera, la parte más baja de nuestra atmósfera donde ocurren todos los cambios climáticos.

Mediciones tomadas desde instrumentos instalados en la superficie, en globos aerostáticos, y aparatos en el espacio, muestran que las concentraciones de ozono son más grandes entre los 15 y 30 Km. (Newman, 2003). La curva amarilla en la figura 4.01 muestra cómo la cantidad de ozono varía con la altitud, entre los límites de la estratósfera, que se muestran marcadas en rojo.

A esta clase de diagrama se llama un perfil vertical, y en ella se sobreponen los diagramas de la radiación UV en función de la altitud para, UV-A, UV-B, y UV-C. El ancho de la barra indica la cantidad de energía en función de la altitud.

La energía UV-C disminuye dramáticamente mientras que el ozono aumenta debido a la absorción fuerte en la banda de la longitud de onda de 200-280 nm. La UV-B también se absorbe fuertemente, solamente una pequeña fracción llega a la superficie. Mientras tanto la UV-A es

absorbida débilmente por el ozono, con una cierta dispersión de la radiación cerca de la superficie.

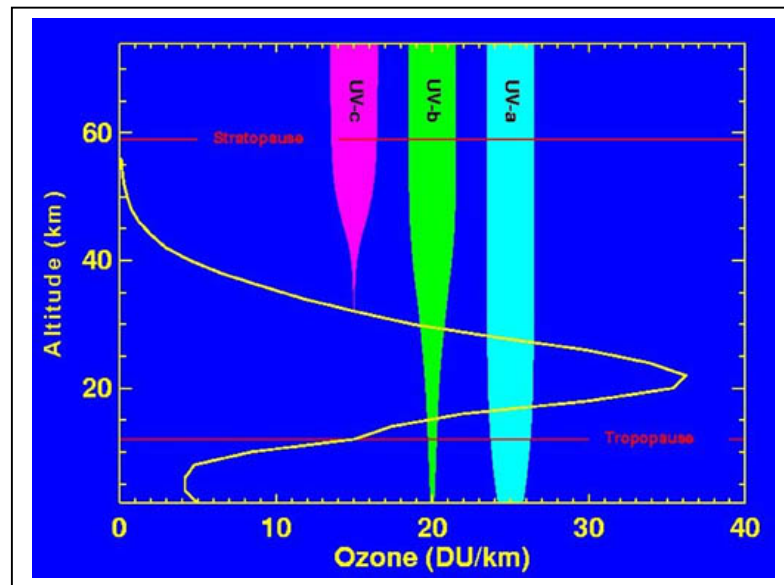


FIG. 4.01. Perfil vertical típico de ozono en las latitudes medias del hemisferio norte.
FUENTE. [URL 4]

Las concentraciones de ozono mostradas en el cuadro 4.01 son muy pequeñas, típicamente, sólo algunas moléculas de O_3 por millón de moléculas de aire. Donde la capa de ozono disminuye, más radiación UV-B alcanzará la superficie (Newman, 2003).

La figura 4.02 muestra las gráficas de la energía proveniente del Sol. Esta se refiere a la cantidad de energía solar en watts que caen perpendicularmente sobre una superficie de un centímetro cuadrado, y las unidades de medida por lo tanto son Watts por cm^2 por nm ($W/cm^2/nm$). Los diagramas representan la energía del Sol en cuatro diversas altitudes en la atmósfera: la superficie, 20 kilómetros, 30 kilómetros, y la parte superior de la atmósfera (sobre 100 kilómetros). Debido a la fuerte absorción de la radiación UV por el ozono en la estratósfera, la intensidad disminuye en altitudes más bajas en la atmósfera. Además, mientras que la energía de un fotón individual es mayor si tiene una longitud de onda más corta, hay pocos fotones en las longitudes de onda más cortas, así que la salida total de la energía del Sol es menor en las longitudes de onda más cortas. Debido a la presencia de ozono, es virtualmente imposible que la radiación ultravioleta solar penetre a la superficie. Para radiaciones con una longitud de onda de 290 nm, la intensidad en la superficie de la Tierra es 350 millones de veces más débil que en la parte superior de la atmósfera.

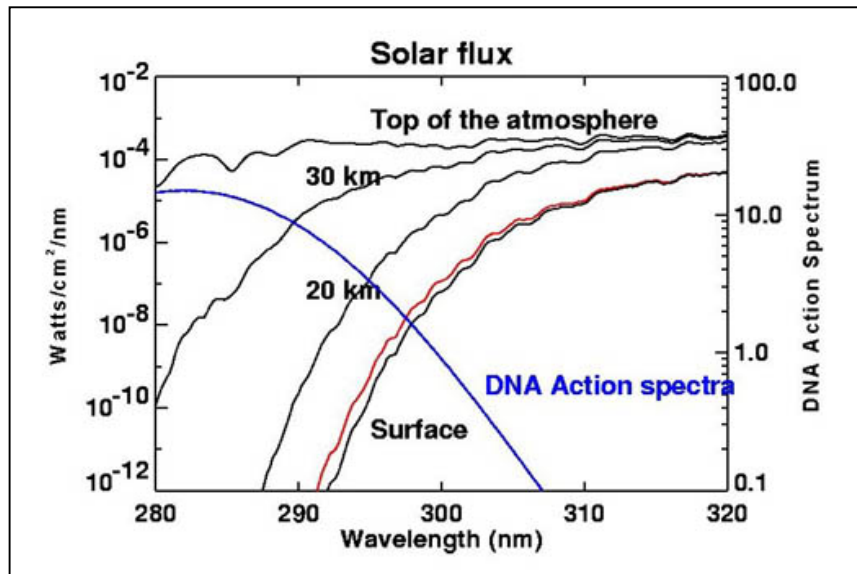


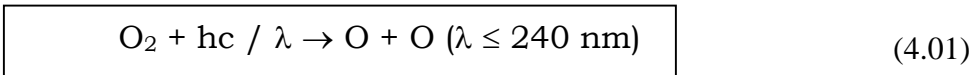
FIG. 4.02. Imagen Flujo solar y espectro de acción
FUENTE. [URL 4]

Para apreciar cuan importante es este blindaje contra la radiación ultravioleta, se puede considerar una característica del daño de la radiación llamada espectro de acción. Un espectro de acción da una medida de la eficacia relativa de la radiación en la generación de cierta respuesta biológica sobre una gama de longitudes de onda. Esta respuesta puede ser un eritema (quemadura), cambios en el crecimiento vegetal, o cambios en el ADN molecular. La línea azul sobrepuesta en la figura 4.02 muestra el espectro de acción para el ADN. Esta representa la probabilidad del daño de ADN por la radiación UV en variadas longitudes de onda. Afortunadamente, donde el ADN se daña más fácilmente (donde hay una alta probabilidad), el ozono absorbe fuertemente la UV. En las longitudes de onda más largas donde el ozono absorbe en menor medida, los daños del ADN son menos probables. La línea roja en el cuadro 4.02 muestra el espectro UV calculado en la superficie de la Tierra si hubiese una disminución del 10% del ozono. En respuesta a esta disminución de ozono, la cantidad de daños en el ADN aumenta, en este caso, cerca de un 22%.

La protección contra la radiación ultravioleta por el ozono depende de otros factores, tales como la hora y la estación. El ángulo del sol en el cielo tiene un gran efecto en la radiación UV. Cuando el sol está directamente sobre las personas, es decir, sus rayos caen perpendicularmente, la radiación UV cae directamente sobre ellos a través de la atmósfera y es absorbida solamente por el ozono que se encuentra por sobre sus cabezas. Cuando el sol está ligeramente por sobre el horizonte, en el amanecer y el atardecer, la radiación UV debe pasar a través de la atmósfera en ángulo. Debido a que la UV pasa a través de una distancia mayor en la atmósfera, se encuentra con más moléculas de ozono y hay mayor absorción y, por lo tanto, menor radiación UV llegando a la superficie.

4.2.5 Ciclo vital de una molécula de ozono en la estratósfera.

Puesto que el ozono estratosférico es el factor principal en la protección contra la radiación ultravioleta, es importante entender los procesos que controlan los niveles del ozono y la distribución de este en la atmósfera. El cuadro 4.03 muestra esquemáticamente el ciclo vital de una molécula de ozono. En un primer paso, la vida de una molécula de ozono comienza cuando la radiación ultravioleta intensa (menos de 240 nm) separa una molécula del oxígeno (O₂) en dos átomos de oxígeno (O). Estos átomos reaccionan con otras moléculas del oxígeno formando dos moléculas de ozono. La ecuación química, que representa este proceso es:



donde hc/λ representa el rayo o el fotón ultravioleta, con h representando la constante de Planck, c que representa la velocidad de la luz, y λ denota la longitud de onda del fotón.

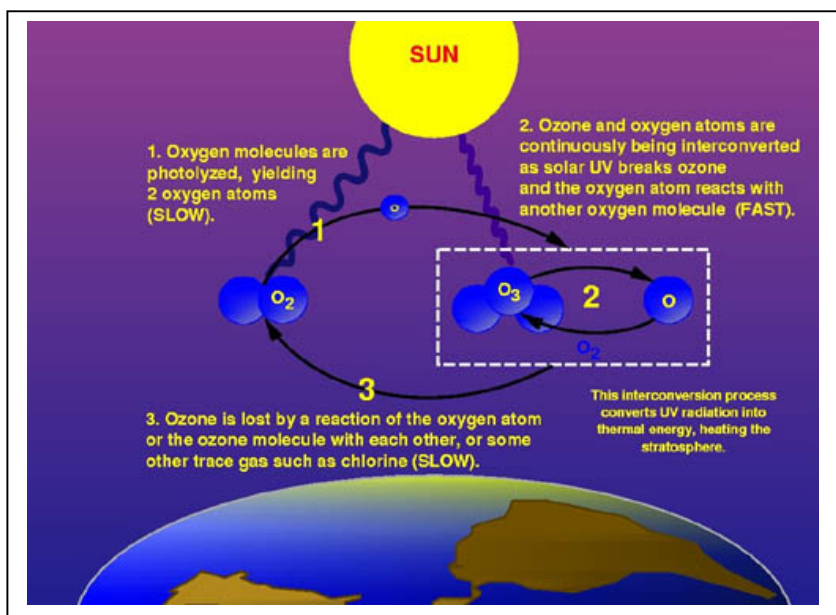
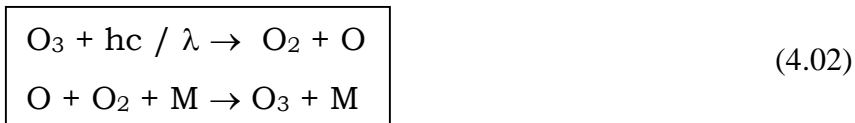
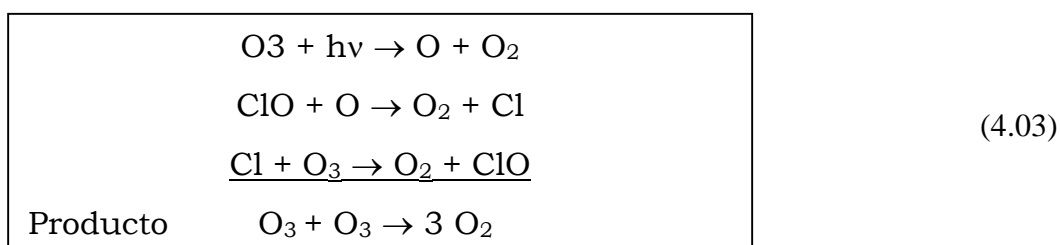


FIG. 4.03. Ciclo de vida de una partícula de ozono
FUENTE. [URL 4]

En un segundo paso, la molécula de ozono pasa la mayoría de su vida absorbiendo radiación UV. Este proceso de la absorción ocurre cuando el rayo UV rompe la molécula del ozono (O₃) en una molécula del oxígeno (O₂) y un átomo de oxígeno (O), seguido por la recombinación del átomo de oxígeno con otra molécula de oxígeno para reformar el ozono. En este proceso la radiación UV se convierte en energía térmica. Una vez más se puede representar este hecho, químicamente por medio de la siguiente reacción:



Donde M corresponde a otra molécula (típicamente N₂ u O₂, las dos moléculas más abundantes de la atmósfera). En un tercer paso, la vida de la molécula de ozono termina cuando reacciona con uno de una amplia gama de químicos en la estratósfera, como cloro, nitrógeno, bromo o hidrógeno. Estas reacciones de pérdida ocurren generalmente en un proceso catalítico. Un catalizador es una sustancia que facilita una reacción química, pero que en sí mismo permanece sin cambios o se reforma para el final de la reacción, de modo que puede participar en una reacción similar otra vez. En este proceso catalítico, se pierde la molécula de ozono mientras que el catalizador (cloro, nitrógeno, bromo o hidrógeno) se reforma potencialmente para destruir otra molécula de ozono. Un ejemplo de una reacción típica de la pérdida se muestra a continuación, donde el ClO (monóxido de cloro) reacciona con un átomo de oxígeno para formar Cl (cloro libre) y un O₂ (oxígeno molecular). Entonces el átomo de Cl reacciona con una molécula de ozono para reformar ClO en otro O₂.



El efecto neto de esta reacción es la formación de dos moléculas de oxígeno, de un átomo de oxígeno y de una molécula de ozono, mientras que la molécula de ClO está inalterada. A 40 kilómetros, esta cadena catalítica puede destruir casi 1000 moléculas de ozono antes de que el Cl o el ClO se convierta a una forma benigna de cloro, como el HCl (ácido clorhídrico) o el ClONO₂ (nitrato de cloro). El HCl y ClONO₂ duran típicamente por algunos días, y son fotolizados por la radiación UV. Esto libera otra vez el cloro para destruir más ozono. Durante el desarrollo de su vida en la estratósfera, un átomo individual de Cl puede destruir cerca de 100.000 moléculas de ozono.

La cantidad de ozono en la estratósfera resulta de un equilibrio entre la producción solar y la pérdida por un número de estas reacciones catalíticas. Si se pudiera aumentar la radiación ultravioleta del Sol en las longitudes de onda bajo los 240 nm, los niveles de ozono se elevarían.

La pérdida de ozono es un proceso natural resultante de niveles normales de gases tales como metano, óxido nitroso, bromuro metílico, y cloruro metílico. Si se aumentan estos niveles naturales del cloro, del nitrógeno, del bromo o del hidrógeno en la estratósfera, o si se agregan compuestos nuevos a la estratósfera, la pérdida de ozono aumentará, y el nivel de ozono disminuirá, hasta que se alcance un nuevo equilibrio entre la producción y la pérdida.

La unidad Dobson (DU) es una medida del espesor de la capa de ozono. La medida de la columna puede ser conceptualizada imaginándose que todas las moléculas de ozono (sobre

nuestras cabezas, extendidas por la profundidad de la estratósfera) se podrían traer a la superficie (a temperatura y presión estándares). Esta capa de ozono tendría solamente cerca de 3 milímetros de espesor, equivalente a la altura de dos monedas apiladas (Cabrera, 2002). Esta cantidad de ozono tiene un valor de unidad de Dobson de 300 DU (aproximadamente el promedio global del ozono total).

4.3 EL AGUJERO DE OZONO ANTÁRTICO.

Alrededor de 1985 científicos que trabajaban con medidas del ozono antártico comenzaron a visualizar que en la década anterior se había dado lugar una disminución alarmante de las concentraciones estratosféricas de ozono sobre el polo sur.

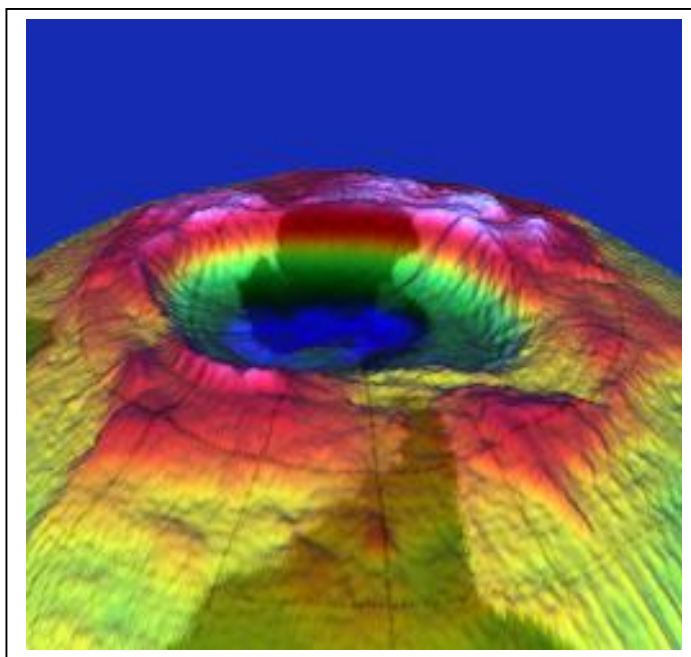


FIG. 4.04. Imagen tridimensional agujero de ozono antártico
FUENTE. [URL 4]

Durante los períodos de agosto y de septiembre, el ozono disminuye sobre la región antártica. Este hecho fue reconocido durante los años '60, donde el ozono era naturalmente bajo sobre la antártica, como resultado de la más débil circulación hacia el polo y de la circulación hacia abajo en el hemisferio sur. En 1985, Joseph Farman, Brian Gardiner, y Jonatan Shanklin del *British Antarctic Survey* publicaron un paper en la revista *Nature*, que muestra que el ozono desaparecía sobre la antártica durante el período de primavera del hemisferio sur. Las cantidades medidas eran mucho menores, incluso, que las cantidades normalmente bajas que ocurrían sobre la antártica en la primavera meridional. Este paper desató un movimiento de investigación intensivo, trabajos de análisis basados en mediciones satelitales, y estudios de laboratorio que han caracterizado casi completamente los procesos que controlan el ozono antártico.

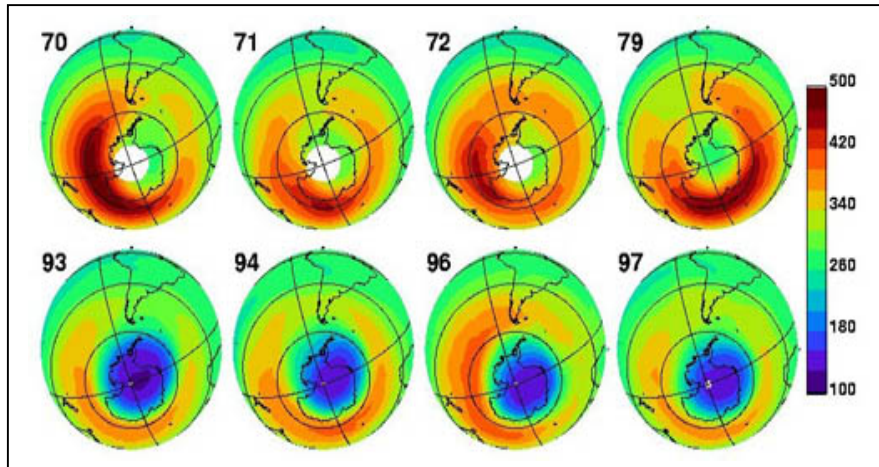


FIG. 4.05. Variación del agujero de ozono antártico 1979-1997
FUENTE. [URL 4]

El cuadro 4.05 muestra la cantidad total de ozono sobre la superficie de la Tierra sobre la antártica durante octubre según lo medido por una serie de instrumentos situados en satélites. Las figuras superiores muestran los niveles del ozono para los años '70, cuando los niveles de cloro y de bromo eran más bajos que en la actualidad, mientras que las figuras inferiores muestran niveles recientes del ozono. Estos últimos muestran niveles de ozono que son menores que la mitad de lo que fue observado previamente. Estas grandes pérdidas de ozono antártico, ahora se conocen popularmente como el agujero de ozono antártico. Las pérdidas polares del ozono son causadas directamente por reacciones catalíticas del cloro y del bromo. La producción de las especie reactivas del cloro y del bromo es acelerada por reacciones químicas que ocurren en las superficies de las nubes.

4.3.1 Niveles de Ozono para la ciudad de Valdivia.

En este punto se presentan los valores de ozono sobre la ciudad de Valdivia, tomados mediante satélites de la NASA, que abarcan valores diarios desde 1997 hasta 2004.

En los gráficos se superponen la cantidad de ozono para cada día (curva azul), con la recta que equivale al nivel de ozono de 260 UD (recta amarilla), que es considerado como un umbral, indicador de consecuencia en la salud de la piel, expuesta a la radiación solar (Aranibar et al, 2003)

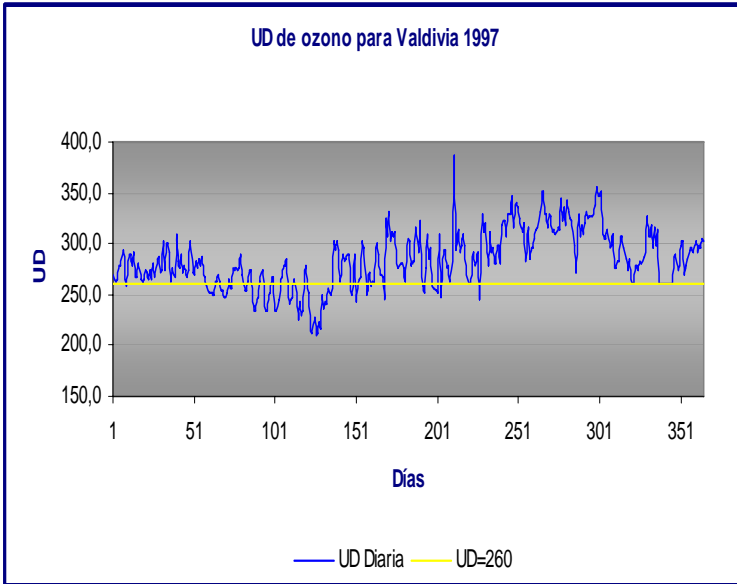


FIG. 4.06a. Niveles de ozono en Valdivia
FUENTE. [URL 5]

66 días bajo 260 UD - 1997

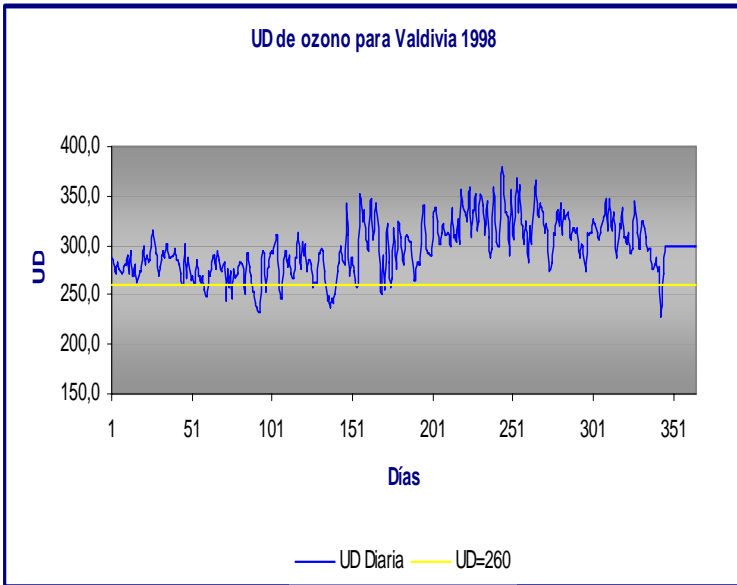


FIG. 4.06b. Niveles de ozono en Valdivia
FUENTE. [URL 5]

29 días bajo 260 UD - 1998

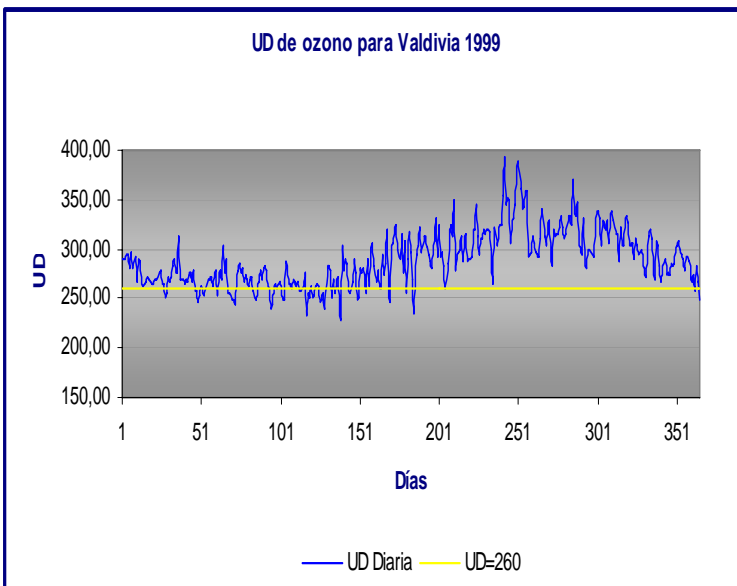


FIG. 4.06c. Niveles de ozono en Valdivia
FUENTE. [URL 5]

46 días bajo 260 UD - 1999

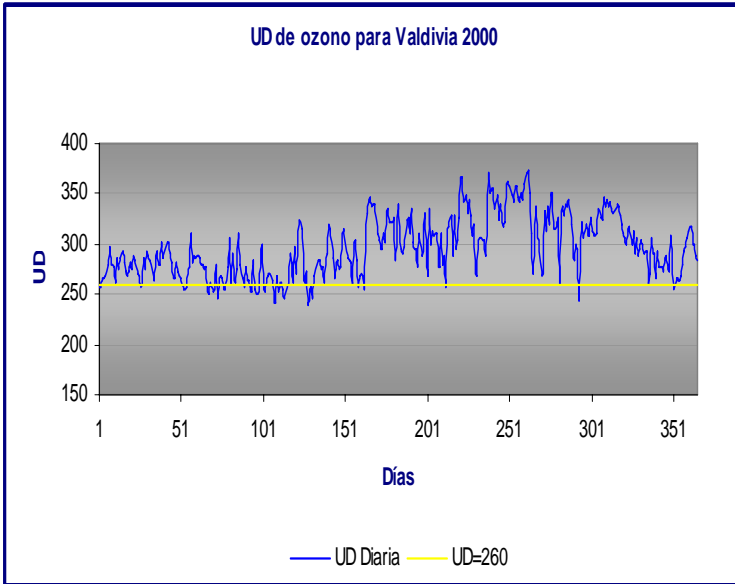


FIG. 4.06d. Niveles de ozono en Valdivia
FUENTE. [URL 5]

39 días bajo 260 UD - 2000

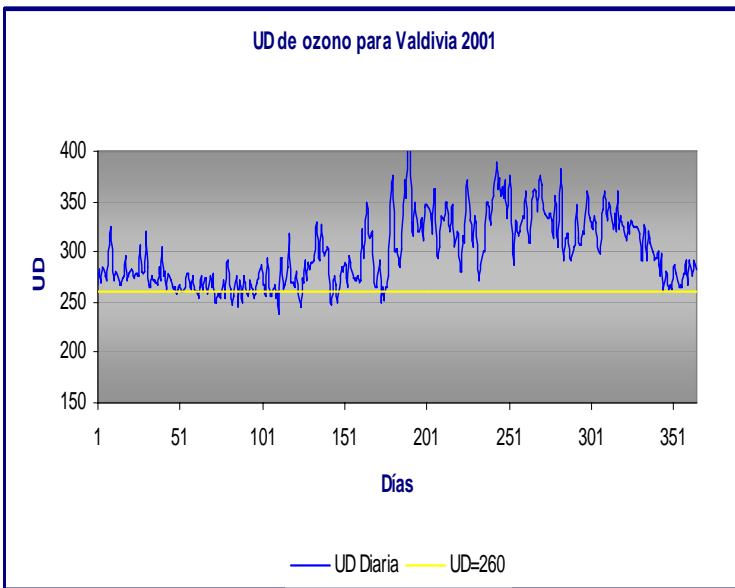


FIG. 4.06e. Niveles de ozono en Valdivia
FUENTE. [URL 5]

29 días bajo 260 UD - 2001

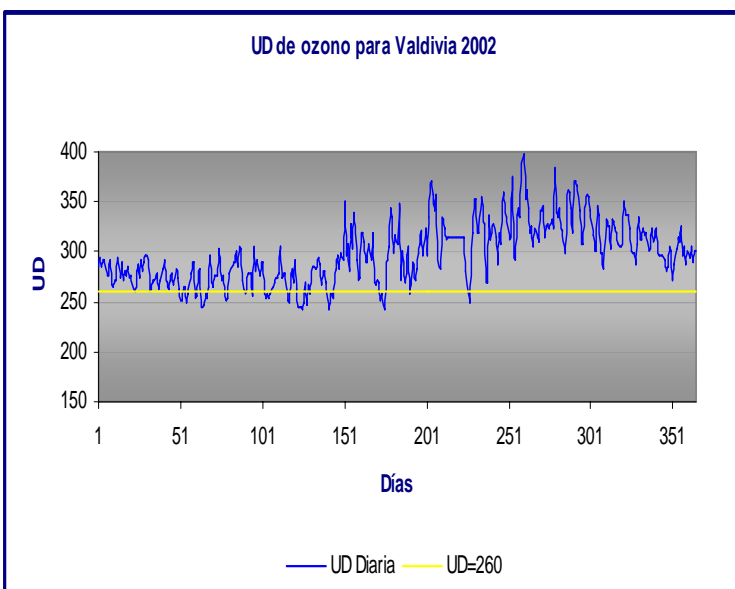


FIG. 4.06f. Niveles de ozono en Valdivia
FUENTE. [URL 5]

37 días bajo 260 UD - 2002

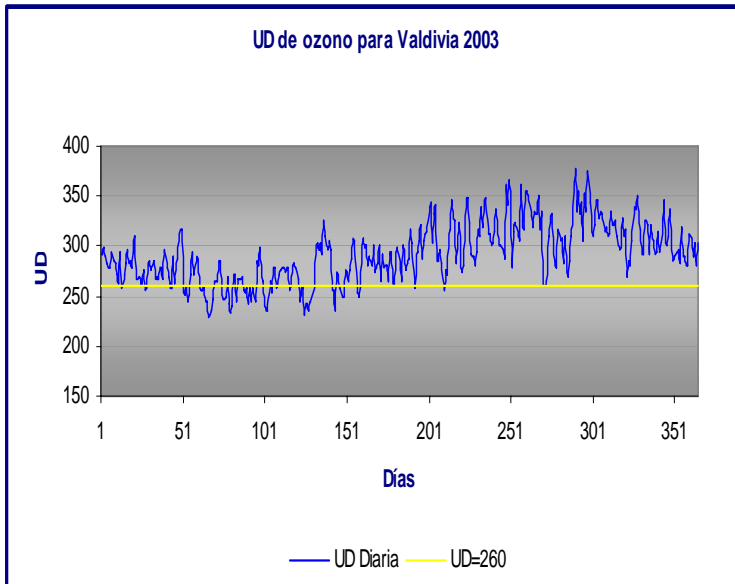


FIG. 4.06g. Niveles de ozono en Valdivia
FUENTE. [URL 5]

55 días bajo 260 UD - 2003

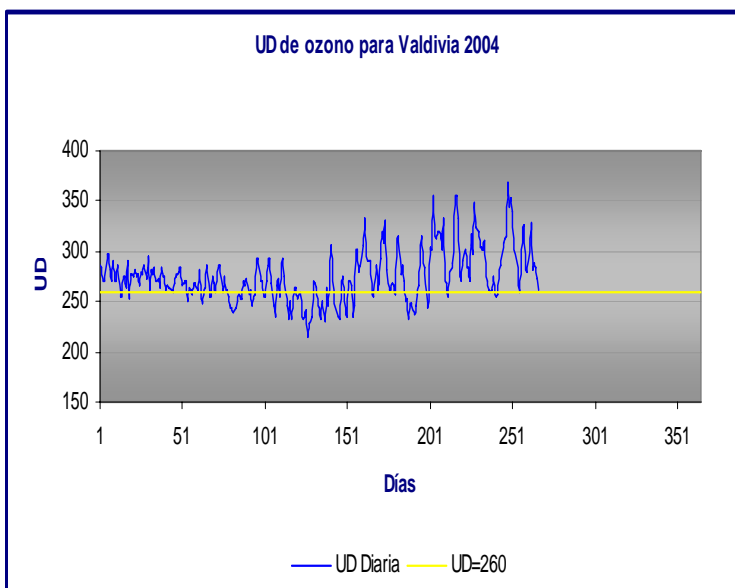


FIG. 4.06h. Niveles de ozono en Valdivia
FUENTE. [URL 5]

74 días bajo 260 UD – 2004
 Valores hasta el 23 de septiembre.

En este otro grupo de gráfico de barras, se comparan la cantidad de ozono promedio para cada mes (azul), con el valor supuesto de ozono de 260 UD (amarilla). Aquí se puede ver que existe un período en que el nivel de ozono promedio mensual es muy cercano al valor de 260 UD (marzo a mayo), además el período de verano (diciembre a marzo) implica que la radiación cae perpendicularmente y por lo tanto se puede afirmar que mayor radiación llega a la superficie, por lo que se puede asumir que existe un período aun más amplio (diciembre a mayo) en que la cantidad de radiación se podría considerar mayor.

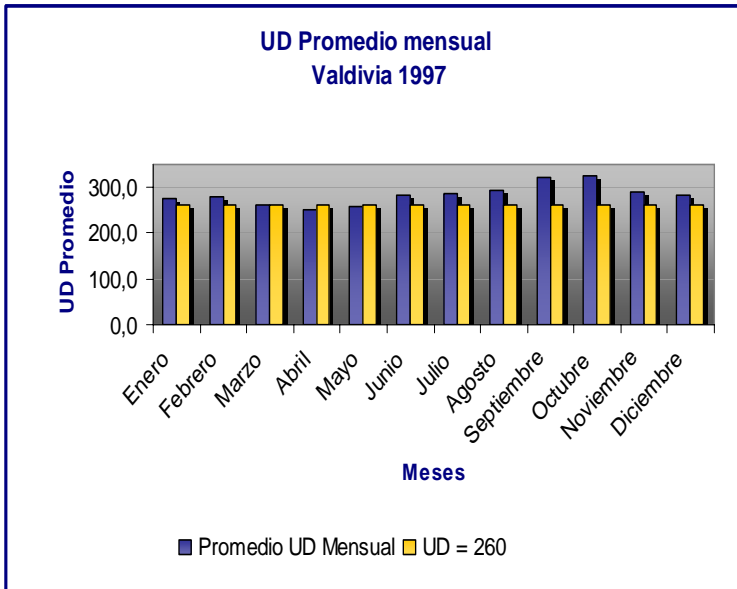


FIG. 4.07a. Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. nivel 260 UD
FUENTE. Elaboración propia

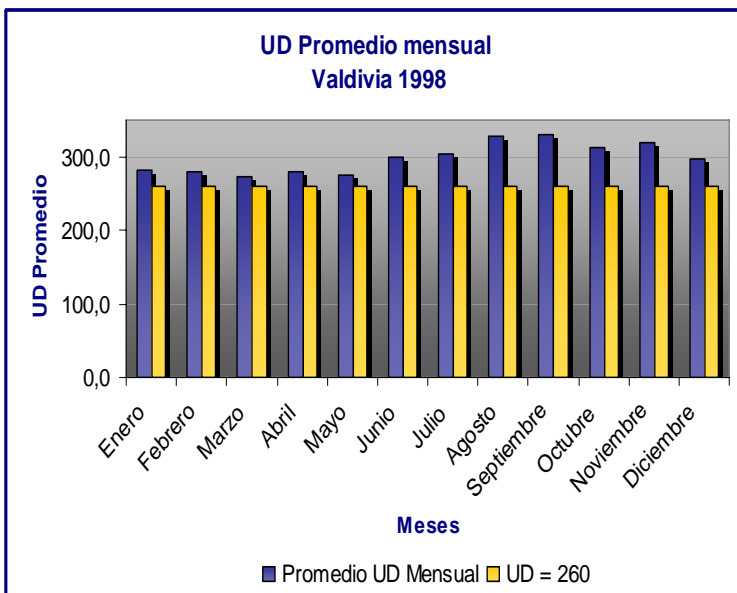


FIG. 4.07b. Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. nivel 260 UD
FUENTE. Elaboración propia

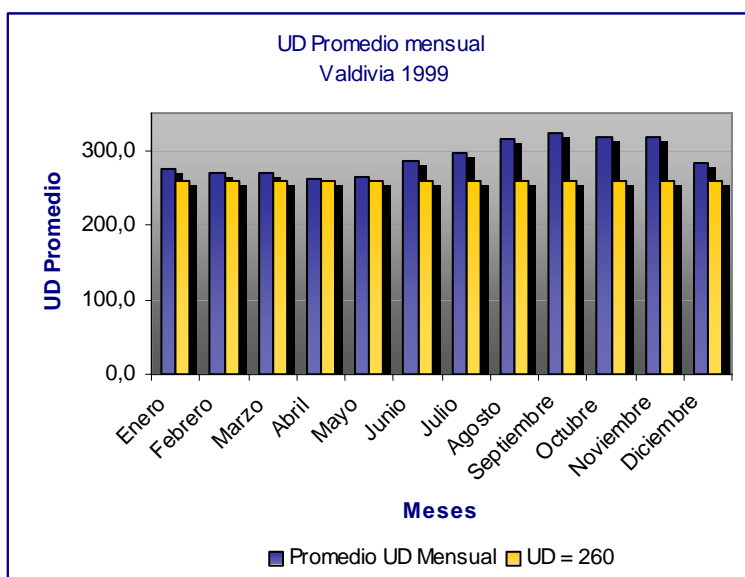


FIG. 4.07c. Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. nivel 260 UD
FUENTE. Elaboración propia

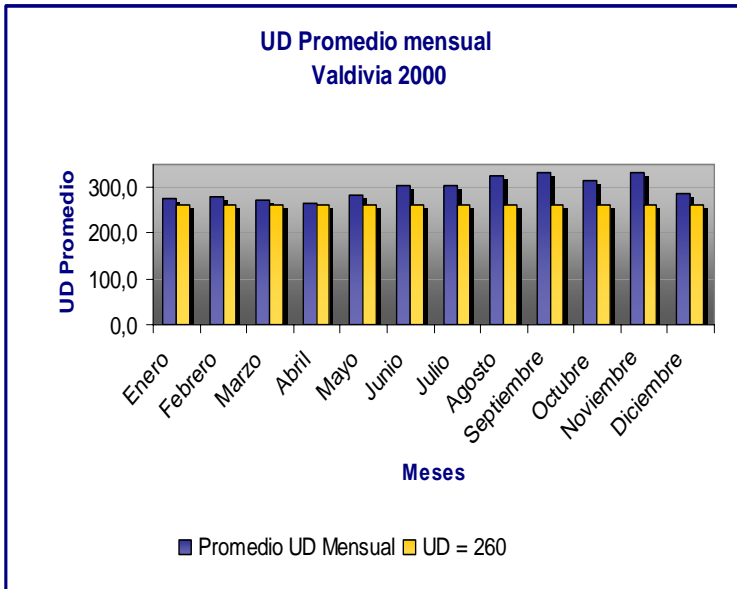


FIG. 4.07d. Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. nivel 260 UD
FUENTE. Elaboración propia

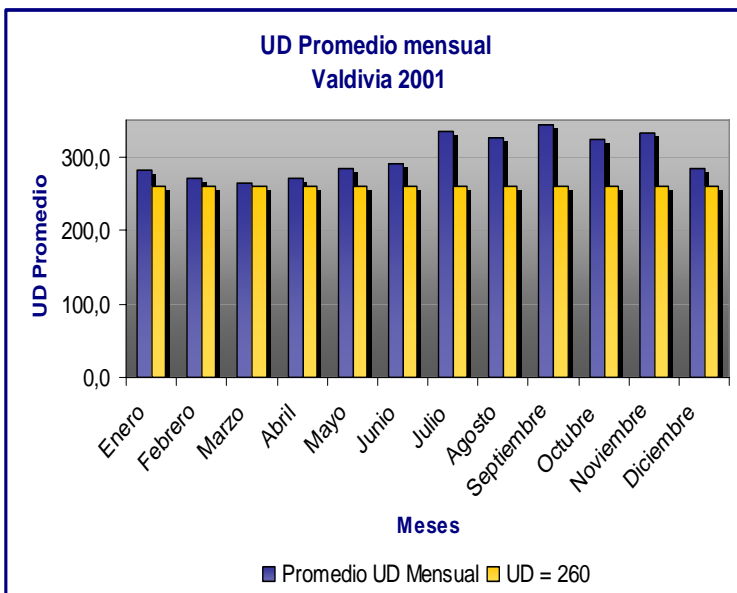


FIG. 4.07e. Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. nivel 260 UD
FUENTE. Elaboración propia

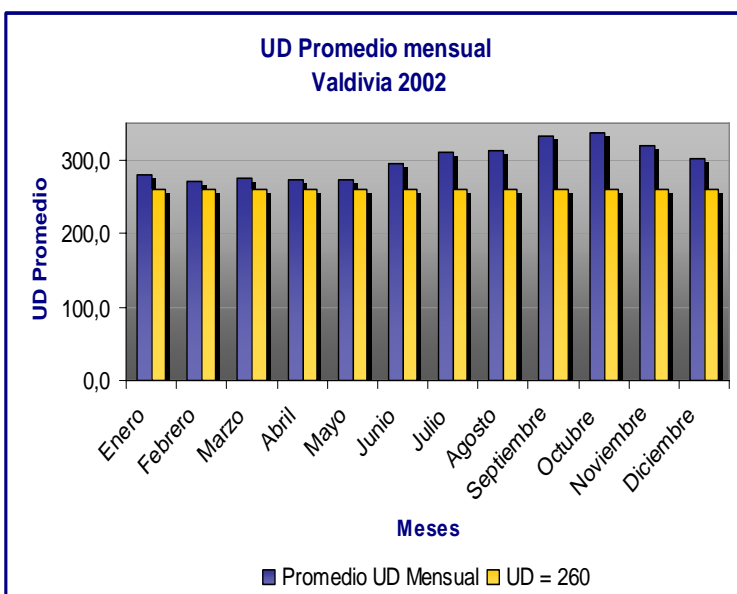


FIG. 4.07f. Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. nivel 260 UD
FUENTE. Elaboración propia

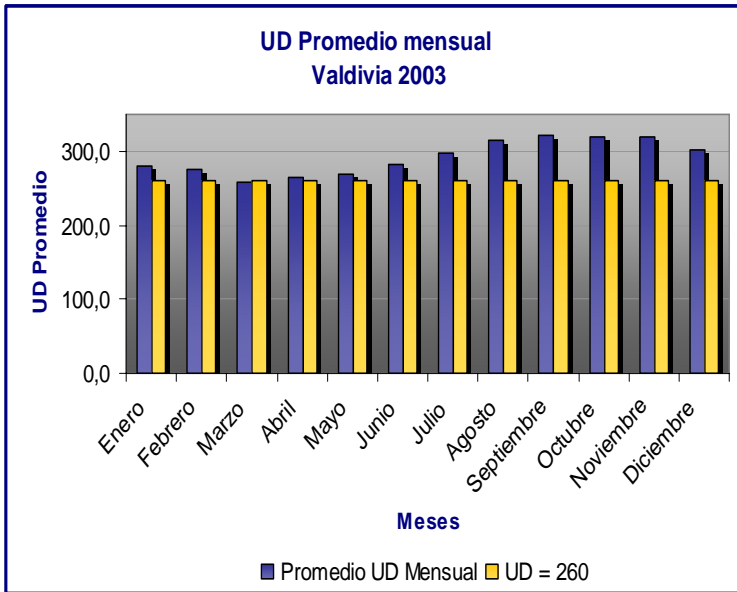


FIG. 4.07g. Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. nivel 260 UD
FUENTE. Elaboración propia

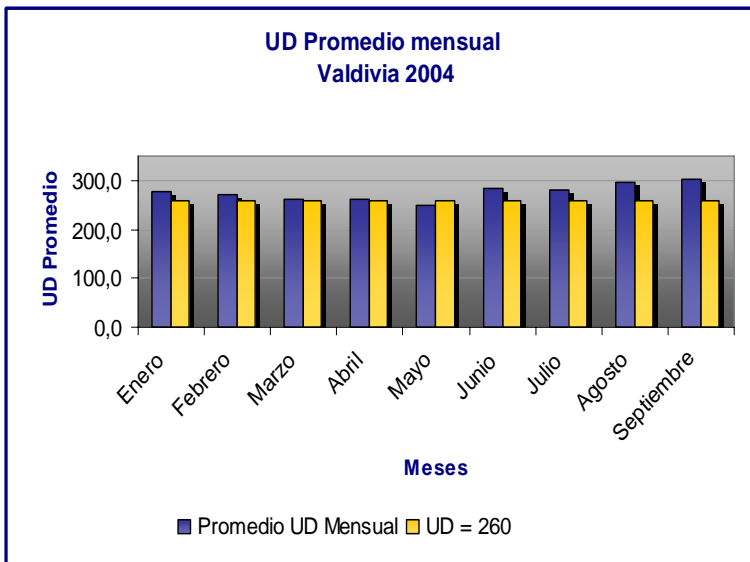


FIG. 4.07h. Promedio mensual de niveles de ozono para Valdivia vs. nivel 260 UD
FUENTE. Elaboración propia

V. RADIACIONES Y HORMIGÓN.

5.1 LA REFLECTIVIDAD DEL HORMIGÓN.

5.1.1 Albedo: Una Medida de la reflectancia superficial de pavimentos.

Superficies Pavimentadas, tales como carreteras, caminos, pistas, áreas de estacionamiento y aceras, constituyen típicamente cerca de un 30 a 40% de las áreas urbanas desarrolladas (ACPA, 2002). En las décadas pasadas, la plaga de las ciudades modernas, ha sido el aumento de calefacción. Las áreas urbanas son frecuentemente hasta 8°F más tibia que el área rural, creando “islas” urbanas de calor. Si las superficies urbanas fueran de colores más claros, mayor cantidad de la luz incidente se reflejaría hacia el espacio, refrescando las superficies y el aire ambiente (Correa, et al, 2003). Las superficies y el aire más frescos reducen la necesidad de aire acondicionado, ahorrando energía y reduciendo las emisiones de centrales eléctricas. El aire más fresco puede reducir también la contaminación aérea disminuyendo las reacciones químicas que producen smog.

La radiación solar incluye la luz visible, luz infrarroja cercana, y luz ultravioleta.

El albedo, o reflectancia solar, es la proporción de la radiación solar reflejada a la cantidad total que cae en una superficie, conocido como la radiación solar incidente. Así también el albedo espectral de una superficie es definida como la razón entre la irradiancia difusa espectral, que es el resultado de la reflexión sobre el suelo, y la irradiancia espectral. Los valores de albedo recorren de 0, para absorbentes perfectos, a 1, para reflectores perfectos (Feister et al, 1995).

En estructuras de pavimento, la superficie más alta es la única capa que afecta albedo. Por lo tanto, la selección de tipo pavimento debe incluir también una consideración de albedo, ya que la generación de calor sobre la superficie es un tema importante (ACPA, 2002).

Las medidas de campo indican que un pavimento nuevo de hormigón con cemento gris tiene un albedo en la gama de 0,35 - 0,40. Cuando el cemento se envejece, se tiende a oscurecer a causa de la tierra y el uso de los neumáticos, así que la mayoría de los cementos más viejos tienen albedos en la gama de 0,20-0,30. El uso de cementos blancos puede influir en el albedo del hormigón de gran manera. Los pavimentos de hormigón con cemento blanco tienen albedos en la gama de 0,70 - 0,80 cuando son nuevos, y 0,40 - 0,60 cuando son viejos (Levinson, 2001).

El asfalto, por otro lado, tiende a ser más reflectivo cuando envejece, debido a la oxidación y deterioro de la carpeta, revelando el agregado. El asfalto nuevo es muy oscuro, así que tiene un albedo de 0,05 - 0,10, y el asfalto viejo tienen un albedo de 0,10 - 0,15 (ver tabla 5.01).

5.1.1.1 Ejemplos de albedo.

En un estudio reciente, patrocinado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, y la Agencia de Protección Ambiental, y los investigadores del Grupo de la Isla del Calor en el Laboratorio Nacional Lawrence, de la Universidad de California Berkeley, se investigaron métodos para desarrollar pavimentos de hormigón más frescos utilizando cemento Pórtland blanco y agregados reflectores (ACPA, 2002).

Tipo de Pavimento	Albedo
Asfalto	0.05-0.10 (nuevo)
	0.10-0.15 (usado)
Hormigón con cemento Portland gris	0.35-0.40 (nuevo)
	0.20-0.30 (usado)
Hormigón con cemento Portland blanco	0.70-0.80 (nuevo)
	0.40-0.60 (usado)

TABLA. 5.01. Albedo de superficies de pavimentos.
FUENTE. ACPA, 2002

En zonas urbanas, la mayoría de las aceras y un porcentaje que varía, de áreas de caminos y estacionamiento, se pavimentan con hormigón de cemento Portland, que se puede hacer aún más reflectivos por la elección conveniente de cemento y agregado. Las variaciones en el diseño de la combinación y la exposición ambiental de los pavimentos de hormigón con cemento Portland se exploraron en el estudio mediante la fabricación y la exposición de 32 combinaciones diferentes de hormigón, a fuentes de radiación artificial.

Dentro de las conclusiones que entrega esta investigación, el albedo del hormigón creció a medida que la reacción de hidratación del cemento aumentaba, pero se estabilizó dentro de seis semanas desde el momento del moldaje. Los hormigones con cemento blanco, eran en promedio apreciablemente más reflectivos que el hormigón con cemento gris. El albedo del hormigón con cemento blanco más reflectivo fue 0,18 a 0,39 más alto que el hormigón con cemento gris más reflectivo. El albedo del hormigón, está generalmente en correlación con el albedo del cemento y la arena antes de la abrasión, una vez que ésta se produce, es el albedo del agregado el que representa el valor del albedo del hormigón. Los hormigones fabricados con cemento blanco, pueden costar hasta dos veces o más que aquellos fabricados con cemento gris normal. Los ahorros del costo del cambio de pavimentos de asfalto a pavimentos de hormigón grises y normales pueden ahorrar cerca de un millón de dólares en un año para una ciudad. Las simulaciones de la influencia de albedo de pavimento en la temperatura ambiente en Los Angeles predicen que aumentando el albedo en 25% para 1.250 km² de pavimento, se ahorraría por concepto de energía no consumida para aire acondicionado la suma de U\$15M por año, además

reduciría los gastos médicos producidos por el smog, y por pérdidas de días trabajados que pueden alcanzar unos U\$76M por año (Levinson, 2001).

Por otra parte, un estudio realizado en Potsdam, Alemania, determinó el albedo espectral en el rango ultravioleta y visible, sobre diferentes tipos de superficies, tales como, suelo descubierto, arena de playa, hormigón, nieve, y diferentes tipos de vegetación, entre las cuales se encuentran, pasto, avena, centeno y remolacha, expuestos al sol.

Dentro de las conclusiones que entrega esta investigación, se puede destacar que el albedo espectral generalmente aumenta cuando aumenta la longitud de onda para todo tipo de superficies, y que el albedo de un hormigón de carretera seco estaba alrededor de un 0.10 en la región UV-B, 0.11 a 0.16 en la región UV-A. Por otro lado el albedo de la misma superficie mojada, bajo similares condiciones de exposición, muestra valores entre 0.07 y 0.08 para la región UV-B y 0.08 a 0.13 en la región UV-A (Feister, 1995)

5.2 LA REFLEXIÓN DE LA LUZ VISIBLE SOBRE PAVIMENTOS.

Cabe mencionar que una especificación reciente sobre iluminación de caminos, orienta a los proyectistas sobre el tipo de pavimento a construir en calles, así como la forma de economizar millones de dólares en energía y costos de instalaciones para alumbrado. Las últimas prácticas americanas para la iluminación de caminos (American Standard Practice for Roadway Lighting) consideran la luz reflejada por la superficie del camino, dentro del sistema total de iluminación, de modo que el pavimento integra el sistema de iluminación.

De acuerdo con un estudio realizado por Richard Stark, usando materiales para pavimentos altamente reflectivos puede economizarse hasta 24 000 U\$ por milla, por la menor cantidad de postes para la iluminación, y hasta 1100 U\$ anuales por reducción del consumo de energía y de gastos para el mantenimiento de las instalaciones.

Pavimentos altamente reflectantes requieren menos iluminación que superficies de baja reflexión (Stark, 1986). La reflexión varía con el tipo de pavimento y es la clave en el esquema de ahorro al evaluar la mayor iluminación. Los estudios clasifican las superficies de los diferentes tipos de pavimentos, en cuatro niveles de reflectancia:

Clase	Descripción	Modo de reflectancia
R1	De hormigón de cemento Pórtland (típica superficie de hormigón). De concreto asfáltico con 15% de agregados artificiales brillantes que reflejan luz.	Mayormente difusa
R2	De concreto asfáltico con un 60% de agregados mayores que 10 mm o que contengan de 10 a 15 % de agregados artificiales brillantes. Superficies con mezclas de materiales que difundan la luz o son brillantes.	Mixta (difusa y especular)
R3	De concreto asfáltico con agregados oscuros y textura rugosa después de pocos meses de utilización (superficies típicas de los concretos asfálticos).	Levemente especular
R4	De concreto asfáltico con textura muy lisa. Materiales sin brillo.	Mayormente especular

TABLA. 5.02. Clasificación de la superficie de pavimentos.
FUENTE. Stark, 1986

De las anteriores las superficies más ampliamente utilizadas son las clasificadas como R1, hormigón de cemento Pórtland, y R3, concreto asfáltico con agregados oscuros.

Los factores de reflexión consideran como más adecuada la blancura de los pavimentos. Otra consideración es la manera como se produce la reflexión, esto es, la luz es difusa o concentrada.

De acuerdo con Stark el mismo nivel de iluminación se puede obtener con una inversión más baja en equipos y potencia en vatios, logrando menores inversiones y mantenimiento, cuando se utilizan los pavimentos con superficies tipo R1.

Las comparaciones de costos ponen de manifiesto la gran ventaja de utilizar pavimentos con alta reflectancia. Si se considera una vía principal en un área comercial, para obtener el mismo nivel de iluminación los pavimentos cuya superficie corresponde al tipo R3, necesitan un 477% más iluminación que aquellos del tipo R1. En la actualidad esa diferencia de iluminación significa no solamente ahorro en dinero sino también en energía. (Stark, 1986).

5.3 LA QUÍMICA DEL HORMIGÓN Y SU RELACIÓN CON LA REFLEXIÓN.

El hormigón es un material que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena, grava, gravilla u otro agregado y agua (Seguel, 2003).

A un nivel macroscópico, el hormigón puede ser considerado como un material de dos fases, constituido por partículas agregadas dispersas en una matriz de pasta de cemento.

El cemento es el que aporta la mayor cantidad de compuestos químicos al hormigón, por lo que estudiando su composición se puede tener una visión amplia de la composición de este.

5.3.1 Química del cemento.

El cemento es un material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo agua como en el aire (NCh 148 Of. 68). Por estas características se define como un aglomerante hidráulico.

Además el albedo del hormigón cuando está nuevo, es equivalente al albedo que presenta el cemento (Levinson, 2001). Así teniendo presente la composición química y aporte de compuestos por parte del cemento al hormigón es posible tener una visión más clara de los posibles compuestos que aportan al proceso de reflexión.

Es obtenido mediante un proceso de fabricación que utiliza principalmente dos materias primas, una caliza, con un alto contenido de cal en forma de óxido de calcio, y un componente rico en sílice, constituido normalmente por arcilla o eventualmente por una escoria de alto horno. Estos componentes son mezclados en proporciones adecuadas sometidos a un proceso de fusión incipiente en un horno rotatorio, del cual se obtiene un material granular denominado clínquer, producto constituido principalmente por silicatos cálcicos, como son los óxidos de calcio (CaO) y silicio (SiO₂), así como también óxidos de aluminio (Al₂O₃) y hierro (Fe₂O₃) en proporciones menores.

Por otra parte cuando es necesario corregir los porcentajes de los óxidos, empleando otros materiales que tienen los óxidos que se desea corregir, así por ejemplo se puede usar arena silícica, mineral de hierro, caolín (compuesto de sílice y alúmina), entre otros.

Origen	Elemento	Denominación
Calcáreos	CaO	Óxido de calcio "cal"
Arcilla (escoria de alto horno)	SiO ₂	Oxido de silicio "sílice"
	Al ₂ O ₃	Oxido de aluminio "alúmina"
	Fe ₂ O ₃	Oxido de fierro
Otros (correctores de dosificación)	SiO ₂	Oxido de silicio
	Al ₂ O ₃	Oxido de aluminio
	Fe ₂ O ₃	Oxido de fierro

TABLA. 5.03. Resumen de los óxidos principales de las materias primas del clínquer.
FUENTE. Bucarey, 1996

5.3.1.1 Compuestos mineralógicos del clínquer.

Como se mencionó anteriormente, el clínquer está formado por óxidos de calcio y de silicio y en menor proporción óxidos de aluminio y fierro.

Los óxidos se combinan formando los siguientes compuestos:

Compuesto	Fórmula química	Abreviación química	Porcentaje participación
Silicato tricálcico	3CaO·SiO ₂	(C ₃ S)	50-70%
Silicato bicálcico	2CaO·SiO ₂	(C ₂ S)	15-30%
Aluminato tricálcico	3CaO·Al ₂ O ₃	(C ₃ A)	5-10%
Ferroaluminato tricálcico	4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃	(C ₄ AF)	5-15%

Tabla. 5.04. Principales fases de un cemento típico.
FUENTE. Hansson, 1997

Estos se presentan en forma de cuatro fases mineralizadas en conjunto con una fase vítrea, integrada por los dos últimos. Estas fases constituyen un 95% del peso total del clínquer, siendo el 5% restante componentes menores, conocidos como secundarios, dentro de los cuales se encuentran los siguientes:

- Magnesia (MgO)
- Sulfatos (SO₃)
- Cal libre (CaO sin combinarse)
- Álcalis (Na₂O y K₂O)
- Otros óxidos tales como: óxido de manganeso, óxido de vanadio, óxido de titanio, anhídrido fosfórico, residuos insolubles, entre otros.

5.3.2 Estructura del hormigón.

La estructura del hormigón presenta 3 componentes, la pasta hidratada de cemento, el agregado y la zona de transición entre la pasta de cemento y el agregado.

La fase agregada es predominante responsable del peso, del módulo de elasticidad, y de la estabilidad dimensional del hormigón, reduciendo la contracción a menos de 1%. La composición química o mineralógica de las fases sólidas agregadas es generalmente menos importante que las características físicas tales como el volumen, el tamaño, y la distribución de poros. Además de porosidad, la forma y la textura del agregado grueso también afectan las características del hormigón.

La adición del agregado también reduce el costo por volumen de material ya que la pasta de cemento es mucho más cara que el agregado. La arena está típicamente compuesta de partículas con diámetro entre 75 μm a 47,5 μm , mientras que el árido grueso tiene partículas con diámetros mayores a 4,75 mm y hasta 50 mm (Hansson, 1997).

El cemento al ser mezclado con agua forma una pasta, que tiene la propiedad de rigidizarse progresivamente hasta constituir un sólido de creciente dureza y resistencia.

Estas características son obtenidas por un proceso físico-químico derivado de la reacción química del agua con las fases mineralizadas del clínquer y que en su primera etapa incluye la solución en agua de los compuestos anhidros del cemento, formando compuestos hidratados. Los compuestos del cemento se hidratan a distinta velocidad, iniciándose con el C_3A y continuando posteriormente con C_4AF , C_3S , C_2S .

Durante el proceso de hidratación, el silicato de calcio reacciona para formar hidrato de silicato de calcio (C-S-H). El hidrato de silicato de calcio representa alrededor del 50 a 70% del volumen sólido de la pasta de cemento completamente hidratada, por lo tanto es la más importante al determinar las propiedades de la pasta. La morfología del C-S-H varía desde fibras cristalinas pobremente definidos a mallas reticuladas.

Los cristales de hidróxido de calcio, constituyen un 15 a 30% del volumen del sólido. En contraste al C-S-H, el hidróxido de calcio es un compuesto con una estequiometría bien definida, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Esta tiende a formar largos cristales con una distintiva morfología de prisma hexagonal.

Los aluminatos y las ferritas reaccionan con el sulfato de calcio para formar cristales tipo aguja llamado etringita, inicialmente estable, $\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$, conocida como Aft, la que a menudo reacciona formando un monosulfato $\text{C}_4\text{ASH}_{18}$, conocido como Afm, que tiene morfología de una placa hexagonal. La morfología de la placa hexagonal es también la característica de los hidratos de aluminato de calcio, que se forman en las pastas hidratadas de cualquier cemento bajo en sulfatos o de los cementos de alto contenido de C_3A . El Aft gradualmente se convierte en Afm dependiendo de la proporción A/S en la solución

Unas pocas horas después grandes cristales prismáticos de hidróxido de calcio y cristales fibrosos muy pequeños de los hidratos de silicato de calcio comienzan a llenar los espacios vacíos ocupados antes por el agua y las partículas de cemento que se disuelven.

Primero, en el hormigón recientemente compactado, películas de agua alrededor de las partículas agregadas grandes, explicaría un cociente más alto de agua/cemento cercano al agregado que lejos de él. Después, el calcio, el sulfato, el hidróxido, y los iones del aluminato, producidos por la disolución de los compuestos del sulfato de calcio y aluminato cálcico se combinan para formar hidróxido de calcio y etringita. Debido al alto cociente de agua/cemento, estos productos cristalinos en la vecindad del agregado se presentan en cristales relativamente más grandes, y por lo tanto forman un marco más poroso que en la pasta de cemento. Los cristales del hidróxido de calcio tienden a formarse en capas orientadas, por ejemplo, con el eje perpendicular a la superficie agregada. Finalmente, con el progreso de la hidratación, los C-S-H y una segunda generación de cristales más pequeños de hidróxido de calcio y etringita comienzan a llenar los espacios vacíos que existen entre el marco creado por los cristales más grandes de etringita y los cristales del hidróxido de calcio. Esto ayuda a mejorar la densidad y por lo tanto la resistencia de la zona de transición.

5.3.3 Elementos que reflejan la radiación.

Según estudios realizados en el área farmacéutica, principalmente en el área de desarrollo de productos fotoprotectores y bronceadores, existe una clara tendencia al desarrollo de filtros solares. Estos filtros se dividen en dos tipos con diferentes cualidades frente a la incidencia de la radiación, estos son los filtros físicos y filtros químicos.

Los filtros químicos son sustancias capaces de absorber la radiación UV, la mayoría son compuestos orgánicos y su capacidad de absorción a determinadas longitudes de onda depende de la estructura química, el solvente y el pH.

Por otro lado los filtros físicos, son sustancias opacas que por sus propiedades físico-químicas filtran el 99% de la luz visible y ultravioleta, y su mecanismo de acción se basa en la reflexión y la dispersión (Serra, 1994). Dentro de los más comunes se encuentran el óxido de zinc, dióxido de titanio, caolín, mica, vaselina, óxidos de hierro, silicatos, entre otros.

Como se vio antes en este capítulo, los óxidos de hierro, caolín, silicatos, entre otros, están presentes en el hormigón, por lo que es posible pensar que debido a su presencia en la superficie, se comporten como una especie de filtro físico, que por medio de la dispersión y la reflexión reflejen la radiación incidente, sin embargo no es clara la distribución de estos

compuestos en la superficie del hormigón por lo que no es posible afirmar este fenómeno hasta conocer una caracterización de la superficie del hormigón.

5.4 JUSTIFICACIÓN DEL ENSAYO.

Por todo lo mencionado en los capítulos precedentes, es necesario plantear un ensayo de laboratorio que permita caracterizar el comportamiento de la reflectancia sobre superficies de hormigón. A pesar que existen laboratorios que tienen objetivos similares, estos se realizaron con láseres que presentan un comportamiento diferente. Además las muestras de hormigón fabricadas para estos ensayos, no necesariamente representan un hormigón típico de Chile, debido principalmente a la constitución del cemento y a las características de los áridos. Finalmente no existe en ninguna de estas investigaciones el afán de determinar si existe influencia de la cantidad de cemento ni de la rugosidad superficial en este efecto, Por lo que queda clara la necesidad de plantear esta metodología.

VI. ENSAYOS DE LABORATORIO.

6.1 PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS.

Para las mediciones se fabricaron 12 probetas cúbicas de hormigón de 15 cm. de arista, seis con un tipo de dosificación con menor cantidad de cemento (D1), que corresponde a un hormigón grado H30, con razón $a/c = 0,448$, y seis probetas con una segunda dosificación (D2), con mayor cantidad de cemento equivalente a un hormigón grado H35 con razón $a/c = 0,398$.

Una vez que las muestras son retiradas de los moldes, estas son trasladadas hasta una piscina de curado, hasta cumplir 28 días desde el momento de su fabricación. Una vez retiradas se almacenan hasta que se han cumplido seis semanas (42 días) desde el momento del moldaje, momento en el cual se procede a realizar las mediciones.

6.1.1 Dosificación.

Se fabricaron dos tipos de dosificación, la primera corresponde a un hormigón grado H30, con razón $a/c = 0,448$, cono 3-5 cm, con un nivel de confianza de 85%, con muy buenas condiciones de ejecución de la mezcla, y con un tamaño máximo nominal de los áridos de 40 mm, según granulometría. De ahora en adelante esta dosificación será denotada por el término D1.

A continuación se presenta la tabla 6.01 que muestra la dosificación corregida por humedad, expresada en peso, para 40 lts. de mezcla.

Material	Dosificación en peso (Kg.)	Aporte de Humedad (+/-)	Dosificación Corregida en peso (Kg.)
Cemento	14,27	-	14,27
Grava	33,85	0,40	34,25
Gravilla	7,06	0,24	7,30
Arena	34,99	1,68	36,67
Agua Amasado	6,40	-1,60	4,80
Agua Absorción	0,71		

TABLA. 6.01. Detalle dosificación D1*.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

*La determinación de la razón a/c se realizó según procedimiento 3, y anexo C de la NCh 170 Of. 85

La segunda dosificación corresponde a un hormigón grado H35, con razón $a/c = 0,398$, cono 3-5 cm, con un nivel de confianza de 85%, con muy buenas condiciones de ejecución de la mezcla, y con un tamaño máximo nominal de los áridos de 40 mm, según granulometría. De ahora en adelante esta dosificación será denotada por el término D2.

La tabla 6.02 presenta la dosificación corregida por humedad, expresada en peso, para 40 lts. de mezcla.

Material	Dosificación en peso (Kg.)	Aporte de Humedad (+/-)	Dosificación corregida en peso (Kg.)
Cemento	16,05	-	16,05
Grava	32,68	0,46	33,14
Gravilla	6,80	0,17	6,97
Arena	33,76	2,41	36,17
Agua Amasado	6,40	-2,36	4,04
Agua Absorción	0,68		

TABLA. 6.02. Detalle dosificación D2**. **FUENTE.** Elaboración propia, 2004.

**La determinación de la razón a/c se realizó según procedimiento 3, y anexo C de la NCh 170 Of. 85

6.1.2 Caracterización de los áridos.

Los áridos empleados para la dosificación fueron los siguientes:

- Arena.
- Gravilla.
- Grava.

La tabla 6.03, resume los valores de algunas propiedades de los áridos, realizadas en laboratorio.

Propiedades Físicas	Unidades	Grava	Gravilla	Arena
% Fino menor que 0,08 mm.	%	0,238	0,830	1,78
Materia orgánica	Color	-	-	Amarillo Claro Nivel 3
Densidad Aparente	Kg./dm ³	1,612	1,708	1,640
Densidad Real	Kg./dm ³	2,654	2,615	2,580
Huecos	%	39	35	36
Compacidad	%	61	65	64
Absorción	%	0,925	1,570	0,810

TABLA. 6.03. Propiedades de los áridos. **FUENTE.** Elaboración propia, 2004.

Para tener una caracterización más acabada, respecto de los áridos utilizados, se presenta la granulometría registrada en ensayo de laboratorio por tamizado, según NCh 165 Of. 77.

Tamiz ASTM	% Que Pasa		
	Grava	Gravilla	Arena
2"	-	-	
1 ½"	100	-	
1"	71	-	
¾"	44	-	
½"	10	100	
3/8"	1	84	100
N° 4	0,41	10	87
N° 8	0,24	8	75
N° 16	-	7	56
N° 30	-	5	19
N° 50	-	3	4
N° 100	-	1	2
N° 200	-	0,83	2

TABLA. 6.04. Granulometría áridos*.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

*Los áridos utilizados provienen de la empresa Áridos Las Ánimas

Además se presenta una tabla referida al contenido de humedad que contenían los diferentes agregados, para cada una de las dosificaciones fabricadas.

Para dosificación D1	
GRAVA	1,21%
GRAVILLA	3,23%
ARENA	4,81%

TABLA. 6.05a. Humedades para D1.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Para dosificación D2	
GRAVA	1,45%
GRAVILLA	2,4%
ARENA	7,1%

TABLA. 6.05b. Humedades para D2.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

6.1.3 Cemento.

El cemento utilizado para la confección de las probetas de hormigón fue un Cemento Bío-Bío, especial siderúrgico, fabricado en la planta de Talcahuano, elaborado a base de clínquer, escoria básica granulada de alto horno y yeso. De acuerdo a la norma NCh 148 Of. 68, se clasifica según su composición como cemento clase siderúrgico, es decir, el contenido de escoria está comprendido entre 30 y 75% y según su resistencia como corriente.

Este tipo de cemento debe cumplir con las especificaciones de la NCh 158 Of. 67 que se muestran en la tabla 6.06.

Características	Cemento Bío-Bío especial	Requisitos NCh 148 Of. 68
Clase	Siderúrgico	
Grado	Corriente	
Características físicas y mecánicas (valores promedio)		
Peso específico (g/cm ³)	3,0	
Expansión de autoclave (%)	0,05	1,0 máx.
Fraguado inicial	02:50	01:00 mín
Fraguado final	03:40	12:00 máx
Resistencia compresión (Kg/cm ²)		
7 días	180	
14 días	265	180 mín
28 días	430	250 mín
90 días	520	

TABLA. 6.06. Características cemento.
FUENTE. [URL 6].

6.2 MATERIALES Y EQUIPOS.

Para la realización de las mediciones fue necesaria la confección de una cámara de irradiación, que permitiera mantener la configuración geométrica para cada una de las mediciones, así como también la confección de unas pequeñas cámaras que permitieran disminuir la dispersión y por lo tanto disminuir su influencia en los resultados.

En la figura 6.01 se presenta una vista frontal de la cámara de irradiación, la cámara mide 150 cm de largo, 100 cm de alto y 50 cm de ancho. La cámara posee además una plataforma móvil que permite posicionar las lámparas en la ubicación deseada. Además la

cámara se encuentra totalmente cerrada para impedir la contaminación de las muestras con luz proveniente del exterior, por lo mismo todas las mediciones se realizaron en una pieza oscura.



FIG. 6.01. (a) vista frontal cámara de irradiación. (b) vista de la cámara y plataforma.

FUENTE. Elaboración Propia, 2004

Además fue necesaria la fabricación de una cámara más pequeña (rodeada por un círculo rojo en la figura 6.01b), cuyo objetivo es disminuir el efecto de la dispersión y el control del ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión.

Esta cámara posee dos agujeros opuestos, uno para el ingreso de la radiación y el otro para la salida, estos agujeros tienen el diámetro del sensor el cual se coloca según el esquema de la figura 6.02 a,b,c.

Se fabricaron tres de estas cámaras, para tres ángulos de incidencia diferentes.

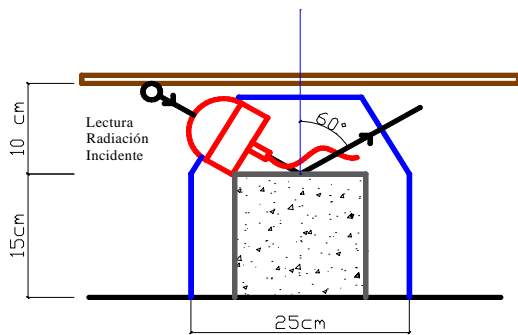
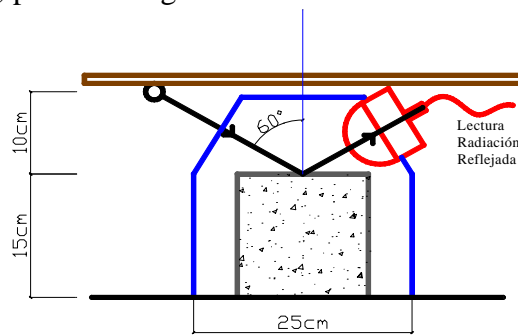


FIG. 6.02a. (a) Esquema posición sensores 60°.

FUENTE. Elaboración Propia, 2004



(b) Esquema posición sensores 60°.

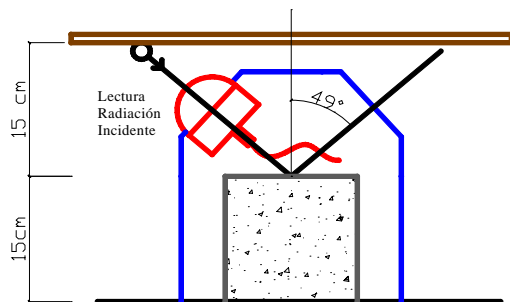
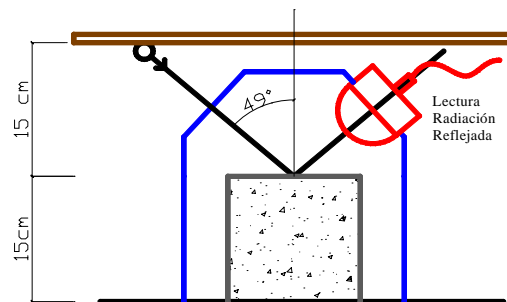


FIG. 6.02b. (a) Esquema posición sensores 49°.

FUENTE. Elaboración Propia, 2004



(b) Esquema posición sensores 49°.

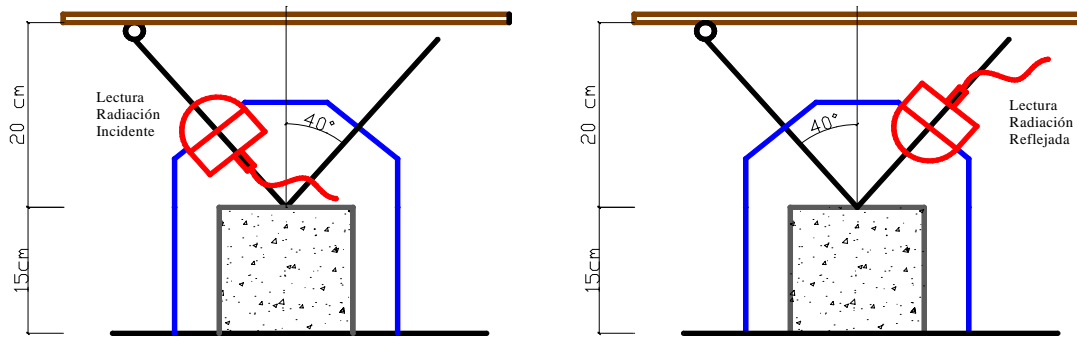


FIG. 6.02c. (a) Esquema posición sensores 40°.
FUENTE. Elaboración Propia, 2004

(b) Esquema posición sensores 40°.

Para el desarrollo del ensayo, fue necesario utilizar lámparas de radiación ultravioleta UV-B, UV-A y visible.

En el rango UV-A, la lámpara utilizada marca Q-Panel, modelo UVA-340, que cubre la región UV que comprende desde los 365 a los 295 nm, su peak de emisión se encuentra en los 340 nm. En la figura 6.03 se muestra el espectro de irradiancia de la lámpara.

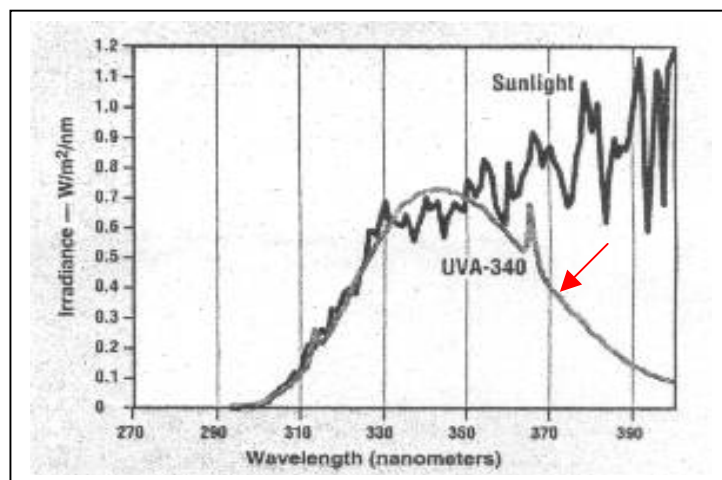


FIG. 6.03. Espectro de irradiancia lámpara UVA-340.
FUENTE. Technical bulletin LU-8160, 2004.

En el rango UV-B, la lámpara utilizada marca Q-Panel, modelo UVB-313, que cubre la región UV que comprende desde los 275 a los 335 nm, su peak de emisión se encuentra en los 313 nm. En la figura 6.04 se muestra el espectro de irradiancia de la lámpara.

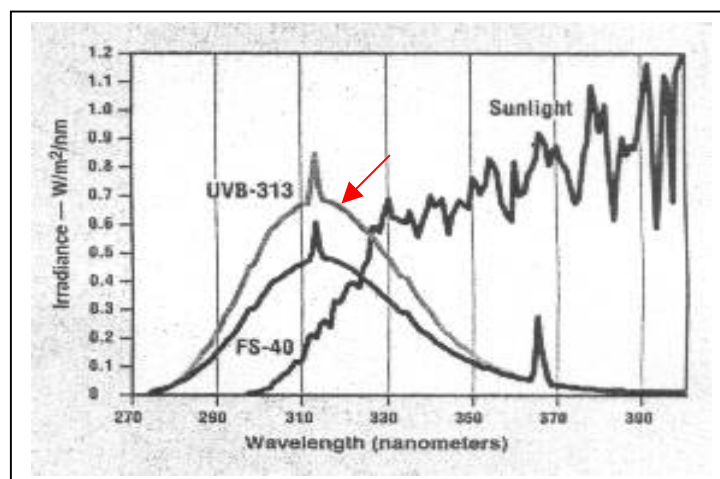


FIG. 6.04. Espectro de irradiancia lámpara UVB-313.
FUENTE. Technical bulletin LU-8160, 2004.

Para las mediciones con luz visible se utilizó una lámpara de fabricación nacional marca General Electric, modelo GE lightning luz día rapidstart, de 40W.

Para poder obtener los datos de la radiación incidente y reflejada se utilizaron para la radiación UV-B un sensor marca Walz, modelo UVB-071, que cubre la región entre 265 y 315 nm, centrado en 297 nm, con un offset (señal de ruido) de $0,00015 \text{ W/m}^2$, para la radiación UV-A un sensor marca Walz, modelo UVA-071, que cubre la región entre 310 y 400nm, centrado en 335 nm con un offset $0,0092 \text{ W/m}^2$ y finalmente se utilizó un sensor para luz visible marca LI-COR, modelo LI-190SA Quantum, que cubre la región entre 400 y 700 nm.

En la figura 6.05 se muestran los tres sensores utilizados.

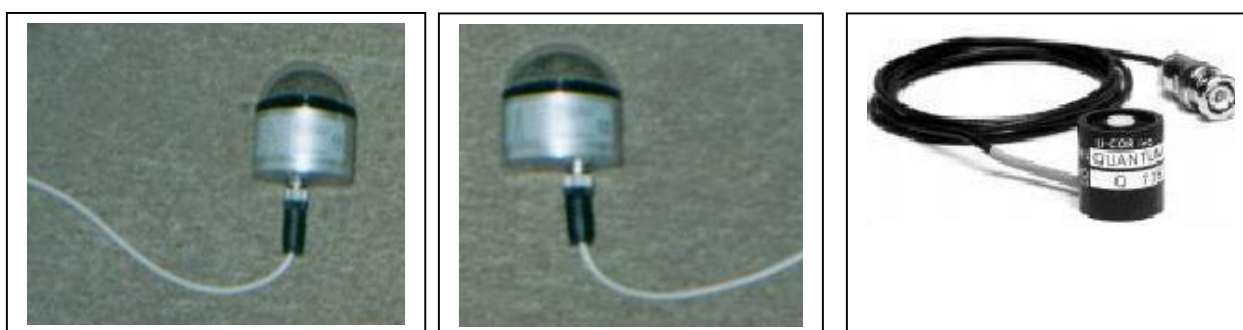


FIG. 6.05 Sensores UV-B, UV-A, visible.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Finalmente para recolectar los datos se ha utilizado un datalogger portátil marca LI-COR, modelo LI-1400, se utilizaron tres canales, un canal que midió UV-B, un canal para UV-A, y un canal para luz visible. La figura 6.06 muestra el dispositivo usado con los tres sensores.



FIG. 6.06 Data logger LI-1400 y sensores.
FUENTE Elaboración propia, 2004.

6.3 ENSAYO DE LABORATORIO.

Una vez que las probetas de hormigón cumplieron 6 semanas desde el momento de colocación en los moldes, se procedió a determinar la radiación incidente y reflejada para cada muestra, según el siguiente procedimiento.

En primer lugar se procede a definir la configuración geométrica inicial que será utilizada con los tres tipos de radiación. Una vez que está definida, es necesario mantener encendida la lámpara hasta que la lectura del datalooger se haya estabilizado, hecho que ocurre después de 1 hora aproximadamente.

Una vez que esto sucede, se mide en primer lugar la radiación incidente y reflejada para la radiación UV-B, para el primer grupo de seis muestras de dosificación D1, para un ángulo de 60°, tanto para la cara rugosa como para la cara lisa. El valor que se toma como válido es aquel en el cual el sensor se mantiene estable.

Una vez que se ha procedido realizar los 12 pares de mediciones, 6 probetas por 2 caras para la cara rugosa y lisa (Valor R. Incidente, Valor R. Reflejada), se procede a medir la misma información para la misma configuración geométrica pero para la dosificación D2.

Una vez que las doce probetas han sido expuestas a la radiación, en ambas caras y se han registrado los valores para esta primera condición, se procede a tomar una segunda configuración geométrica, esta vez a los 49°, se repite la misma metodología, para finalmente repetir la operación para un ángulo de incidencia de 40°. Así finalizan las mediciones para la radiación UV-B. Luego este proceso se repite con la radiación UV-A y visible.

En la figura 6.07 se muestra la probeta colocada en el centro de la cámara junto con la base de la cámara más pequeña. En la figura 6.08 se puede observar la cámara más pequeña completa y en la figura 6.09 se observa el sensor colocado en posición preparado para las mediciones.

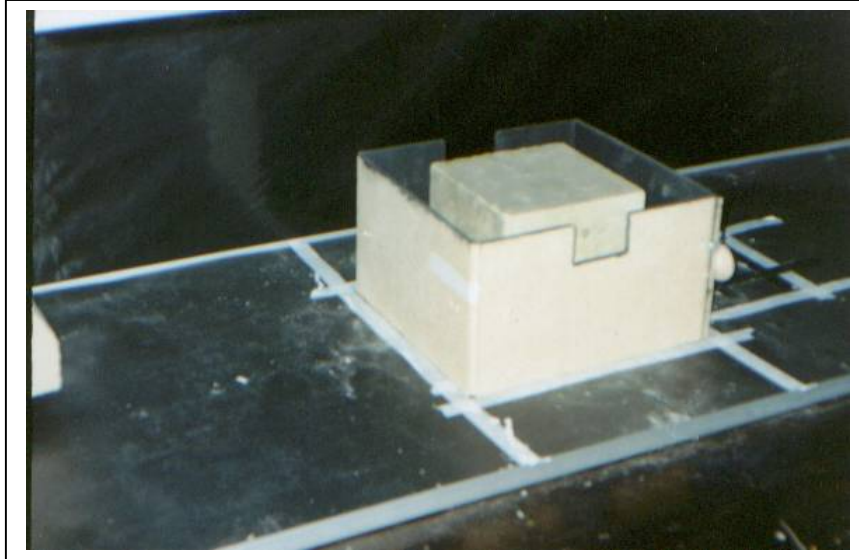


FIG. 6.07. Ubicación probeta en cámara de irradiación.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

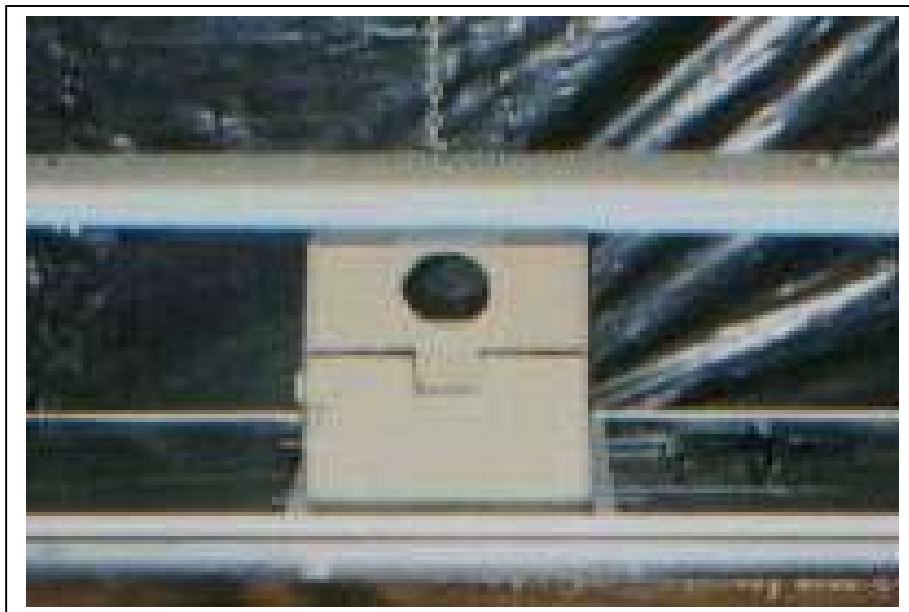


FIG. 6.08. Cámara de posicionamiento del sensor.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

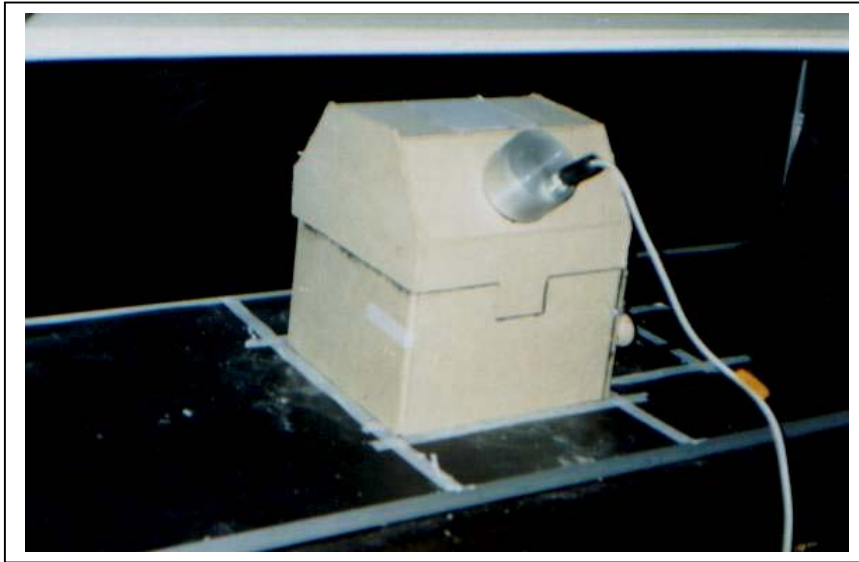


FIG. 6.09. Posicionamiento del sensor, ensayo de medición de la radiación reflejada.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

En la figura 6.10 se muestra una imagen general del ensayo, donde se observan la cámara de irradiación, la cámara de posicionamiento del sensor, la lámpara, el sensor, el datalogger, el computador portátil y las probetas.



FIG. 6.10. Imagen general ensayo medición de la radiación reflejada.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Una vez que se realizaron todas las medidas de radiación se procedió a cortar las superficies de las muestras a 1" de espesor para realizar la medición de la rugosidad superficial, por medio de un método óptico. Para esto se iluminó la superficie de la muestra con un haz de luz continuo, mediante una cámara fotográfica digital se capturó una imagen de la superficie iluminada. Esta imagen digital es procesada por una computadora que examina el patrón de la dispersión de la luz de la imagen y calcula los parámetros de la rugosidad de la superficie con un histograma de la escala de grises de la imagen. La

rugosidad óptica se calcula como la desviación estándar del histograma de la escala de grises. La ecuación 6.01 muestra como se calcula la desviación estándar.

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^{255} F_i (x_i - \bar{x})^2}$$
(6.01)

- Donde n-1 : grados de libertad
x : promedio de las observaciones
x_i : observación
F_i : frecuencia de la observación

Un esquema del procedimiento de ensayo se presenta en la figura 6.11. Al momento de analizar las imágenes se utilizó el software Sigma Scan Pro 5.0 versión demo disponible en internet. Con este software se obtuvo un histograma que representa la distribución de grises en una escala que va desde 0 que corresponde al negro absoluto a 255 que corresponde al blanco absoluto. La rugosidad superficial fue medida sobre dos caras de cada muestra, denominándose como RM la cara rugosa y Rm la cara lisa.

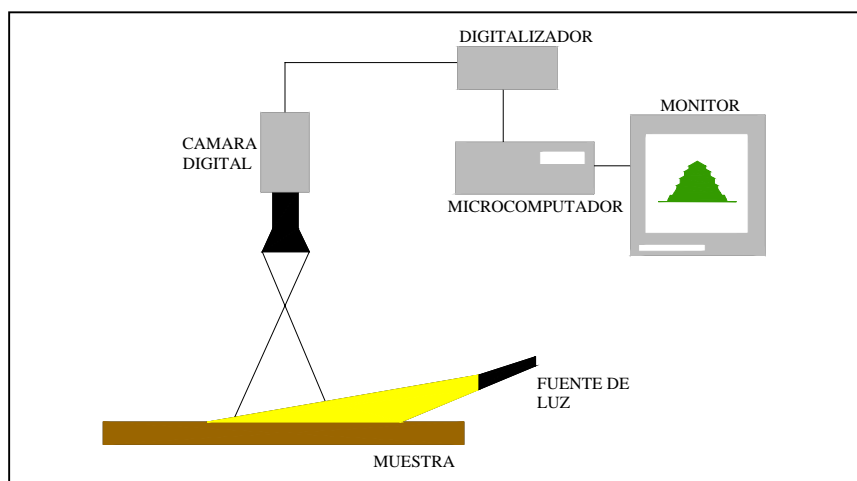


FIG. 6.11. Esquema ensayo de rugosidad superficial.
FUENTE. Rolleri, 2003







6.4 RESULTADOS.

Las siguientes tablas muestran los datos obtenidos para cada una de las mediciones realizadas a cada probeta, representadas por la radiación incidente, reflejada y la reflectancia representada como el porcentaje de la radiación reflejada sobre la incidente. A cada grupo de valores se le descontó el offset asociado al sensor utilizado

6.4.1 Radiación UV-B.

A continuación se muestran los resultados correspondientes a la exposición a radiación UV-B para ángulos de incidencia de 60°, 49° y 40°, medidas sobre la cara rugosa y sobre la cara lisa de la muestra, en sus dos diferentes dosificaciones.

Una medición realizada sobre la cara rugosa de una probeta fabricada con la dosificación D1, se denominará D1RM-x, donde x varía de a hasta f, dependiendo de que muestra se trate.

Ángulo = 60°- Cara RM			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D1RM-a	3,782	0,091	2,402
 D1RM-b	3,606	0,085	2,370
 D1RM-c	3,706	0,100	2,700
 D1RM-d	3,755	0,116	3,093
 D1RM-e	3,797	0,107	2,812
 D1RM-f	3,768	0,106	2,825













Ángulo = 60°- Cara Rm			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D1Rm-a	3,753	0,081	2,162
 D1Rm-b	3,732	0,094	2,520
 D1Rm-c	3,757	0,102	2,716
 D1Rm-d	3,802	0,094	2,474
 D1Rm-e	3,844	0,107	2,793
 D1Rm-f	3,705	0,095	2,552

TABLA. 6.07a Resumen resultados reflectancia UV-B, para dosificación D1.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Angulo = 60°- Cara RM			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D2RM-a	3,842	0,107	2,786
 D2RM-b	3,833	0,101	2,626
 D2RM-c	3,829	0,115	3,013
 D2RM-d	3,988	0,097	2,444
 D2RM-e	3,847	0,117	3,048
 D2RM-f	3,955	0,112	2,833













Angulo = 60°- Cara Rm			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D2Rm-a	3,750	0,104	2,769
 D2Rm-b	3,889	0,099	2,555
 D2Rm-c	3,919	0,098	2,510
 D2Rm-d	3,949	0,120	3,030
 D2Rm-e	3,998	0,114	2,845
 D2Rm-f	3,984	0,106	2,665

TABLA. 6.07b Resumen resultados reflectancia UV-B, para dosificación D2.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Angulo = 49°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri* 100 (%)
 DIRM-a	3,100	0,012	0,386
 DIRM-b	3,186	0,010	0,300
 DIRM-c	3,111	0,013	0,419
 DIRM-d	3,092	0,012	0,403
 DIRM-e	3,137	0,012	0,391
 DIRM-f	3,071	0,011	0,363













Angulo = 49°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri* 100 (%)
 D1Rm-a	3,204	0,012	0,373
 D1Rm-b	3,184	0,010	0,319
 D1Rm-c	3,600	0,010	0,265
 D1Rm-d	3,067	0,010	0,321
 D1Rme	3,174	0,010	0,310
 D1Rm-f	3,005	0,008	0,271

TABLA. 6.07c. Resumen resultados reflectancia UV-B, para dosificación D1.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Angulo = 49°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri* 100 (%)
 D2RM-a	3,131	0,009	0,289
 D2RM-b	3,067	0,010	0,324
 D2RM-c	3,052	0,013	0,421
 D2RM-d	3,051	0,011	0,346
 D2RM-e	3,056	0,011	0,375
 D2RM-f	3,062	0,010	0,315













Angulo = 49°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri* 100 (%)
 D2Rm-a	3,126	0,010	0,325
 D2Rm-b	3,075	0,013	0,415
 D2Rm-c	3,062	0,012	0,384
 D2Rm-d	3,055	0,012	0,408
 D2Rm-e	3,065	0,011	0,370
 D2Rm-f	3,059	0,011	0,355

TABLA. 6.07d. Resumen resultados reflectancia UV-B, para dosificación D2.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Angulo = 40°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D1RM-a	2,312	0,009	0,387
 D1RM-b	2,345	0,006	0,275
 D1RM-c	2,355	0,010	0,418
 D1RM-d	2,361	0,010	0,409
 D1RM-e	2,358	0,009	0,384
 D1RM-f	2,389	0,008	0,354













Angulo = 40°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D1Rm-a	2,344	0,007	0,301
 D1Rm-b	2,347	0,006	0,275
 D1Rm-c	2,358	0,006	0,257
 D1Rm-d	2,353	0,006	0,270
 D1Rm-e	2,371	0,006	0,247
 D1Rm-f	2,397	0,006	0,232

TABLA. 6.07e.
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia UV-B, para dosificación D1.
Elaboración propia, 2004.

Angulo = 40°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D2RM-a	2,414	0,007	0,271
 D2RM-b	2,384	0,007	0,279
 D2RM-c	2,375	0,010	0,406
 D2RM-d	2,408	0,008	0,314
 D2RM-e	2,353	0,008	0,321
 D2RM-f	2,379	0,007	0,284













Angulo = 40°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D2Rm-a	2,427	0,008	0,315
 D2Rm-b	2,378	0,009	0,368
 D2Rm-c	2,374	0,008	0,343
 D2Rm-d	2,344	0,009	0,373
 D2Rm-e	2,361	0,008	0,320
 D2Rm-f	2,356	0,008	0,320

TABLA. 6.07f.
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia UV-B, para dosificación D2.
Elaboración propia, 2004.

6.4.2 Radiación UV-A.

A continuación se muestran los resultados correspondientes a la exposición a radiación UV-A para ángulos de incidencia de 60°, 49° y 40°, medidas sobre la cara rugosa y sobre la cara lisa de la muestra, en sus dos diferentes dosificaciones.

Angulo = 60°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D1RM-a	14,831	0,247	1,666
 D1RM-b	15,031	0,238	1,583
 D1RM-c	15,221	0,266	1,744
 D1RM-d	15,111	0,256	1,696
 D1RM-e	14,891	0,211	1,414
 D1RM-f	14,841	0,211	1,418













Angulo = 60°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D1Rm-a	14,891	0,266	1,783
 D1Rm-b	15,211	0,266	1,745
 D1Rm-c	14,971	0,211	1,406
 D1Rm-d	14,601	0,192	1,316
 D1Rm-e	15,211	0,320	2,106
 D1Rm-f	14,901	0,201	1,352

TABLA. 6.08a
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia UV-A, para dosificación D1.
Elaboración propia, 2004.

Angulo = 60°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D2RM-a	15,011	0,247	1,646
 D2RM-b	14,771	0,293	1,983
 D2RM-c	15,111	0,256	1,696
 D2RM-d	15,461	0,211	1,362
 D2RM-e	15,261	0,238	1,560
 D2RM-f	15,321	0,268	1,748







Angulo = 60°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D2Rm-a	14,961	0,284	1,897
 D2Rm-b	15,061	0,229	1,519
 D2Rm-c	15,601	0,229	1,467
 D2Rm-d	15,921	0,256	1,610
 D2Rm-e	14,571	0,247	1,696
 D2Rm-f	15,391	0,256	1,665

TABLA. 6.08b
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia UV-A, para dosificación D2.
Elaboración propia, 2004.








Angulo = 49°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D1RM-a	11,251	0,000	0,000
 D1RM-b	11,031	0,000	0,000
 D1RM-c	10,881	0,000	0,000
 D1RM-d	10,941	0,000	0,000
 D1RM-e	10,811	0,000	0,000
 D1RM-f	10,951	0,000	0,000

TABLA. 6.08c
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia UV-A, para dosificación D1.
Elaboración propia, 2004.

Angulo = 49°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D1Rm-a	11,290	0,000	0,000
 D1Rm-b	10,080	0,000	0,000
 D1Rm-c	11,040	0,000	0,000
 D1Rm-d	10,810	0,000	0,000
 D1Rm-e	11,020	0,000	0,000
 D1Rm-f	11,030	0,000	0,000




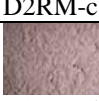
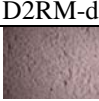




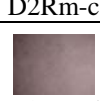


Angulo = 49°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D2RM-a	10,990	0,000	0,000
 D2RM-b	11,080	0,000	0,000
 D2RM-c	10,670	0,000	0,000
 D2RM-d	11,020	0,000	0,000
 D2RM-e	10,970	0,000	0,000
 D2RM-f	10,980	0,000	0,000

TABLA. 6.08d
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia UV-A, para dosificación D2.
Elaboración propia, 2004.

Angulo = 49°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D2Rm-a	10,900	0,000	0,000
 D2Rm-b	11,040	0,000	0,000
 D2Rm-c	10,980	0,000	0,000
 D2Rm-d	11,030	0,000	0,000
 D2Rm-e	11,030	0,000	0,000
 D2Rm-f	11,010	0,000	0,000













Angulo = 40°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 DIRM-a	9,500	0,000	0,000
 DIRM-b	9,710	0,000	0,000
 DIRM-c	9,460	0,000	0,000
 DIRM-d	9,670	0,000	0,000
 DIRM-e	9,439	0,000	0,000
 DIRM-f	9,467	0,000	0,000

TABLA. 6.08e
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia UV-A, para dosificación D1.
Elaboración propia, 2004.

Angulo = 40°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D1Rm-a	9,375	0,000	0,000
 D1Rm-b	9,510	0,000	0,000
 D1Rm-c	9,510	0,000	0,000
 D1Rm-d	9,485	0,000	0,000
 D1Rm-e	9,393	0,000	0,000
 D1Rm-f	9,494	0,000	0,000













Angulo = 40°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D2RM-a	9,421	0,000	0,000
 D2RM-b	9,741	0,000	0,000
 D2RM-c	9,769	0,000	0,000
 D2RM-d	9,805	0,000	0,000
 D2RM-e	9,311	0,000	0,000
 D2RM-f	9,329	0,000	0,000







TABLA. 6.08f
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia UV-A, para dosificación D2.
Elaboración propia, 2004.

Angulo = 40°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 D2Rm-a	9,641	0,000	0,000
 D2Rm-b	9,741	0,000	0,000
 D2Rm-c	9,787	0,000	0,000
 D2Rm-d	9,741	0,000	0,000
 D2Rm-e	9,201	0,000	0,000
 D2Rm-f	9,256	0,000	0,000

6.4.3 Radiación Visible.

A continuación se muestran los resultados correspondientes a la exposición a radiación visible para ángulos de incidencia de 60°, 49° y 40°, medidas sobre la cara rugosa y sobre la cara lisa de la muestra, en sus dos diferentes dosificaciones.

Angulo = 60°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Reflejada (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 D1RM-a	59,360	1,329	2,239
 D1RM-b	61,410	1,298	2,114
 D1RM-c	58,070	1,578	2,717
 D1RM-d	57,640	1,486	2,578
 D1RM-e	58,190	2,038	3,502
 D1RM-f	58,580	1,873	3,197













Angulo = 60°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Reflejada (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 D1Rm-a	57,490	1,526	2,654
 D1Rm-b	59,830	1,586	2,651
 D1Rm-c	59,930	1,643	2,742
 D1Rm-d	58,300	1,906	3,269
 D1Rm-e	58,450	2,121	3,629
 D1Rm-f	59,650	2,102	3,524

TABLA. 6.09a
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia Luz Visible, para dosificación D1.
Elaboración propia, 2004.

Angulo = 60°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Reflejada (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 D2RM-a	59,650	1,945	3,261
 D2RM-b	59,570	1,935	3,248
 D2RM-c	59,260	1,938	3,270
 D2RM-d	58,940	1,725	2,927
 D2RM-e	60,370	1,813	3,003
 D2RM-f	61,370	1,837	2,993




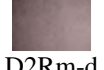








Angulo = 60°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Reflejada (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 D2Rm-a	59,650	1,911	3,204
 D2Rm-b	59,250	2,034	3,433
 D2Rm-c	59,480	2,086	3,507
 D2Rm-d	59,960	2,140	3,569
 D2Rme	59,280	1,984	3,347
 D2Rm-f	60,450	1,983	3,280

TABLA. 6.09b
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia Luz Visible, para dosificación D2.
Elaboración propia, 2004.

Angulo = 49°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 D1RM-a	58,290	0,718	1,232
 D1RM-b	56,730	0,838	1,477
 D1RM-c	55,760	0,767	1,375
 D1RM-d	54,720	0,713	1,303
 D1RM-e	55,240	0,758	1,372
 D1RM-f	57,260	0,679	1,186













Angulo = 49°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 D1Rm-a	55,410	0,867	1,565
 D1Rm-b	57,420	0,786	1,368
 D1Rm-c	55,730	0,806	1,446
 D1Rm-d	57,520	0,858	1,491
 D1Rm-e	55,470	0,793	1,429
 D1Rm-f	56,310	0,836	1,485

TABLA. 6.09c
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia Luz Visible, para dosificación D1.
Elaboración propia, 2004.

Angulo = 49°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Reflejada (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 D2RM-a	56,430	0,904	1,602
 D2RM-b	57,650	0,826	1,432
 D2RM-c	55,690	0,915	1,642
 D2RM-d	57,370	0,877	1,528
 D2RM-e	57,580	0,878	1,525
 D2RM-f	58,240	0,881	1,513

Angulo = 49°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Reflejada (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 D2Rm-a	57,010	0,872	1,529
 D2Rm-b	57,270	0,908	1,585
 D2Rm-c	56,660	0,925	1,633
 D2Rm-d	57,620	0,919	1,596
 D2Rm-e	58,630	0,877	1,495
 D2Rm-f	58,680	0,864	1,473

TABLA. 6.09d
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia Luz Visible, para dosificación D2.
Elaboración propia, 2004.













Angulo = 40°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Reflejada (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 DIRM-a	42,210	0,566	1,342
 DIRM-b	42,990	0,614	1,428
 DIRM-c	41,890	0,656	1,567
 DIRM-d	41,940	0,586	1,397
 DIRM-e	42,810	0,596	1,393
 DIRM-f	43,120	0,595	1,379

TABLA. 6.09e
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia Luz Visible, para dosificación D1.
Elaboración propia, 2004.

Angulo = 40°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Reflejada (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 D1Rm-a	42,420	0,688	1,623
 D1Rm-b	42,280	0,662	1,566
 D1Rm-c	42,410	0,660	1,556
 D1Rm-d	42,890	0,660	1,539
 D1Rm-e	42,710	0,671	1,570
 D1Rm-f	42,610	0,658	1,543










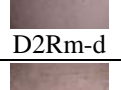

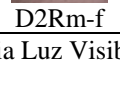
Angulo = 40°- Cara Rugosa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Reflejada (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 D2RM-a	43,060	0,627	1,457
 D2RM-b	43,110	0,685	1,589
 D2RM-c	42,820	0,677	1,580
 D2RM-d	42,160	0,698	1,655
 D2RM-e	43,530	0,687	1,577
 D2RM-f	43,090	0,723	1,677

TABLA. 6.09f
FUENTE.

Resumen resultados reflectancia Luz Visible, para dosificación D2.
Elaboración propia, 2004.

Angulo = 40°- Cara Lisa			
Muestra	Radiación Incidente (μmol/m ² ·seg)	Radiación Reflejada (μmol/m ² ·seg)	Rr/Ri*100 (%)
 D2Rm-a	43,530	0,672	1,543
 D2Rm-b	43,110	0,726	1,685
 D2Rm-c	43,490	0,723	1,662
 D2Rm-d	43,340	0,746	1,722
 D2Rm-e	43,310	0,665	1,535
 D2Rm-f	42,640	0,704	1,650

Una vez que todas las muestras fueron expuestas a la radiación, fue necesario conocer la medida de la desviación standard como representación de la rugosidad superficial.

Se procedió a cortar la cara superior e inferior de las muestras con un espesor de 1". En una sala oscura se procedió a instalar una fuente de luz constante de manera que se distribuyera de forma uniforme sobre la superficie que antes estuvo expuesta a la radiación. Esta determinación de la distribución homogénea de la luz sobre la superficie de la muestra es un proceso basado en la experiencia de quién la realiza, ya que es una medida altamente influenciada a este factor.

Una vez que se establece esta distribución uniforme, se procede a tomar una fotografía digital de la muestra iluminada.

Esta imagen digitalizada es llevada a un computador y utilizando un software analizador de imágenes es posible obtener una distribución estadística de los grises que componen la imagen. Mediante el uso del software se extrajo un histograma que representa esta distribución y con ésta se obtiene el valor de la desviación standard de la frecuencia de grises, que es directamente proporcional a la rugosidad superficial (Rolleri, 2003).

Este proceso se repite con las 24 caras obtenidas de las 12 muestras originales.

La figura 6.12a y 6.12b representan gráficos típicos de la distribución de grises de las muestras analizadas.

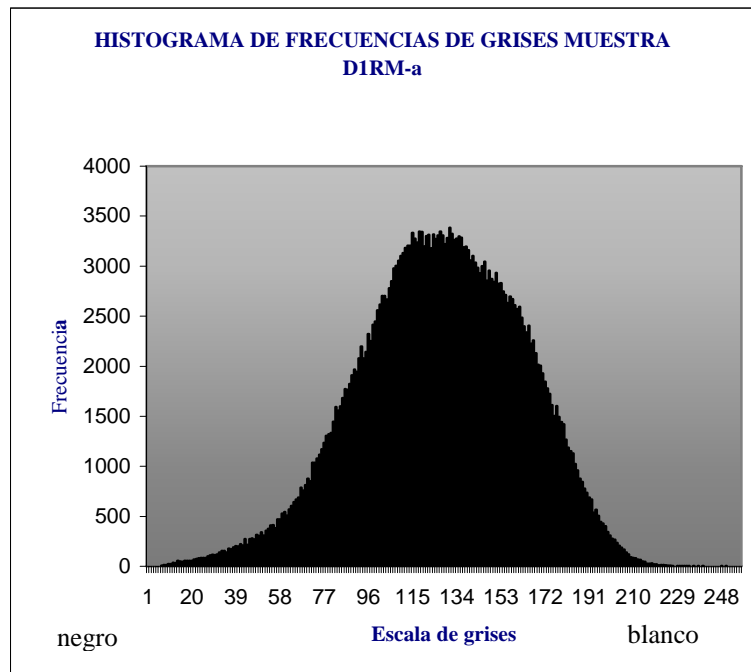


FIG. 6.12a. Histograma obtenido para análisis de rugosidad mediante desviación standard, cara rugosa.
FUENTE. Elaboración propia, 2004

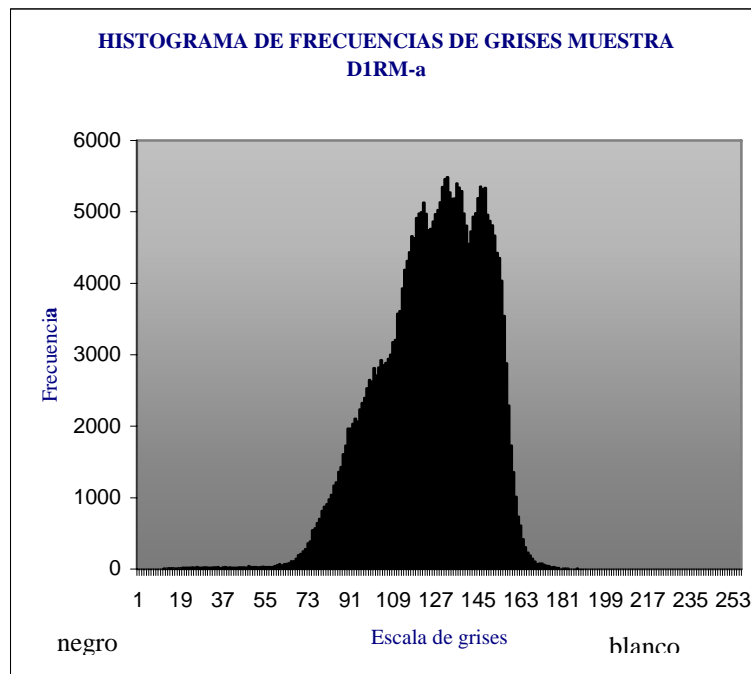


FIG. 6.12b. Histograma obtenido para análisis de rugosidad mediante desviación standard, cara lisa.
FUENTE. Elaboración propia, 2004

A continuación se presentan las tablas de resultados para la desviación standard de las 24 muestras obtenidas de las muestras originales, las tablas se muestran separadas según la dosificación con la cual fueron fabricadas y la cara sobre la cual fueron medidas. Es necesario recordar que a mayor valor equivale a una mayor rugosidad superficial.

Valores de la desviación standard para muestras del tipo D1Rm	
D1Rm-a	8,13
D1Rm-b	8,72
D1Rm-c	9,67
D1Rm-d	6,91
D1Rm-e	6,17
D1Rm-f	7,20
PROMEDIO	7,80 ± 1,30

TABLA. 6.10a Resultados desviación standard muestras del tipo D1Rm
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Valores de la desviación standard para muestras del tipo D1RM	
D1RM-a	17,38
D1RM-b	15,12
D1RM-c	13,12
D1RM-d	11,77
D1RM-e	14,38
D1RM-f	17,10
PROMEDIO	14,80 ± 2,20

TABLA. 6.10b
FUENTE.

Resultados desviación standard muestras del tipo D1RM
Elaboración propia, 2004.

Valores de la desviación standard para muestras del tipo D2Rm	
D2Rm-a	6,72
D2Rm-b	7,89
D2Rm-c	8,30
D2Rm-d	6,62
D2Rm-e	7,17
D2Rm-f	6,34
PROMEDIO	7,20 ± 0,08

TABLA. 6.10c
FUENTE.

Resultados desviación standard muestras del tipo D2Rm
Elaboración propia, 2004.

Valores de la desviación standard para muestras del tipo D2RM	
D2RM-a	14,01
D2RM-b	13,40
D2RM-c	12,37
D2RM-d	15,99
D2RM-e	12,84
D2RM-f	13,23
PROMEDIO	13,60 ± 1,30

TABLA. 6.10d
FUENTE.

Resultados desviación standard muestras del tipo D2RM
Elaboración propia, 2004.

Valores promedio de la desviación standard.	
D1Rm	7,80 ± 1,30
D1RM	14,80 ± 2,20
D2Rm	7,20 ± 0,08
D2RM	13,60 ± 1,30

TABLA. 6.11
FUENTE.

Valores promedio desviación standard
Elaboración propia, 2004.

En general se puede observar que la desviación standard promedio de las muestras fluctúa dependiendo de la cara sobre la cual fueron medidas y de la dosificación de fabricación. Como era de esperar la desviación standard de la cara lisa fue aproximadamente 47% menor que aquella que presentó la cara rugosa para ambas dosificaciones, ahora si se observa la misma cara pero para diferente dosificación, se observa que la dosificación con mayor contenido de cemento presenta desviaciones standard aproximadamente 8% menores comparadas con la dosificación con menor contenido de cemento, debido principalmente a que las partículas de cemento ocupan mayor cantidad de poros, sin embargo esta diferencia es pequeña comparada con la diferencia que presenta si se miden en caras diferentes.

VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

A continuación se presentan cuadros de resumen con los promedios de reflectancia para los distintos tipos de configuración, y gráficos explicativos del comportamiento de los resultados, acompañados de su respectiva incerteza, valor que considera los errores que se presentan a lo largo del experimento.

Así mismo se presenta un análisis microscópico de la superficie del hormigón que estuvo expuesta a la radiación.

Para los tres tipos de radiación y para todas las muestras usadas, se utilizó el mismo procedimiento, por lo que es posible las comparaciones entre ellas. Es necesario mencionar que producto del montaje existe una subestimación de los valores para las tres radiaciones incidentes, ya que la ubicación del sensor de la radiación incidente toma aportes de todo el tubo y no sólo la luz que ingresaba a la caja que rodeaba la muestra. Este hecho incide en el aumento de las lecturas de la radiación que ingresa y por lo tanto disminuye la razón entre la radiación reflejada e incidente.

7.1 RADIACIÓN UV-B.

En primer lugar se analizarán los resultados obtenidos para la reflectancia de la radiación UV-B, sobre las diferentes superficies y bajo las diferentes configuraciones geométricas.

En la tabla 7.01 se presentan los resultados promedios para la reflectancia con ángulo de incidencia $\alpha = 60^\circ$, sobre la cara RM y Rm, y para las dosificaciones D1 y D2. Además se presentan los valores promedio de la reflectancia para cada dosificación y para cada superficie independientemente.

	RM	Rm	Promedio
D1	2,7 ± 0,3	2,5 ± 0,2	2,6 ± 0,3
D2	2,8 ± 0,2	2,7 ± 0,2	2,8 ± 0,2
Promedio	2,7 ± 0,3	2,6 ± 0,3	

TABLA. 7.01. Valores promedio de la reflectancia UV-B, con $\alpha = 60^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Ahora bien, si se observan los efectos simples, que son comparaciones entre los valores del tipo de dosificación sobre la reflectancia en una superficie RM, se obtiene un valor que mide la diferencia en la reflectancia entre las muestras con dosificación D1 y dosificación D2. Se puede apreciar que no existe una diferencia significativa y que además ésta se encuentra dentro del margen de incerteza, por lo que se puede decir que la reflectancia medida sobre la cara rugosa

de los bloques independientemente de la dosificación empleada para su fabricación es despreciable.

Este hecho se repite si se analiza la reflectancia de las muestras sobre la cara lisa, ya que la diferencia entre los promedios está en el rango de incerteza que presentan las mediciones.

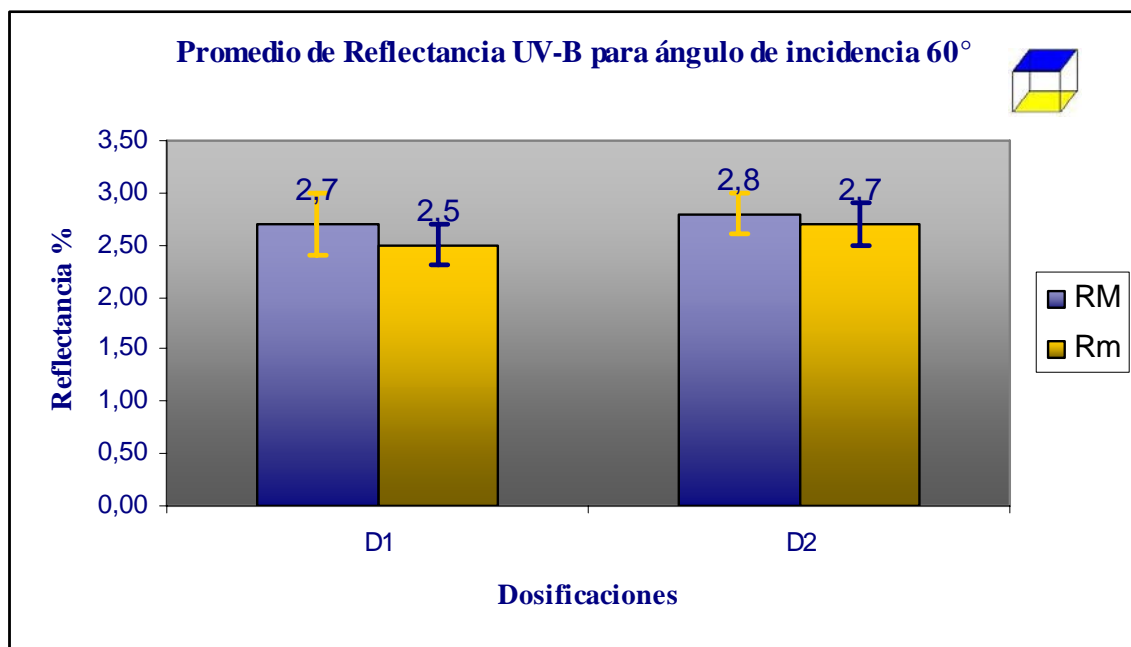


FIG. 7.01. Valores promedio de la reflectancia UV-B, con $\alpha = 60^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Ahora si se observan los efectos simples de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D1 se presenta el mismo fenómeno, es decir el valor de la diferencia de los promedios es prácticamente igual a la incerteza asociada, por lo que no existe diferencia de la reflectancia cuando se midió sobre las diferentes caras.

Ahora si se observan los efectos simples de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D2 se presenta nuevamente el mismo fenómeno, es decir el valor de la diferencia de los promedios es prácticamente igual a la incerteza asociada, por lo que no existe diferencia de la reflectancia cuando se midió sobre las diferentes caras.

Finalmente se puede afirmar que cuando se midió la reflectancia de la radiación UV-B con ángulo de incidencia de 60° , sobre las muestras de hormigón con diferente rugosidad y diferente dosificación, no existieron diferencias significativas.

En la tabla 7.02 se presentan los resultados promedios para la reflectancia con ángulo de incidencia $\alpha = 49^\circ$, sobre la cara RM y Rm, y para las dosificaciones D1 y D2.

	RM	Rm	Promedio
D1	$0,38 \pm 0,04$	$0,31 \pm 0,04$	$0,34 \pm 0,05$
D2	$0,34 \pm 0,04$	$0,38 \pm 0,03$	$0,36 \pm 0,04$
Promedio	$0,36 \pm 0,04$	$0,34 \pm 0,05$	

TABLA. 7.02. Valores promedio de la reflectancia UV-B, con $\alpha = 49^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Ahora bien, si se observan los efectos simples del tipo de dosificación sobre la reflectancia en una superficie RM, se obtiene un valor que mide la diferencia en la reflectancia entre las muestras con dosificación D1 y dosificación D2. Se puede apreciar que no existe una diferencia significativa y que además ésta se encuentra dentro del margen de incerteza, por lo que se puede decir que la reflectancia medida sobre la cara rugosa de los bloques independientemente de la dosificación empleada para su fabricación es despreciable.

Ahora si se observa sobre la muestra Rm para ambos tipos de dosificación, la diferencia que existe entre los promedios es levemente mayor que la incertidumbre asociada a las mediciones, sin embargo esta diferencia es tan leve que de todas maneras se considera que no existe una diferencia en el comportamiento de la reflectancia.

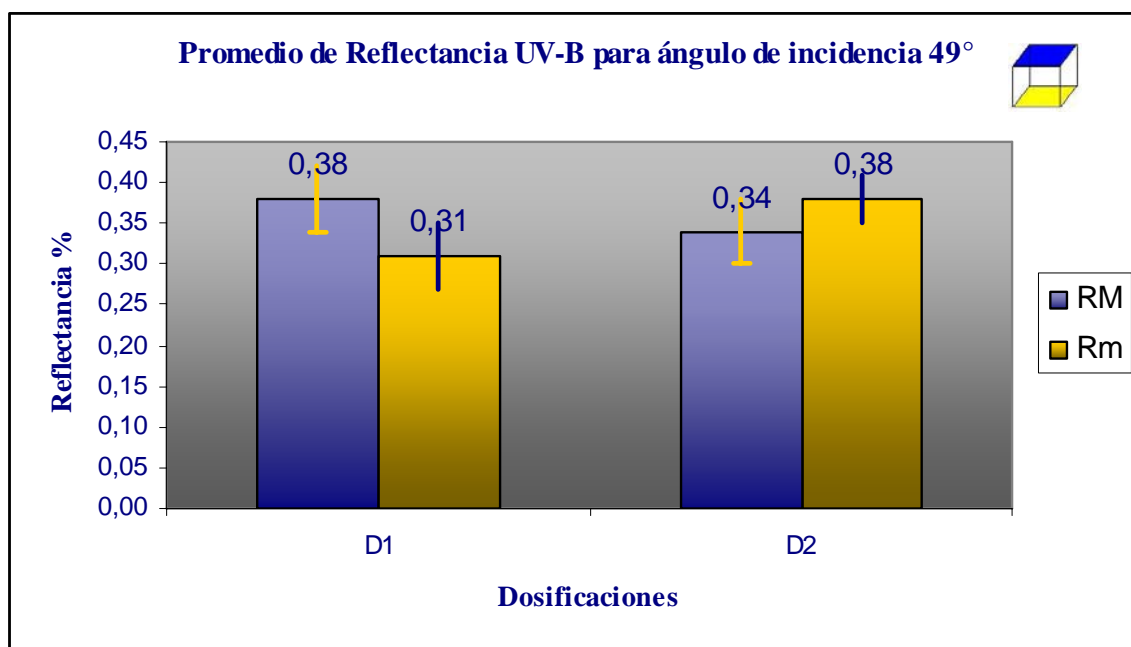


FIG. 7.02. Valores promedio de la reflectancia UV-B, con $\alpha = 49^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Ahora si se observan los efectos simples de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D1, la diferencia que existe entre los promedios para los dos tipos de superficie es levemente mayor que la incertidumbre asociada a las

mediciones, esta diferencia es muy pequeña lo que no permite afirmar que realmente exista diferencia en el comportamiento.

Por otro lado si se observan los efectos simples de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D2, el valor de la diferencia de los promedios es prácticamente igual a la incerteza asociada, por lo que no existe diferencia de la reflectancia cuando se midió sobre las diferentes caras.

Finalmente se puede afirmar que cuando se midió la reflectancia de la radiación UV-B con ángulo de incidencia de 49° , sobre las muestras de hormigón con diferente rugosidad y diferente dosificación, no existieron diferencias significativas. Lo que si se observa, es que el valor de reflectancia es mucho menor que el conseguido para el ángulo de incidencia de 60° .

A continuación en la tabla 7.03 se presentan los resultados promedios para la reflectancia con ángulo de incidencia $\alpha = 40^\circ$, sobre la cara RM y Rm, y para las dosificaciones D1 y D2.

	RM	Rm	Promedio
D1	$0,37 \pm 0,05$	$0,26 \pm 0,02$	$0,32 \pm 0,07$
D2	$0,31 \pm 0,04$	$0,34 \pm 0,02$	$0,33 \pm 0,04$
Promedio	$0,34 \pm 0,06$	$0,30 \pm 0,05$	

TABLA. 7.03. Valores promedio de la reflectancia UV-B, con $\alpha = 40^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Ahora si se observan los efectos simples del tipo de dosificación sobre la reflectancia en una superficie RM, se obtiene un valor que mide la diferencia en la reflectancia entre las muestras con dosificación D1 y dosificación D2, la diferencia que existe entre los promedios para los dos tipos de superficie es levemente mayor que la incertidumbre asociada a las mediciones, esta diferencia es muy pequeña lo que no permite afirmar que realmente exista diferencia en el comportamiento.

Si se observan los efectos simples del tipo de dosificación sobre la reflectancia en una superficie Rm, nuevamente se presenta un resultado similar, no existe diferencia significativa de la reflectancia al variar las superficies, ni las dosificaciones.

Al observar los resultados para este ángulo de incidencia, se obtuvo un resultado similar al ángulo de 49° y bastante alejado, en cuanto al valor absoluto de la reflectancia del ángulo de 60° .

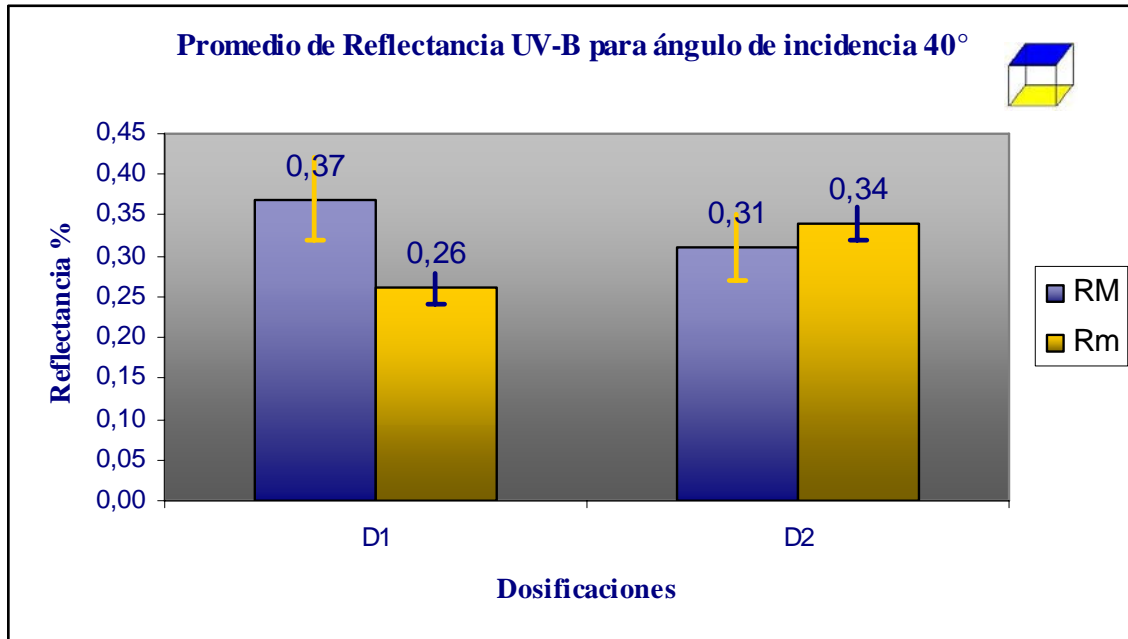


FIG. 7.03. Valores promedio de la reflectancia UV-B, con $\alpha = 40^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Ahora si se observan los efectos simples de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D1, la diferencia que existe entre los promedios para los dos tipos de superficie es levemente mayor que la incertidumbre asociada a las mediciones, esta diferencia es muy pequeña lo que no permite afirmar que realmente exista diferencia en el comportamiento.

Por otro lado si se observan los efectos simples de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D2 se presenta el mismo fenómeno, es decir el valor de la diferencia de los promedios es prácticamente igual a la incerteza asociada, por lo que no existe diferencia de la reflectancia cuando se midió sobre las diferentes caras.

Finalmente se puede afirmar que cuando se midió la reflectancia de la radiación UV-B, sobre las muestras de hormigón con diferente rugosidad y diferente dosificación, no existieron diferencias significativas.

A continuación en la siguiente figura, se puede observar el comportamiento de la reflectancia de radiación UV-B, sobre las diferentes superficies de hormigón, representadas por el valor promedio de la reflectancia y su correspondiente incerteza.

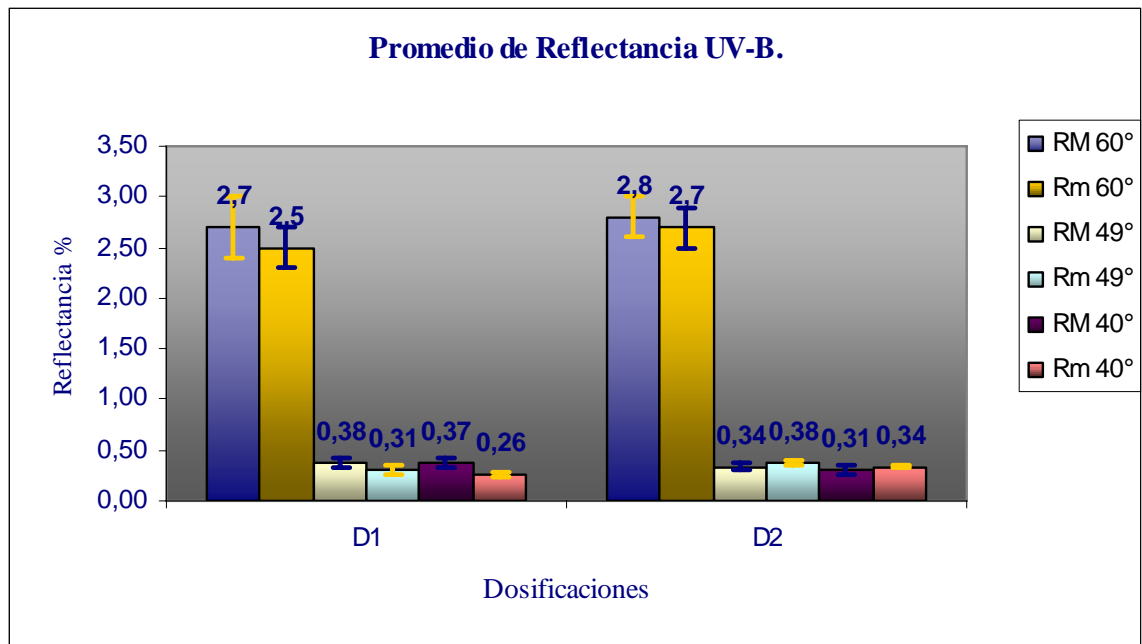


FIG. 7.04. Valores promedio de la reflectancia UV-B
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Aquí se observa claramente que no existe diferencia entre el porcentaje de la reflectancia, al comparar las mediciones sobre la cara rugosa y la cara lisa, así mismo no existe diferencia cuando se midió el porcentaje de reflectancia sobre las muestras fabricadas con distinta dosificación. Sin embargo es posible observar que las mediciones tomadas a ángulos de incidencia de 60° es mucho mayor que aquellas que fueron medidas para 49° y 40°, las que presentaron un comportamiento similar. Finalmente, no es posible afirmar que los valores obtenidos se deban al exclusivo efecto de la reflexión, sino más bien a la unión de éste con el fenómeno de dispersión de la radiación producto de las partículas de aire que contaminan la medición. Además es necesario recordar que el fenómeno de dispersión está altamente influenciado por la longitud de onda de la radiación, hecho que se hace más patente para la radiación UV-B en comparación a las otras dos radiaciones usadas en esta investigación. Lamentablemente este fenómeno no es posible de cuantificar para el montaje realizado.

7.2 RADIACIÓN UV-A.

En primer lugar se analizarán los resultados obtenidos para la reflectancia de la radiación UV-A, sobre las diferentes superficies y bajo las diferentes configuraciones geométricas.

En la tabla 7.04 se presentan los resultados promedios para la reflectancia con ángulo de incidencia $\alpha = 60^\circ$, sobre la cara RM y Rm, y para las dosificaciones D1 y D2.

	RM	Rm	Promedio
D1	$1,6 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,2$
D2	$1,7 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,2$
Promedio	$1,6 \pm 0,2$	$1,6 \pm 0,2$	

TABLA. 7.04. Valores promedio de la reflectancia UV-A, con $\alpha = 60^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Si se comparan los valores del tipo de dosificación sobre la reflectancia en una superficie RM, se obtiene un valor que mide la diferencia en la reflectancia entre las muestras con dosificación D1 y dosificación D2,. Se puede apreciar que no existe una diferencia significativa y que además ésta se encuentra dentro del margen de incerteza, por lo que se puede decir que la diferencia en la reflectancia medida sobre la cara rugosa de los bloques independientemente de la dosificación empleada para su fabricación es despreciable.

Este hecho se repite si se analiza la reflectancia de las muestras sobre la cara lisa, ya que la diferencia entre los promedios se encuentra dentro del intervalo de incerteza que presentan las mediciones.

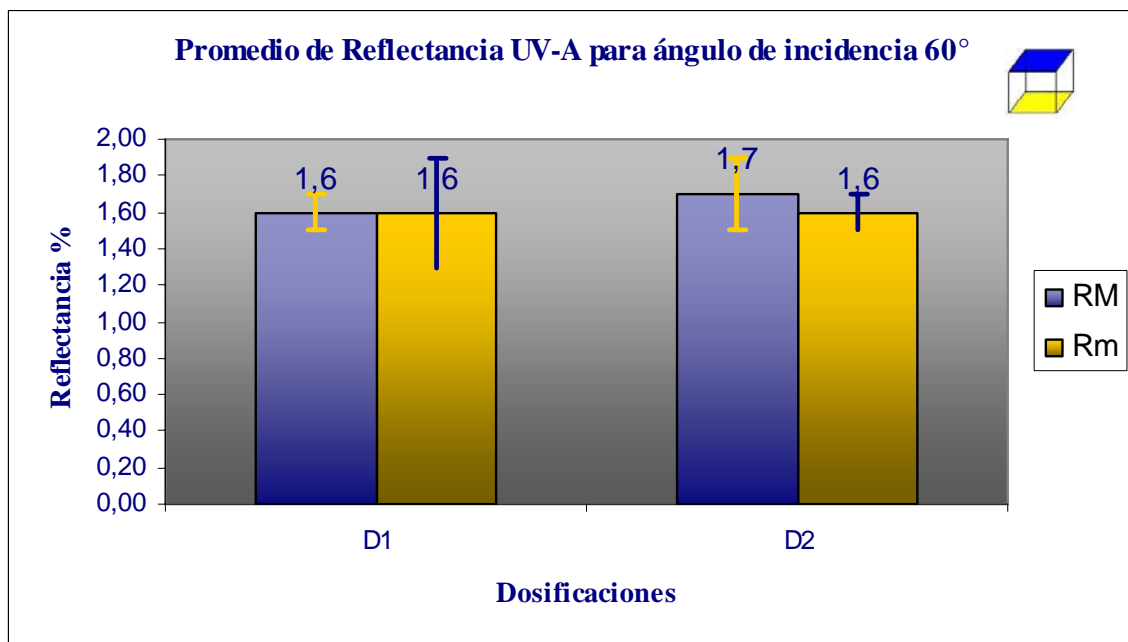


FIG. 7.05 Valores promedio de la reflectancia UV-A, con $\alpha = 60^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Ahora si se los valores de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D1 se presenta el mismo fenómeno, es decir el valor de la diferencia de los promedios es prácticamente igual a la incerteza asociada, por lo que no existe diferencia de la reflectancia.

Si se observan los efectos simples de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D2, el valor de la diferencia de los promedios es prácticamente igual a la incerteza asociada, por lo que no existe diferencia de la reflectancia cuando se midió sobre las diferentes caras.

Finalmente se puede afirmar que cuando se midió la reflectancia de la radiación UV-A, sobre las muestras de hormigón con diferente rugosidad y diferente dosificación, no existieron diferencias significativas.

Si se comparan los valores obtenidos hasta el momento para UV-A con los valores obtenidos para UV-B para las mismas configuraciones, estos son menores y contrario a lo esperado, ya que a mayor longitud de onda mayor debería ser la reflectancia. Este fenómeno particular se puede explicar por una combinación de factores como son que la lámpara de UV-A irradie menos que la lámpara de UV-B, por otro lado el sensor de UV-A presenta una menor sensibilidad y finalmente la mayor dispersión presente en el caso con UV-B.

Ahora en la tabla 7.05 y 7.06 se presentan los resultados promedios para la reflectancia con ángulo de incidencia $\alpha = 49^\circ$ y 40° , sobre la cara RM y Rm, y para las dosificaciones D1 y D2.

	RM	Rm	Promedio
D1	0,0	0,0	0,0
D2	0,0	0,0	0,0
Promedio	0,0	0,0	

TABLA. 7.05. Valores promedio de la reflectancia UV-A, con $\alpha = 49^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

	RM	Rm	Promedio
D1	0,0	0,0	0,0
D2	0,0	0,0	0,0
Promedio	0,0	0,0	

TABLA. 7.06. Valores promedio de la reflectancia UV-A, con $\alpha = 40^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Como puede observarse no existen valores asociados a estas configuraciones, debido principalmente a la unión de dos factores. El primero de ellos es la presencia de un offset bastante alto en el sensor, y por otro lado la cantidad de radiación UV-A que está llegando al sensor que mide la radiación reflejada, y que está por bajo los límites de este offset. Si se comparan los valores de la radiación incidente para UV-B y UV-A, se observa que esta última es aproximadamente del orden de 3 veces mayor para la misma configuración, sin embargo si se comparan los offset de los sensores se observa que el sensor UV-A está del orden de 60 veces por sobre el sensor UV-B, lo que en otras palabras significa que el sensor utilizado para medir UV-A tiene una menor sensibilidad que el sensor UV-B, o lo que es lo mismo, que el sensor no era lo

suficientemente sensible para medir la radiación UV-A reflejada para esta configuración. Este hecho se repite cuando se mide para un ángulo de incidencia de 40°.

7.3 RADIACIÓN VISIBLE

En primer lugar se analizarán los resultados obtenidos para la reflectancia de la radiación visible, sobre las diferentes superficies y bajo las diferentes configuraciones geométricas.

En la tabla 7.07 se presentan los resultados promedios para la reflectancia con ángulo de incidencia $\alpha = 60^\circ$, sobre la cara RM y Rm y para las dosificaciones D1 y D2.

	RM	Rm	Promedio
D1	2,7 ± 0,5	3,1 ± 0,4	2,9 ± 0,5
D2	3,1 ± 0,2	3,4 ± 0,1	3,3 ± 0,2
Promedio	2,9 ± 0,4	3,2 ± 0,4	

TABLA. 7.07. Valores promedio de la reflectancia Luz visible, con $\alpha = 60^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Si se observan los efectos simples, del tipo de dosificación sobre la reflectancia en una superficie RM, se obtiene un valor que mide la diferencia en la reflectancia entre las muestras con dosificación D1 y dosificación D2. Se puede apreciar que no existe una diferencia significativa y que además ésta se encuentra dentro del margen de incerteza, por lo que se puede decir que la reflectancia medida sobre la cara rugosa de los bloques independientemente de la dosificación empleada para su fabricación es despreciable.

Este hecho se repite si se analiza la reflectancia de las muestras sobre la cara lisa, ya que la diferencia entre los promedios está dentro del margen de incerteza que presentan las mediciones.

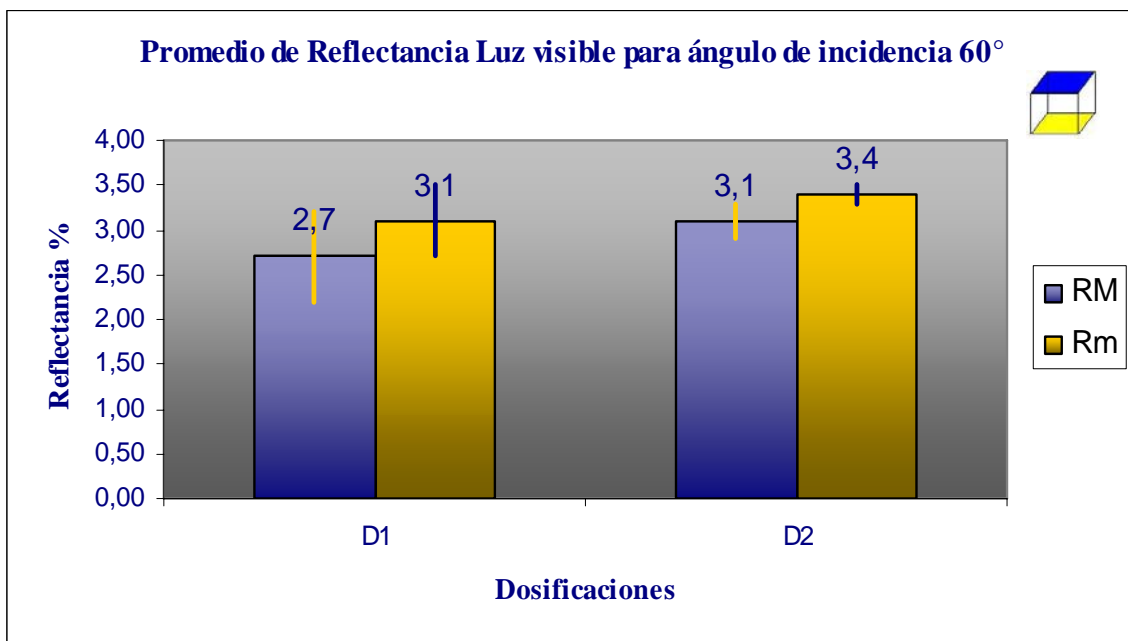


FIG. 7.06 Valores promedio de la reflectancia luz visible, con $\alpha = 60^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Ahora si se observan los efectos simples de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D1 se presenta el mismo fenómeno, es decir el valor de la diferencia de los promedios es prácticamente igual a la incerteza asociada, por lo que no existe diferencia de la reflectancia cuando se midió sobre las diferentes caras.

Ahora si se observan los efectos simples de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D2, el valor de la diferencia de los promedios es prácticamente igual a la incerteza asociada, a pesar que esta es menor a la diferencia, sin embargo no es capaz de mostrar una tendencia hacia una u otra, por lo que no existe diferencia de la reflectancia cuando se midió sobre las diferentes caras.

Finalmente se puede afirmar que cuando se midió la reflectancia de la radiación visible, sobre las muestras de hormigón con diferente rugosidad y diferente dosificación, no existieron diferencias significativas. Lo que si se observa, es que los valores obtenidos para esta configuración son mayores que los que presentaron la radiación UV-A y UV-B.

En la tabla 7.08 se presentan los resultados promedios para la reflectancia con ángulo de incidencia $\alpha = 49^\circ$, sobre la cara RM y Rm, para las dosificaciones D1 y D2.

	RM	Rm	Promedio
D1	1,3 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,4 ± 0,1
D2	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1
Promedio	1,4 ± 0,1	1,5 ± 0,1	

TABLA. 7.08. Valores promedio de la reflectancia luz visible, con $\alpha = 49^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Si se observan los efectos simples, que son comparaciones entre los valores del tipo de dosificación sobre la reflectancia en una superficie RM, se obtiene un valor que mide la diferencia en la reflectancia entre las muestras con dosificación D1 y dosificación D2. Se puede apreciar que no existe una diferencia significativa a pesar que la incerteza es menor a la diferencia de promedio, por lo que se puede decir que la reflectancia medida sobre la cara rugosa de los bloques independientemente de la dosificación empleada para su fabricación es despreciable.

Este hecho se repite si se analiza la reflectancia de las muestras sobre la cara lisa, ya que la diferencia entre los promedios es iguala ala incerteza que presentan las mediciones.

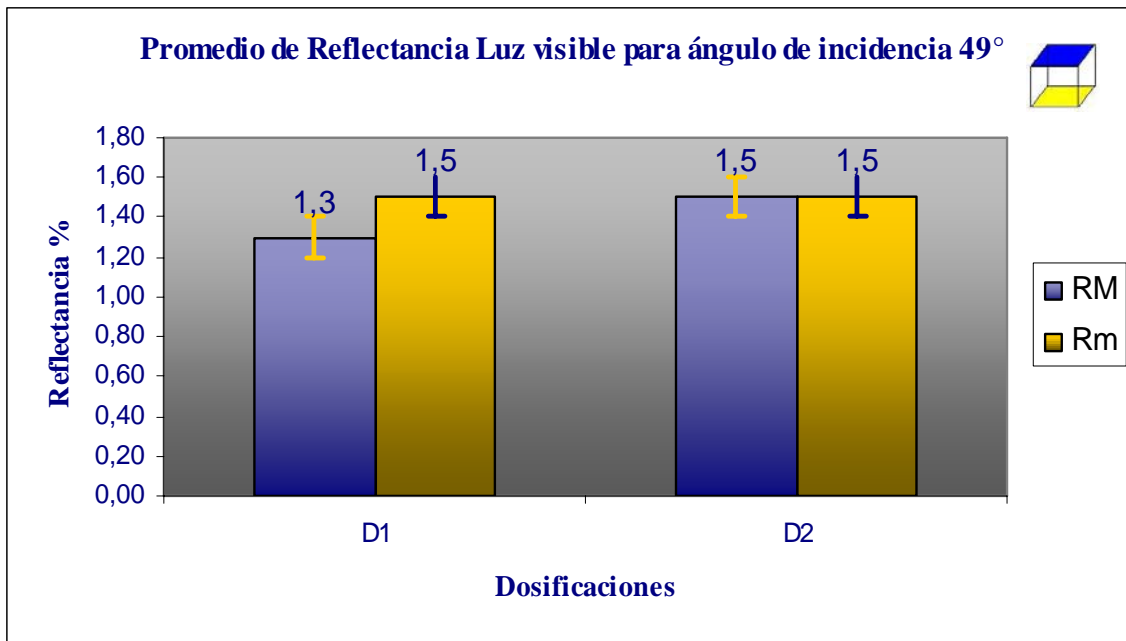


FIG. 7.07 Valores promedio de la reflectancia luz visible, con $\alpha = 49^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Ahora si se observan los efectos simples de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D1 se presenta el mismo fenómeno, es decir el valor de la diferencia de los promedios es prácticamente igual a la incerteza asociada, por lo que no existe diferencia de la reflectancia cuando se midió sobre las diferentes caras.

Al observar los efectos simples de la rugosidad superficial sobre la reflectancia en una superficie fabricada con la dosificación D2 se presenta nuevamente el mismo fenómeno, es decir el valor de la diferencia de los promedios es prácticamente igual a la incerteza asociada, por lo que no existe diferencia de la reflectancia cuando se midió sobre las diferentes caras.

Finalmente se puede afirmar que cuando se midió la reflectancia de la radiación visible, sobre las muestras de hormigón con diferente rugosidad y diferente dosificación, no existieron diferencias significativas. Otro fenómeno a observar es que el valor obtenido para esta configuración es bastante mayor al que arrojo el análisis con UV-B, a pesar de que en la configuración con ángulo de 60° los resultados eran de similar magnitud.

En la tabla 7.09 se presentan los resultados promedios para la reflectancia con ángulo de incidencia $\alpha = 40^\circ$, sobre la cara RM y Rm, para las dosificaciones D1 y D2.

	RM	Rm	Promedio
D1	$1,4 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$	$1,5 \pm 0,1$
D2	$1,6 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$
Promedio	$1,5 \pm 0,1$	$1,6 \pm 0,1$	

TABLA. 7.09. Valores promedio de la reflectancia luz visible, con $\alpha = 40^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Manteniendo la tónica de las configuraciones anteriores, el análisis de esta última configuración presenta similares resultados, es decir, los valores de las diferencias entre los promedios de reflectancia e incertidumbre son tan pequeños que permiten afirmar que no existen cambios al medirse sobre caras y dosificaciones diferentes.

Sin embargo se observa que los valores obtenidos para esta última configuración son similares a los obtenidos para la configuración con ángulo de 49° medidos con luz visible, fenómeno similar al ocurrido con la radiación UV-B para dichas configuraciones. Además los valores obtenidos aquí son mayores que los obtenidos con UV-B.

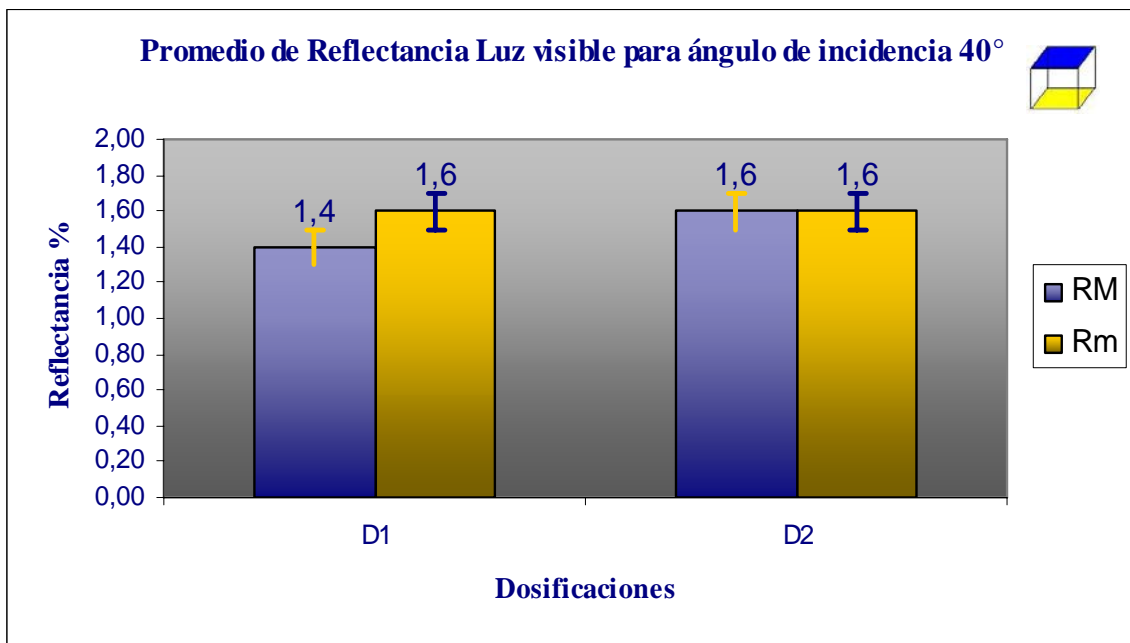


FIG. 7.08 Valores promedio de la reflectancia Luz visible, con $\alpha = 40^\circ$
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

A continuación se presenta un cuadro resumen con los promedios e incertezas obtenidos para radiación visible.

Aquí se observa que la configuración con ángulo de incidencia de 60° presenta una mayor reflectancia como era de esperarse, ubicándose las otras en un 50% aproximadamente del primer valor. Las dos configuraciones siguientes presentan similares valores, a pesar que era esperable una disminución aún mayor para el ángulo menor. Los valores obtenidos en luz visible son mayores que los presentados en UV-A y UV-B y además presentan la ventaja de no tener prácticamente influencia de la dispersión, así como también la ausencia de offset en el sensor.

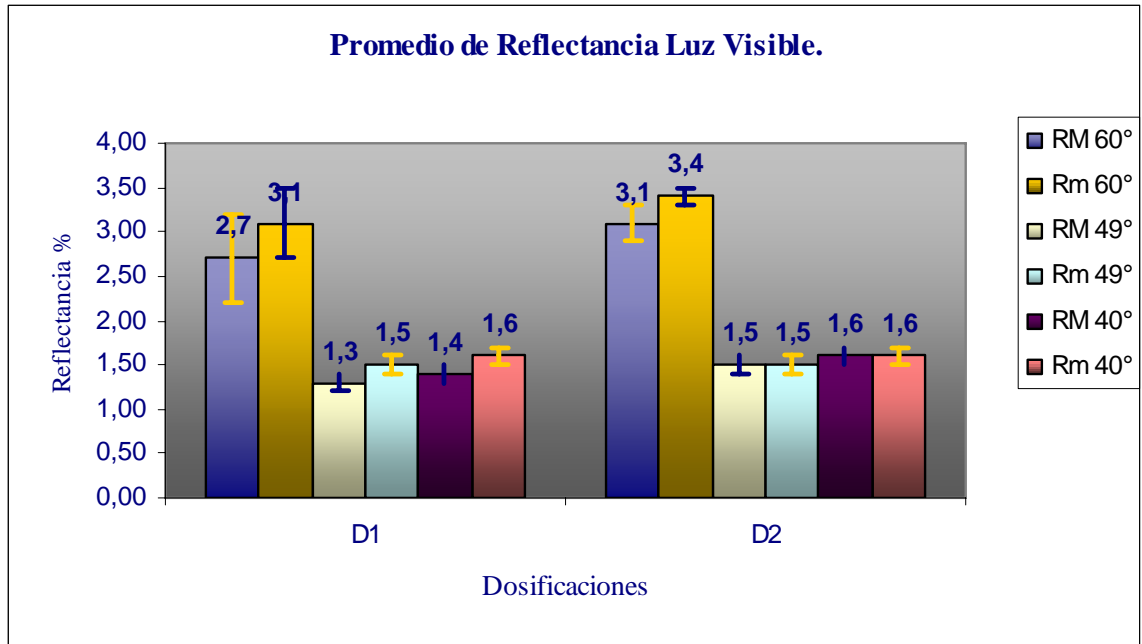


FIG. 7.09 Valores promedio de la reflectancia UV-B
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Finalmente se presentan una serie de gráficos de malla donde se presenta el comportamiento de la reflectancia para cada configuración y donde es posible observar también la interacción entre superficies y dosificaciones.

Estos gráficos deben ser leídos siguiendo el sentido horario.

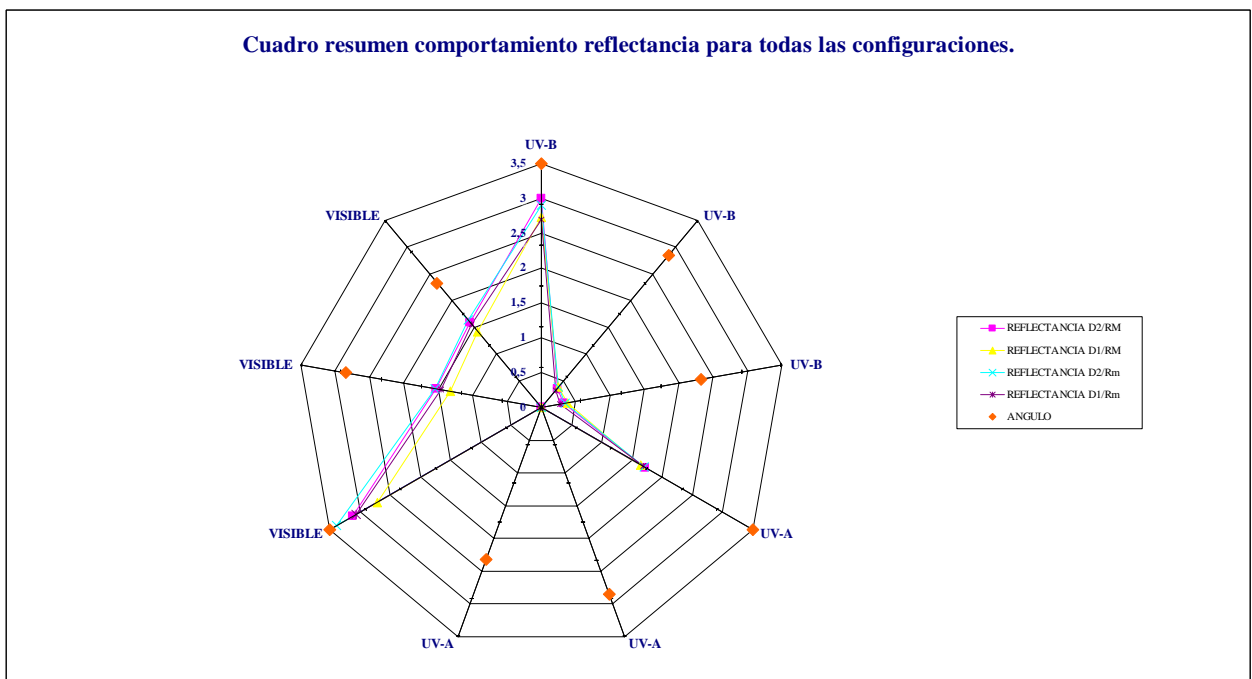


FIG. 7.10. Resumen reflectancia
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

En la fig.7.10 se observan todas las posibles configuraciones y como para cada una de ellas las radiaciones se manifiestan de similar forma.

En la fig. 7.11 se presenta una comparación entre la reflectancia observada para ambas caras fabricadas con la dosificación D1, Aquí se observa que las reflectancias para cada configuración son iguales. En una primera instancia se esperaba que la cara lisa presentara una mayor cantidad de reflectancia ya que la rugosa debería presentar mayor cantidad de radiación difusa y dispersión, como los valores son similares para ambas caras es posible afirmar que la ubicación del sensor permitía captar también la radiación difusa y dispersada.

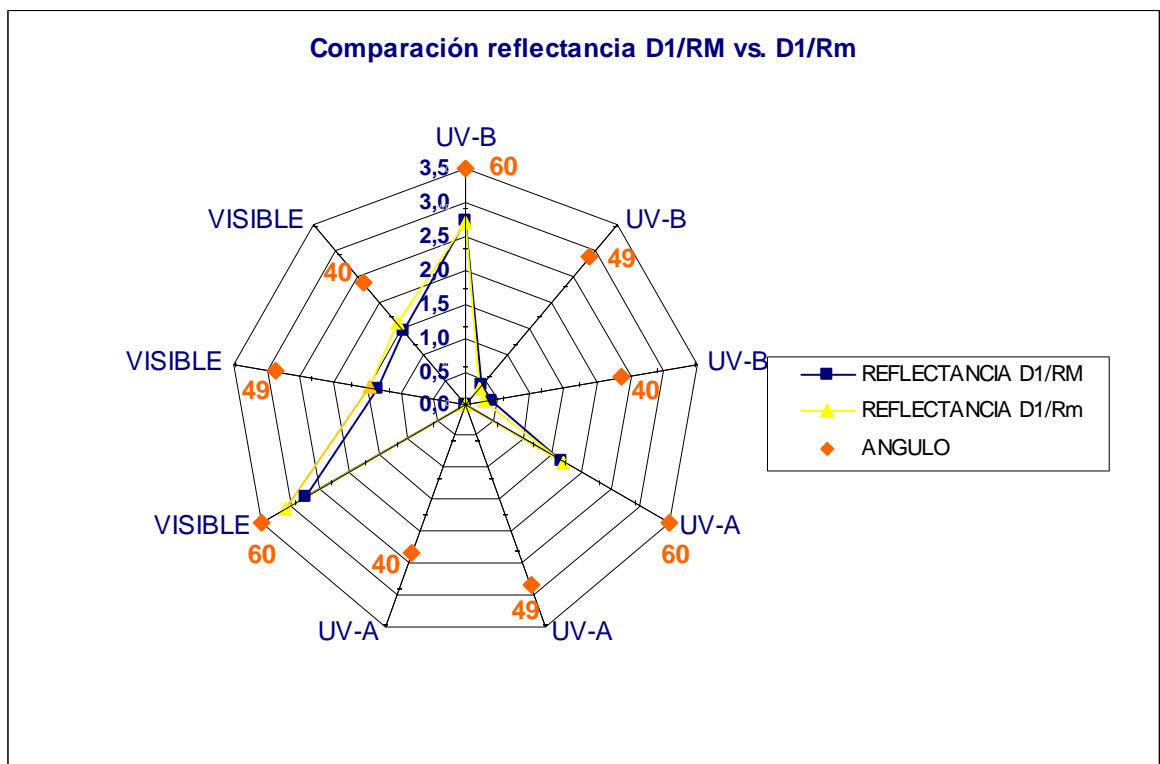


FIG. 7.11. Comparación reflectancia D1/RM vs, D1/Rm
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

En la fig. 7.12 se presenta una comparación entre la reflectancia observada para ambas caras fabricadas con la dosificación D2, Aquí se observa que las reflectancias para cada configuración son iguales.

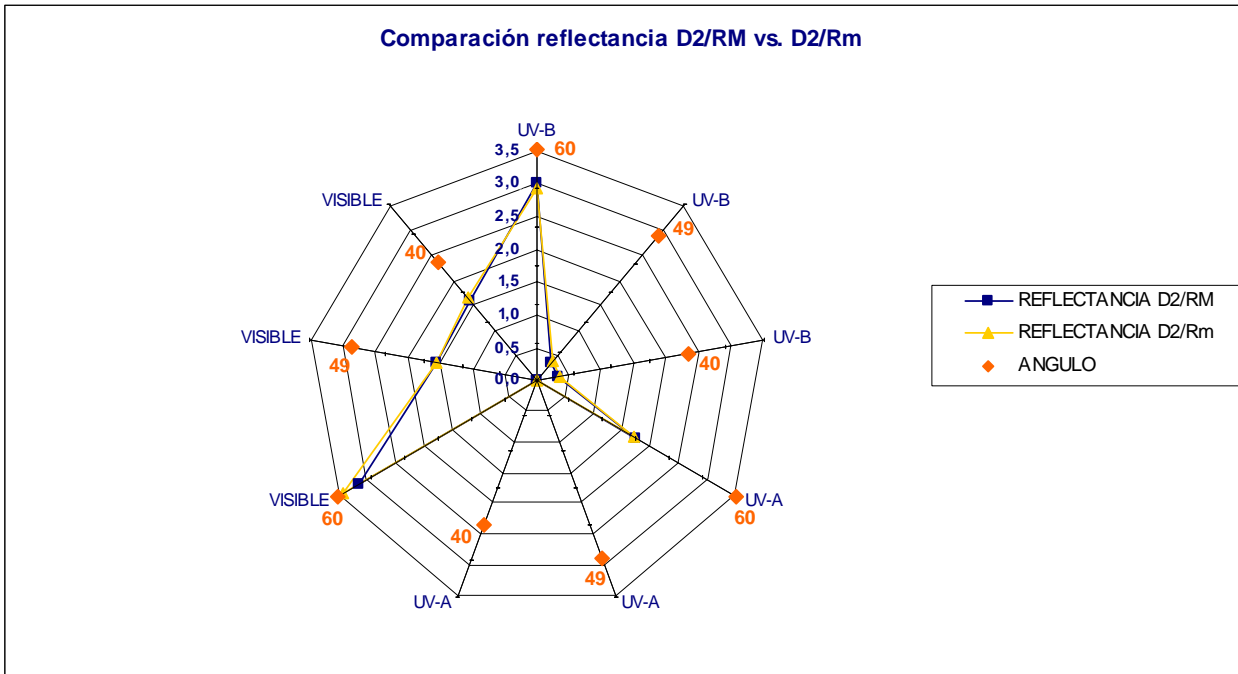


FIG. 7.12. Comparación reflectancia D2/RM vs, D2/Rm
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

En la fig. 7.13 se presenta una comparación entre la reflectancia observada para ambas dosificaciones sobre la cara RM, Aquí se observa que salvo en el visible, las reflectancias para cada configuración son iguales.

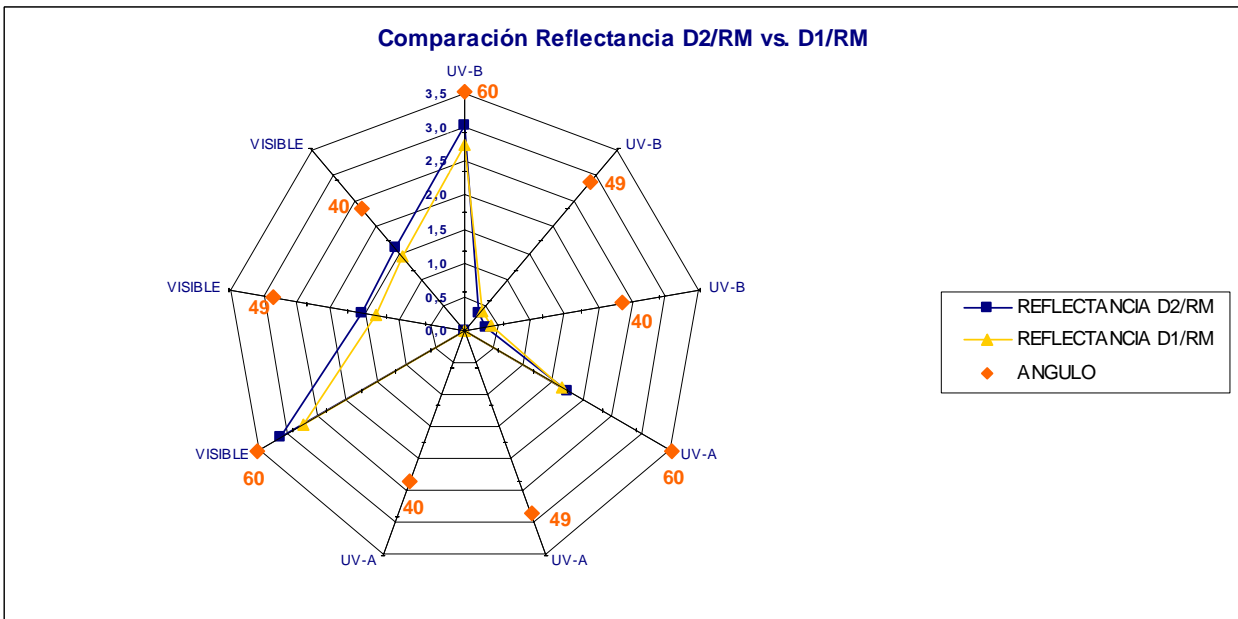


FIG. 7.13. Comparación reflectancia D2/RM vs, D1/RM
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

En la fig. 7.14 se presenta una comparación entre la reflectancia observada para ambas dosificaciones sobre la cara RM, Aquí se observa que las reflectancias para cada configuración son iguales.

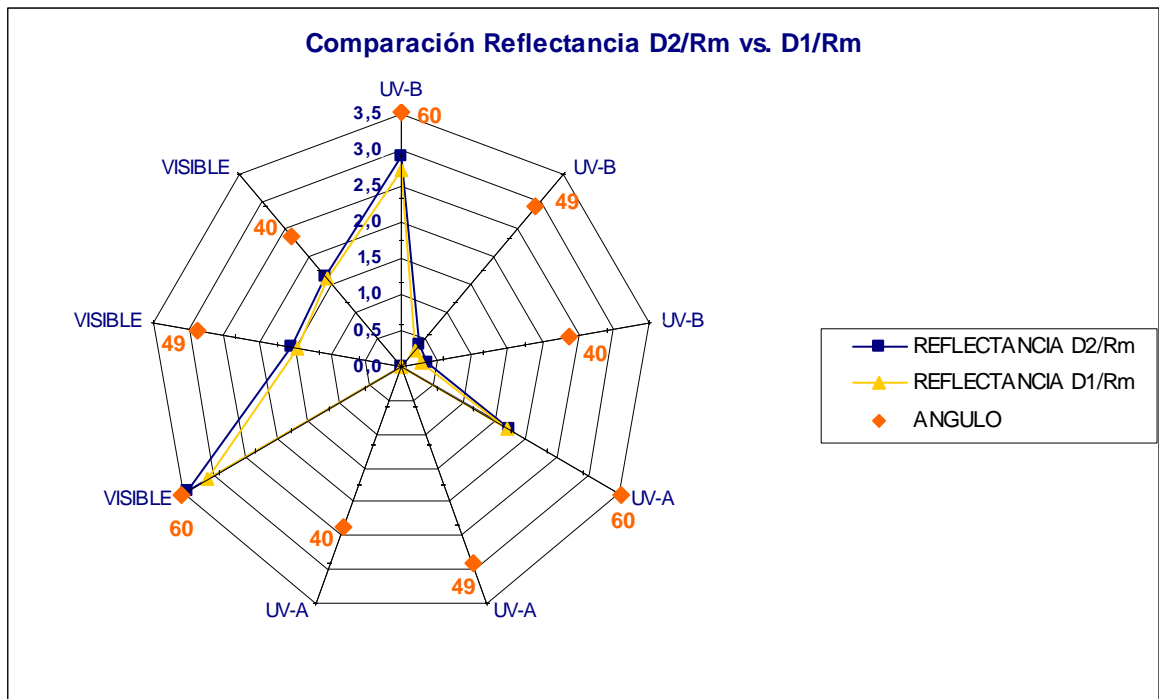


FIG. 7.14. Comparación reflectancia D2/Rm vs. D1/Rm
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Finalmente se presenta una serie de gráficos comparativos de los valores de la desviación standard, según la dosificación. Como era de esperar la cara rugosa es prácticamente un 45% mayor en ambos casos que la cara lisa. Sin embargo las diferencias entre dosificaciones prácticamente no existen a pesar que se podría esperar que la dosificación D2 tuviese menor rugosidad por su mayor contenido de cemento.

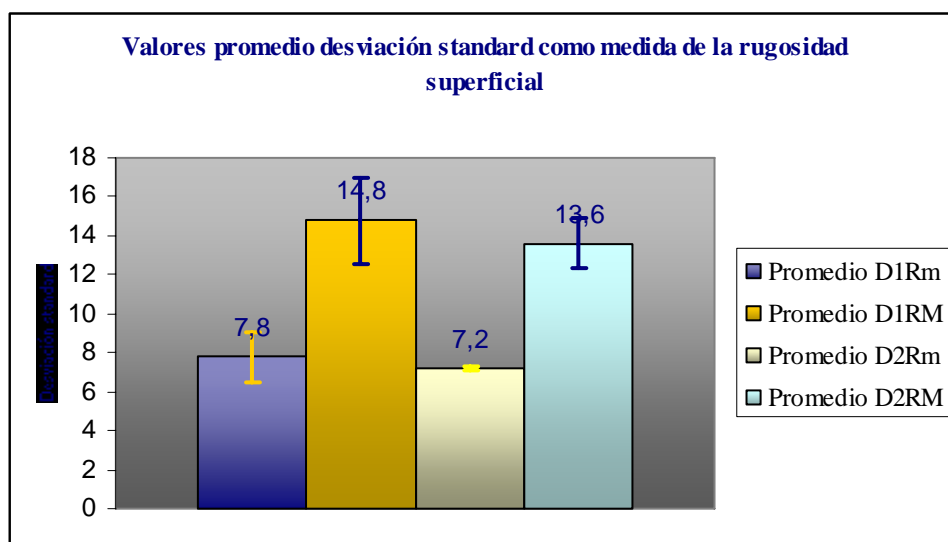


FIG. 7.15. Promedios desviación standard para D1 y D2.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

7.4 ANÁLISIS POR MICROSCOPIA ELECTRÓNICA.

Este análisis comienza con la caracterización de una muestra del centro de la superficie expuesta a los tres tipos de radiación, esta muestra corresponde a la D1RM-a

En la siguiente imagen se observa una panorámica superficial de muestra de hormigón con topografía irregular y distinta morfología microestructural

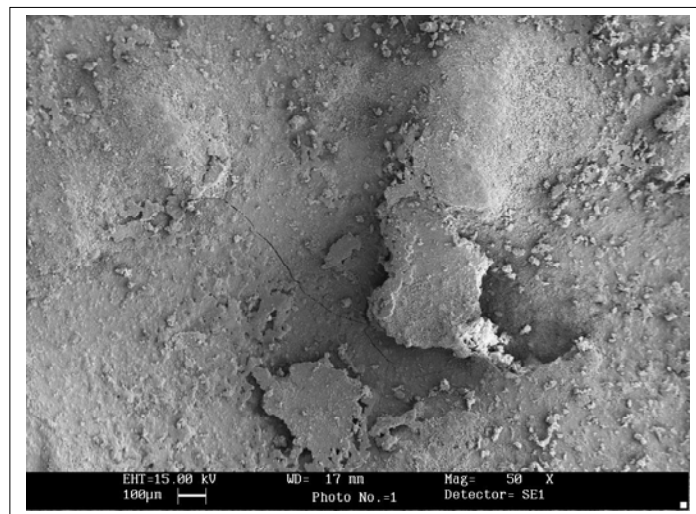


FIG. 7.16a. Imagen microscópica D1RM-a 100µm
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Otra zona superficial en que se aprecian sustratos finos de hormigón, partículas dispersas y microporos, que se presentan en mayores cantidades que en la muestra con D2

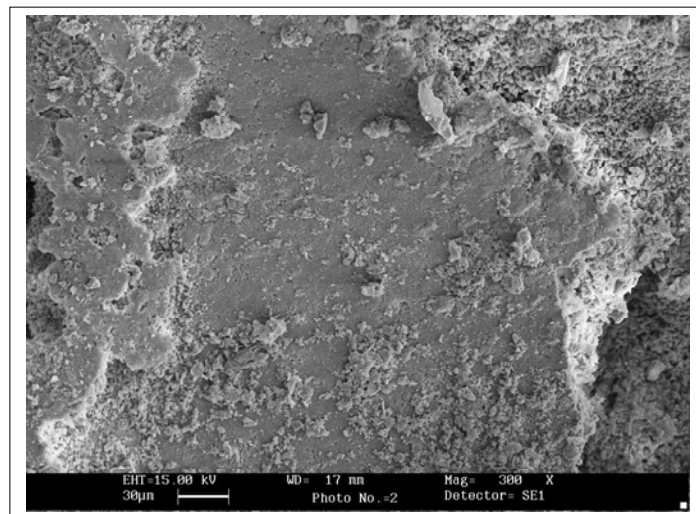


FIG. 7.16b. Imagen microscópica D1RM-a 30µm
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Detalle de partículas y fino sustrato superficial del hormigón con morfología heterogénea. No existen alteraciones que pudieran atribuirse a la exposición a la radiación.

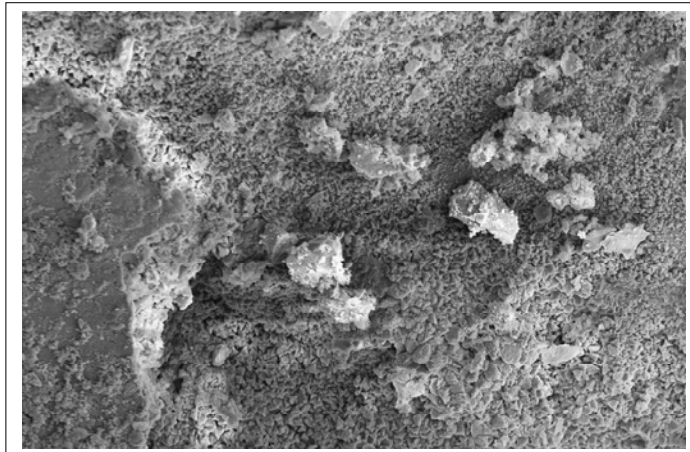


FIG. 7.16c. Imagen microscópica DIRM-a 30 μ m
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Con mayor magnificación se aprecian los cristales de hidróxido de calcio, este se encuentra bien distribuido y con orientación al azar, y que predominan sobre otros cristales en la superficie.

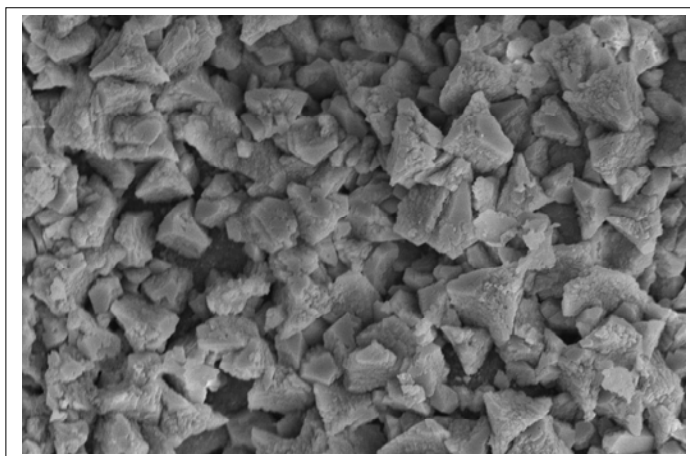


FIG. 7.16d. Imagen microscópica DIRM-a 3 μ m
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Además se presenta un espectro para muestra DIRM-a obtenido por una microsonda EDAX, con lo que se caracteriza la composición química de la muestra.

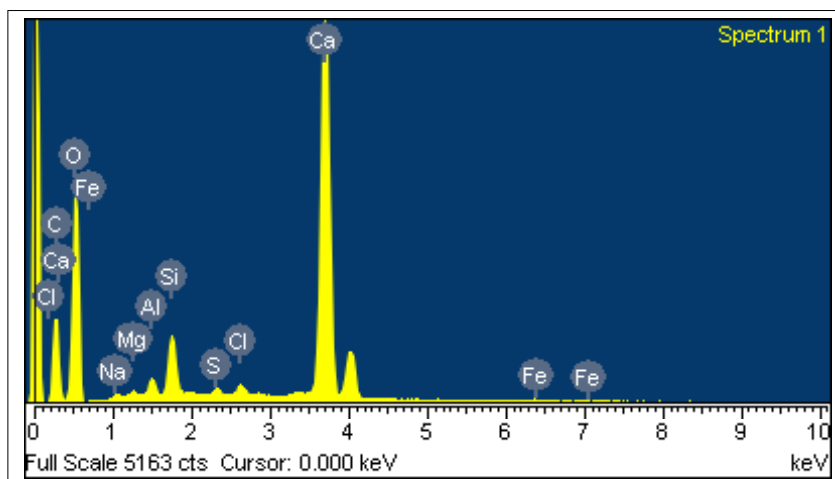


FIG. 7.17. Espectro DIRM-a
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

El microanálisis EDAX por energía dispersiva de rayos X, detecta los distintos elementos constituyentes del hormigón: C, O, Na, Mg, Al, Si, S, Cl, Ca y Fe.

Estos elementos forman a su vez distintas fases como son: hidróxido de calcio, monoaluminatos de calcio hidratados, silicatos de calcio, aluminoferritas, monosulfatos, entre otras combinaciones.

La presencia de cloro puede ser producto a trazas presentes en el agua de la mezcla o bien residuos de materia prima en la fabricación del cemento.

Elemento	Abreviatura gráfico	% Peso	% atomic
CaCO ₃	C	11,35	18,95
SiO ₂	O	47,47	59,52
NaAlSi ₃ O ₈ (Albita)*	Na	0,30	0,26
MgO	Mg	0,20	0,17
Al ₂ O ₃	Al	0,65	0,48
SiO ₂	Si	2,65	1,89
FeS ₂	S	0,32	0,20
KCl	Cl	0,65	0,37
CaSiO ₃ (Wolastonita)**	Ca	35,95	17,99
Fe	Fe	0,46	0,17
TOTAL		100,00	100,00
* Feldespatos			
** Metasilicato de calcio			

TABLA. 7.10. Porcentajes de los compuestos presentes en DIRM-a
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

También se realizó un microanálisis a lo largo de una línea de 300 µm, en este los distintos colores indican la cantidad y ubicación de los principales elementos de esa línea

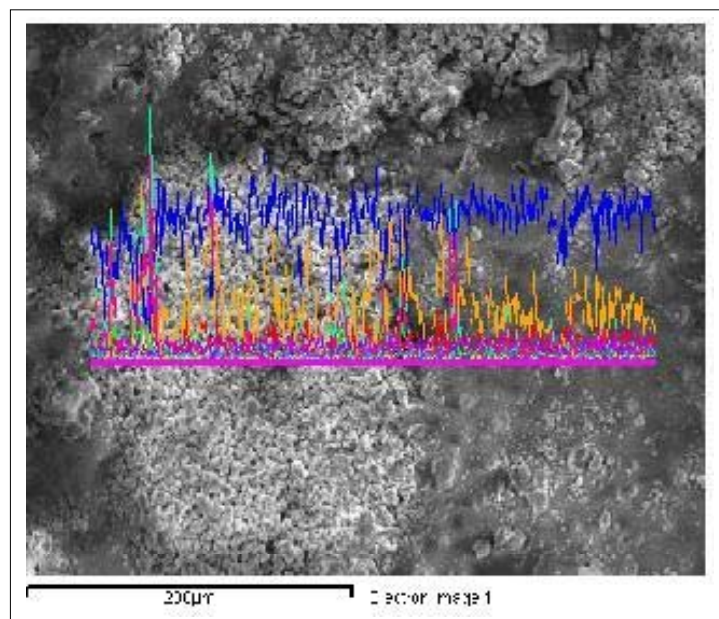


FIG. 7.18. Scan sobre una línea de 200 µm
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

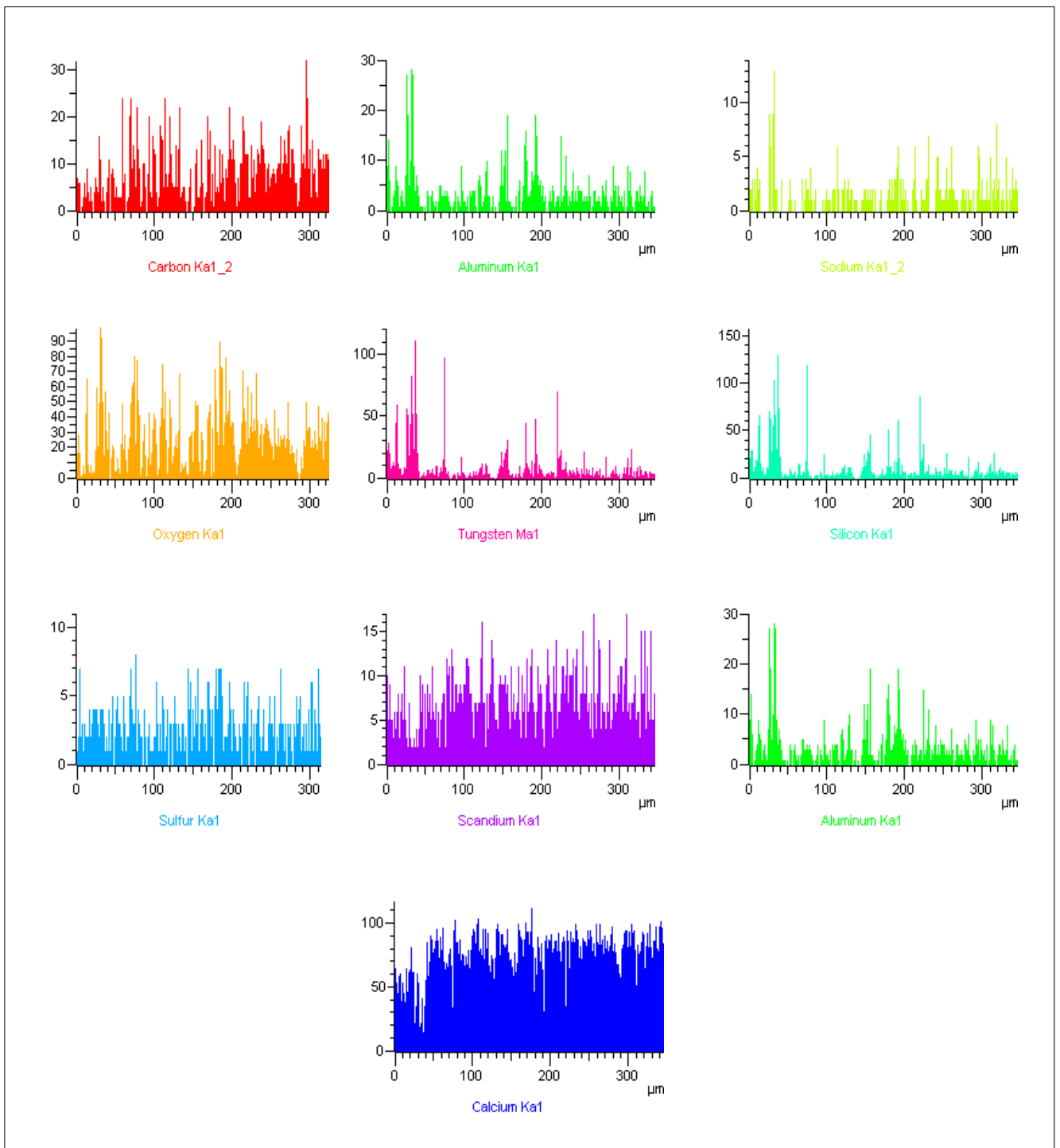


FIG. 7.19. Compuestos resultados del espectro
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Para continuar este análisis se realiza la caracterización de una muestra del centro de la superficie de la D2RM-a

El siguiente listado de imágenes pretende caracterizar la superficie de la muestra analizada, la panorámica superficial muestra de hormigón con mayor cantidad de cemento, presenta una morfología irregular, presencia de partículas mayores y sustrato fino, así como también una menor cantidad de microporos.

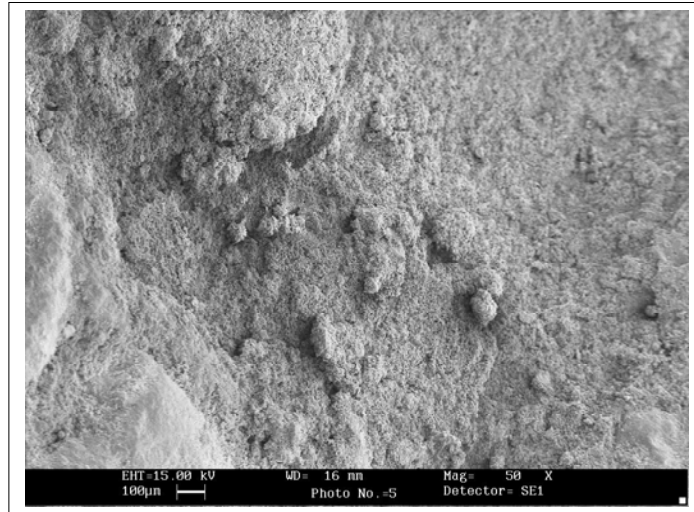


FIG. 7.20a. Imagen microscópica D2RM-a 100 μ m
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Con mayor aumento se aprecian detalle del sustrato superficial y pequeñas partículas del hormigón, con menor cantidad de poros, ya que estos se encuentran cubiertos por la mayor cantidad de cemento presente en la muestra

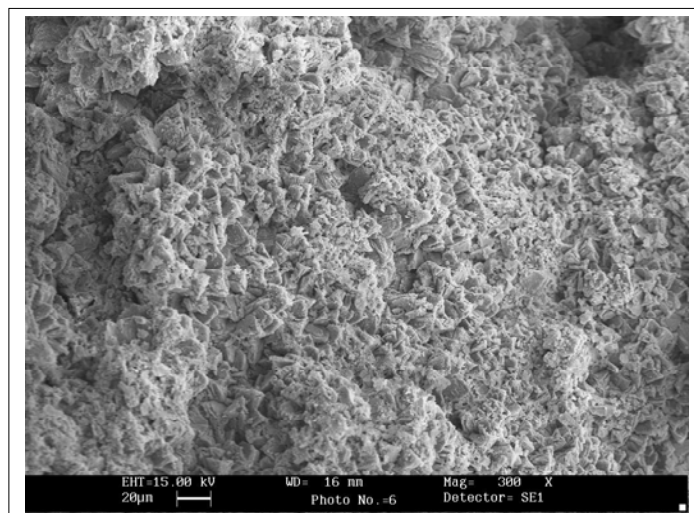


FIG. 7.20b. Imagen microscópica D2RM-a 15 μ m
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Una mayor magnificación de la superficie permite observar cristales de hidróxido de calcio y otras micro estructuras del hormigón. Se puede apreciar en la parte central de la imagen un cristal hexagonal

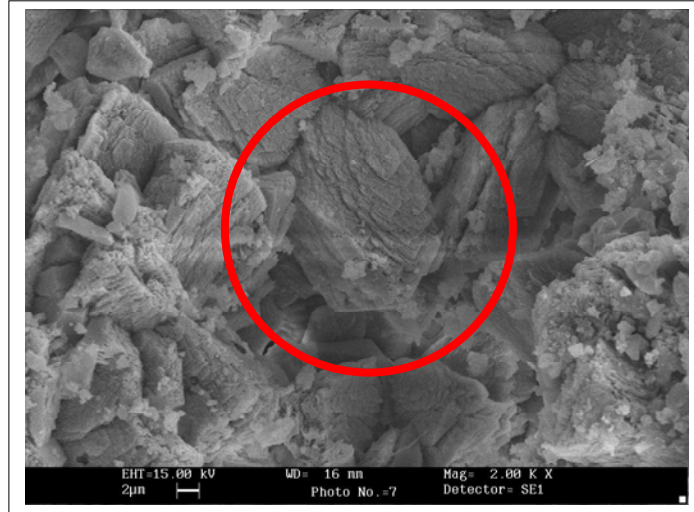


FIG. 7.20c. Imagen microscópica D2RM-a 2 μ m
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Esta imagen muestra con más detalle el cristal de hidróxido de calcio, cuyas formas o lados hexagonales están distorsionados por depósitos de partículas o microagregados en la superficie

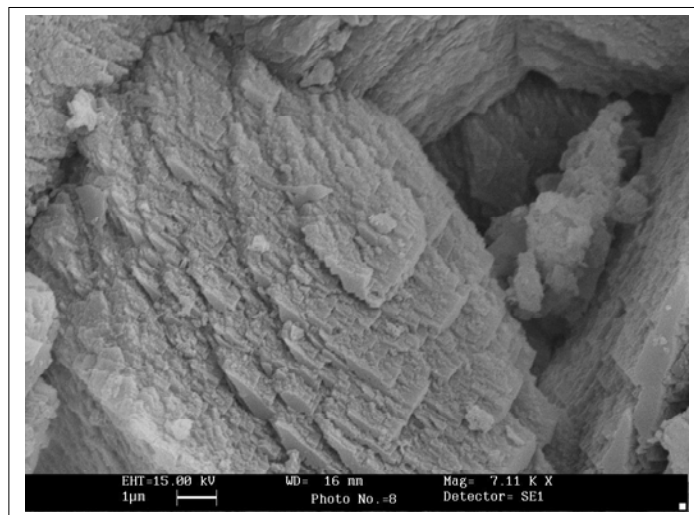


FIG. 7.20d. Imagen microscópica D2RM-a 1 μ m
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

El microanálisis EDAX por energía dispersiva de rayos X, detecta los distintos elementos constituyentes del hormigón: C, O, Na, Mg, Al, Si, S, Cl, Ca y Fe, de la superficie de la muestra D2RM-a

Estos elementos forman a su vez distintas fases como son: hidróxido de calcio, monoaluminatos de calcio hidratados, silicatos de calcio, aluminoferritas, monosulfatos, entre otras combinaciones.

Se puede observar que la presencia de silicio es más importante que en la muestra de la dosificación D1, por lo que es factible suponer que producto de la mayor cantidad de silicio, distribuido aleatoriamente, provoque una mayor reflectancia como se ha visto en las secciones anteriores.

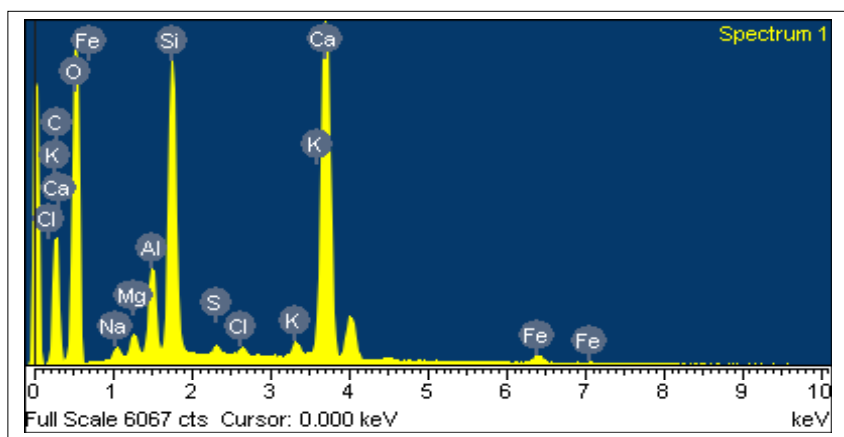


FIG. 7.21. Espectro D2RM-a
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Elemento	Abreviatura gráfico	% Peso	% atomic
CaCO ₃	C	15,77	25,11
SiO ₂	O	44,51	53,21
NaAlSi ₃ O ₈ (Albita)*	Na	0,48	0,40
MgO	Mg	0,71	0,56
Al ₂ O ₃	Al	2,48	1,76
SiO ₂	Si	9,59	6,53
FeS ₂	S	0,35	0,21
KCl	Cl	0,37	0,20
MAD-10 Feldespatos	K	0,75	0,37
CaSiO ₃ (Wolastonita)**	Ca	23,07	11,01
Fe	Fe	1,91	0,65
TOTAL		99,99	100,00

* Feldespatos

** Metasilicato de calcio

TABLA 7.11. Porcentajes de los compuestos presentes en D2RM-a
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Con un microanálisis a lo largo de una línea de 100 μm. Los distintos colores indican la cantidad y ubicación de los principales elementos de esa línea

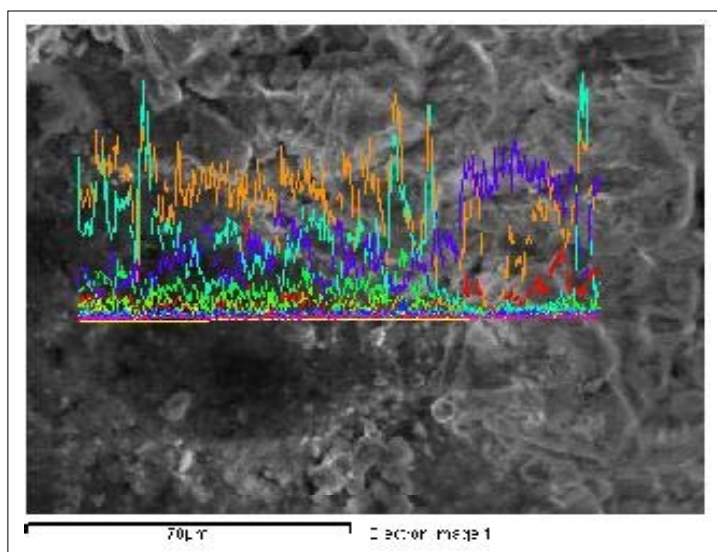


FIG. 7.22. Scan sobre una línea de 70 μm
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

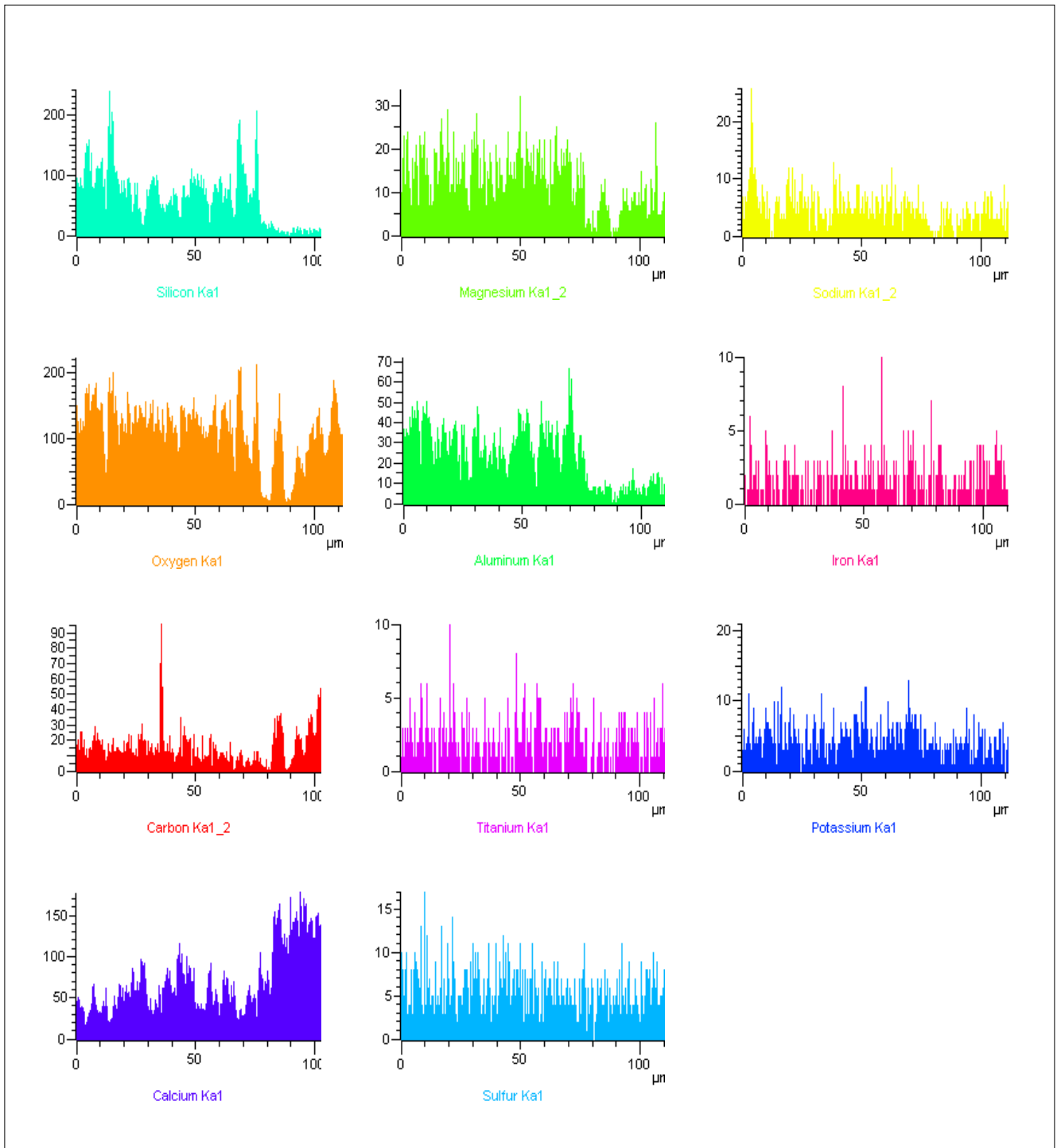


FIG. 7.23. Compuestos resultados del espectro
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

VIII. CONCLUSIONES.

De acuerdo al trabajo desarrollado y bajo las condiciones experimentales descritas, las conclusiones se resumen como sigue:

Si se analiza desde el punto de vista experimental se puede decir que:

- Se consiguió desarrollar un esquema de laboratorio sencillo que no sólo permite medir reflectancia de superficies de hormigón u otro material, sino que también medir otro tipo de efectos que la exposición a la radiación pudiera ocasionar, como son degradación de polímeros (asfaltos, adhesivos, cauchos, pinturas, entre otros).
- Existe una subestimación de la reflectancia para todos los casos, debido a que producto del montaje el sensor capta como radiación incidente parte de la radiación del tubo que no ingresa a la cámara donde se encuentra la muestra, por lo que la razón entre radiación reflejada e incidente baja en una cantidad que no es posible de cuantificar.
- Los valores obtenidos representan lo que se podría llamar una reflectancia parcial, ya que consta de una componente especular y un porcentaje de reflexión difusa que varía entre muestra y muestra y no se puede evaluar, pero que no incluye la componente de retroreflexión debido tanto a la configuración geométrica como a la fuente y sensores de radiación. Además existe una componente de dispersión de la radiación, especialmente en la radiación UV-B, que se suma a la reflexión especular y difusa, pero que no constituye reflexión propiamente tal.
- No fue posible obtener información de la reflectancia para UV-A bajo ángulos de incidencia de 49° y 40° principalmente por el alto valor del offset del sensor, además de que el valor de la radiación reflejada se encontraba bajo ese valor. Por lo que desde un punto de vista experimental el montaje y el equipo no satisface las necesidades para medir reflectancia de la radiación UV-A.
- Los valores de la reflectancia de la radiación visible se presentan como los valores menos contaminados por factores ambientales y/o de montaje, y por lo tanto se acepta como estable su comportamiento. Por esto se puede afirmar que el montaje es adecuado para la medición cuando se trata de luz visible.

- A pesar de la extensa búsqueda bibliográfica, no existen procedimientos claros o bien establecidos para la medición de reflexión sobre este tipo de superficies, por lo que esta medición y montaje experimental se basa principalmente en la experiencia de los asesores así como también mediante pruebas de ensayo-error.

Desde un punto de vista netamente de los resultados obtenidos se puede decir lo siguiente:

- Bajo estas particulares condiciones, los valores obtenidos de reflectancia, según las distintas configuraciones geométricas son mayores a medida que aumenta el ángulo de incidencia, para UV-B y visible.
- Los valores de reflectancia medidos bajos las diferentes configuraciones para la radiación visible fueron mayores entre un 15% a 75%, que las que presentó la radiación UV-B.
- Desde el punto de vista de la dosificación, es posible afirmar que para todas las configuraciones geométricas estudiadas y para todas las clases de radiación analizadas, no existe ninguna influencia de ésta sobre los valores de reflectancia,
- Así mismo desde el punto de vista de la rugosidad superficial, es posible afirmar que para todas las configuraciones geométricas estudiadas y para todas las clases de radiación analizadas, no existe ninguna influencia de ésta sobre los valores de reflectancia.
- A diferencia de lo esperado, la reflectancia de la radiación UV-B es mayor que la reflectancia mostrada por la radiación UV-A, llegando a ser incluso un 40% mayor cuando se midió con un ángulo de incidencia de 60° . Este hecho deja en evidencia la importante influencia de la dispersión de la radiación, hecho que como es sabido, ocurre en mayor cantidad a medida que es menor la longitud de onda, precisamente porque es inversamente proporcional a la longitud de onda a la cuarta, por lo que un pequeño descenso en la longitud de onda equivale a una dispersión aún mayor. Por lo tanto no se puede separar la reflectancia de la radiación UV-B de una alta cantidad de dispersión para este caso. Además hay que tomar en cuenta las diferencias en las sensibilidades de los sensores utilizados para cada tipo de radiación.

- No existe riesgo de elevar la reflectancia de la radiación UV, al intentar aumentar la reflectividad de la luz visible, como fuente de ahorro energético, ya que los resultados obtenidos de reflectancia en el rango UV son despreciables desde el punto de vista del daño biológico.

Desde un punto de vista de la caracterización del hormigón, el análisis de las muestras presentó las siguientes particularidades.

- Se encontró que la cantidad de silicatos (SiO_2) en las muestras fabricadas con razón $a/c = 0,398$ (D2), es alrededor de un 72% mayor que la que presenta aquella muestra fabricada con razón $a/c = 0,448$ (D1), lo que induce a pensar en una mayor diferencia entre los valores de reflectancia para cada dosificación, sin embargo la distribución de este compuesto sobre la superficie es aleatoria, lo que podría explicar esta contradicción como un hecho de ocurrencia local.
- Debido a que no existe diferencia en los valores de reflectancia medidos para ambas dosificaciones, es razonable pensar que no existe influencia de los compuestos químicos del hormigón cuando se presentan en estas proporciones.
- La estructura morfológica del hormigón es normal y no presenta cambios que pudieran atribuirse a la exposición a la radiación.

GLOSARIO.

A continuación se presenta una lista de términos que se mencionan frecuentemente al estudiar reflexión y radiaciones.

- **Albedo** : Fracción de la radiación que es reflejada por un cuerpo o superficie.
- **Ángulo Incidencia** : Al que forma el rayo u onda incidente con la normal a la superficie reflectora.
- **Ángulo Reflexión** : Al que forma la onda o rayo reflejado con la normal a la superficie.
- **Backscattering** : Dispersión (difusión). Desviación de una radiación o de una emisión de partículas, por dispersión, en ángulos menores a 90° respecto a la dirección de propagación o emisión primitiva.
- **Flujo Incidente** (Φ_i) : el flujo incidente sobre la muestra a un ángulo específico de iluminación y de abertura.
- **Flujo Radiante** : Flujo energético. Potencia emitida, transportada o recibida en forma de radiación (CEI/5845-05-100).
- **Flujo Reflejado** (Φ_r) : flujo reflejado desde una muestra a un ángulo especificado de observación y de abertura.
- **Fotodisociación** : Disociación de un compuesto químico producto de la energía radiante.
- **Irradiancia** : Cuociente del flujo energético recibido por un elemento infinitamente pequeño de esa superficie en torno al punto considerado, por el área de dicho elemento. (CEI 58/45-05-115).
- **Radiación** : Energía electromagnética que se propaga por el espacio.

- **Reflectancia** : Factor de reflexión. Razón de flujo luminoso reflejado por una superficie dada, por el flujo incidente sobre la misma superficie.
- **Reflexión** : Fenómeno por el cual una onda que se propaga por un medio, e incide sobre otro medio de características distintas, retorna a él.
Retorno o cambio de dirección de una onda o de un chorro de partículas al incidir sobre una superficie
- **Reflexión Difusa** : Se produce cuando las irregularidades de la superficie son tan finas y uniformes que los rayos reflejados se distribuyen en todas direcciones de una manera definida siguiendo la llamada ley de los cosenos.
- **Reflexión mixta, irregular o semidifusa** : Es intermedia entre la regular y la difusa, y ocurre cuando la superficie es irregular o rugosa.
- **Reflexión Regular o Especular** : Se produce cuando la superficie reflectora es lisa, en el sentido de que sus desigualdades son pequeñas en comparación a la longitud de onda de los rayos incidentes, cada uno de los cuales da origen a un rayo reflejado en el mismo plano, siendo iguales los ángulos de incidencia y reflexión.

Los términos definidos anteriormente, pueden ser identificados más a fondo por un adjetivo, tal como especular, regular, difuso, total, o direccional, de tal modo identificando la base para la escala de la medida. El significado de cada uno de estos adjetivos es el que sigue:

- **Difuso** : indica que solamente la luz reflejada o transmitida en todas direcciones con excepción de la dirección especular o regular está incluida en la medida.
- **Direccionales**: indica que la luz reflejada o transmitida en direcciones especificadas solamente son incluida para la medición. Los valores direccionales dependen de los ángulos de la iluminación y de la visión y se refieren a la luz reflejada o transmitida en las direcciones que se diferencian moderadamente de la dirección o del eje del centro del haz.

- **Especular** : indica que solamente la luz que es reflejada como por un espejo es incluida para la medición. El CIE prefiere el adjetivo regular en vez de especular aunque se reconoce la reflexión especular.
- **Regular** : indica que solamente la luz que se ha reflejado o se ha transmitido sin dispersión o difusión es incluida para la medida. Cuando un espécimen dispersa la luz incidente en la reflexión o la transmisión, los valores obtenidos dependerán del tamaño angular del iluminador y del receptor usado en la medida.
- **Totales** : indica que la luz reflejada o transmitida en todas las direcciones es incluida para la medida.

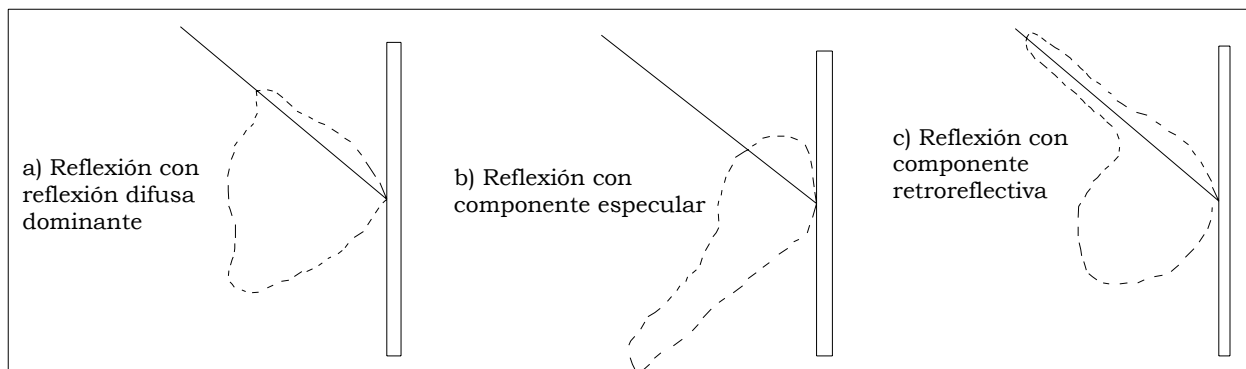


FIG. G.01. Representación de los fenómenos reales de la reflexión con mezcla de componentes.
FUENTE. Norma ASTM E179-96

Medición de la Reflectancia.	Distribución Geométrica de la luz	Elemento estructural responsable	Resultado de la apariencia característica cuando domina la componente
Componente Especular	Reflexión sólo en la dirección del observador.	Suavidad de la superficie de la muestra	Brillo o lustrosidad
Componente Difusa	Distribuida en todas las direcciones.	Gránulos y cavidades dentro de la muestra, aspereza superficial.	Claridad (expresada en escala de negro-gris-blanco)

TABLA. G.01. Diferencias de conceptos para las componentes especular y difusa de la reflexión.
FUENTE. Norma ASTM E179-96

Las direcciones geométricas pueden ser identificadas precediendo el adjetivo con las direcciones angulares, incluyendo una descripción geométrica detallada, o poniendo después de los símbolos un subíndice que represente la condición de la medida.

Los ángulos de iluminación y de visión se identifican como sigue (ver FIG. G.02.):

- **Ángulos de abertura** : los ángulos delimitado por un punto sobre la muestra por la dimensión máxima del iluminador y receptor aparentes. Son una parte necesaria de la especificación geométrica porque el tamaño finito de cada iluminador práctico limita la colimación.
- **Ángulo azimutal, η** : el ángulo entre el plano que contiene el eje del iluminador y la normal de la muestra, y el plano que contiene el eje del receptor y la normal del espécimen. A menos que se especifique un ángulo azimutal, el eje del iluminador, la normal del espécimen, y el eje del receptor se toman en el mismo plano.
- **Ángulo de iluminación, θ_i** : el ángulo entre el eje del haz incidente y el normal (perpendicular) de la superficie del espécimen (la normal del espécimen).
- **Ángulo de observación para reflexión, θ_r** : el ángulo entre la normal de la superficie y el eje del receptor.
- **Ángulo de rotación, ε** : el ángulo que indica la orientación del espécimen de prueba cuando se rota en su propio plano. La orientación del espécimen se considera como parte de la descripción del espécimen.

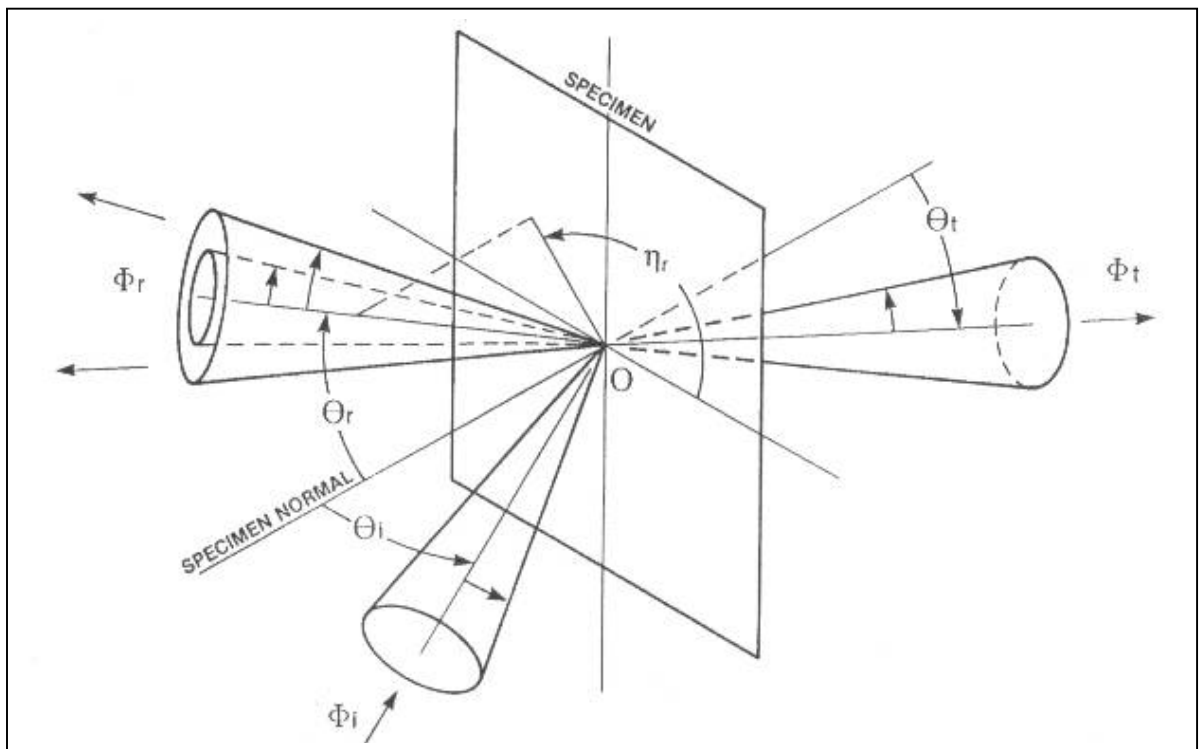


FIG. G.02. Designación de flujo y ángulos para mediciones de reflexión.

FUENTE. Norma ASTM E179-96

BIBLIOGRAFÍA

Además de la información obtenida en Internet, se suman los siguientes textos utilizados que se apuntan a continuación.

- ACPA. American Concrete Pavement Association. [en línea]. Albedo: A measure of pavement surface reflectance. *R&T Update Concrete Pavement Research & Technology* [consulta: 24 abril 2004].
<<http://www.pavement.com/PavTech/Tech/Dwnlds/DwnldRT-2002.html>>
- ANDRADY, A. L., HAMID, H. S., TORIKAI, A. 2003. Effects of climate change and UV-B on materials. *Photochemical & Photobiological Science*. 2(1): 68-72.
- ASTM E-179-96. Standard guide for selection of geometric conditions for measurements of reflection and transmiión properties of materials.
- ASTM G-151-00. Standard practice for exposing nonmetallic materials in accelerated test devices that use laboratory light sources.
- ASTM G-154-00. Standard practice for operating flourescent Light apparatus for UV exposure of nonmetallic materials.
- BOHREN, C. 1998. Absorption and scattering of Light by small particles. USA. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-29340-7.
- BUCAREY, A. CEMENTOS BIO BIO. 1996. Cemento, fabricación y clasificación. 22p.
- CABRERA, S., BOZZO, S., FUENZALIDA, H. 1995. Variations in UV radiation in Chile. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. 28: 137-142.

- CABRERA, S., MORENO, G., FUENZALIDA, H. 2000. Radiaciones ultravioleta en Chile: variaciones con la altura y la latitud. *Boletín científico Asociación Chilena de Seguridad*: 66-71.
- CABRERA, S. 2002. Reflexiones de cómo el cambio climático global influenciará la actividad profesional de los dermatólogos y a la sociedad en su conjunto. *Revista chilena de dermatología*. 18(4): 274-279.
- CABRERA, S. 2003. Capítulo N°7 Radiación Ultravioleta. *Curso ozono, radiación ultravioleta y salud humana – 2003* del programa para alumnos de Magíster o Doctorado en Biomedicina.
- CADENA, C. T., VICENTE, M., S. 2000. Diseño de una cámara de ensayos de radiación ultravioleta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 4(1,2):8.59-8.64.
- CHILE, Ministerio de Salud. Decreto Supremo N° 594: Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, septiembre 1999. 33p
- CORREA, E., N., FLORES, L., S., LESINO, G. Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. [en línea]. *Avances en energías renovables y medio ambiente*. [consulta: 18 agosto 2004]. <www.asades.org.ar/averma/7-2003/art117.pdf>.
- CORRONS, A., et al. Reflectancia suelos urbanos. [en línea] En: XXVII Symposium nacional de iluminación CEI, 24-26 de mayo 2001, Madrid, España. [consulta: 18 agosto 2004]. <www.ceisp.com/symposium/pdf/refsuurb.pdf>.
- DE GRUIJL, F., R., VAN DER LEUN, J., C. 2000. Environment and health: 3. Ozone depletion and ultraviolet radiation. *Canadian Medical Association Journal*. 163(7): 851- 855.

- DE GRUIJL, F., R. et al. 2003. Health effects from stratospheric ozone depletion and interactions with climate change. *Photochemical & Photobiological Science*. 2(1): 16-28.
- FEISTER, U., GREWE, R. 1995. Spectral albedo measurement in the UV and visible region over different types of surfaces. *Photochemistry and Photobiology*. 62(4): 736-744.
- FUENZALIDA, H., A. 1998. Global ultraviolet spectra derived directly from observations with multichannel radiometers. *Applied Optics*. 37(33): 7912-7919.
- GREINERT, R., BREITBART, E. W., VOLKMER, B. Hazards by enhanced UV irradiation. En LOZÁN, J. L., GRAßL, H. and HUPFER, P. (Eds). *Climate of 21st century: change and risks scientific facts*. Alemania: 2001. p 338-343.
- HANSSON, C., M., MARCOTTE, T., C. Cement-based materials. En McHARGUE et al (Eds). *Síntesis and properties of advanced materials*. USA: 1997. p 195-227.
- HECHT, E. 2000. *Óptica 3ª Edición*. Madrid. Addison Wesley Iberoamericana. 722p. ISBN 84-7829-025-7.
- HONEYMAN, J. Efectos de radiaciones ultravioleta en la piel. [en línea] [consulta: 4 noviembre 2004]. <<http://www.savall.cl/link.cgi/SavallNet/Noticias/1155>>
- INSTITUTO CHILENO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN. 1989. *Manual de ensayos áridos y hormigón*. Chile. Editorial Universitaria 83p.
- KUEHL, R., O. 2001. *Diseño de experimentos 2ª Ed*. México. International Thomson Editores. 666p. ISBN 970-686-048-7.
- LEVINSON, R., AKBARI, H. 2001. Effects of composition and exposure on the solar reflectance of Portland cement concrete. *Heat Island Group, Environmental energy*

Technologies division, Lawrence Berkeley nacional laboratory, University of California Lbn.-48334.39p

- LI-COR. 1982. Radiation measurement and instrumentation. *Publication N° 8208-LM*. 29p.
- LI-COR. Principles of radiation measurement. 8p.
- MARKS, N. Hazards of daily exposure on site. *Construction Safety magazine* 12(2) [en línea]: [consulta: 12 noviembre 2003].
<<http://www.csao.org/UploadFiles/Magazine/vol12no2/uv.htm>>
- MATJAZ, P., NOVAK., P. 2001. Simplified method for evaluating termal radiant environment. En: Internacional Conference IIR: 10 y 11 de mayo de 2001. Ljubljana.Slovenia.
- McKENZIE, R., L. et al. 2003. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Photochemical & Photobiological Science*. 2(1): 5-15.
- MONTEIRO, P., J., KUMAR, P. Concrete: Microstructure, properties and materials [en línea]: University of California, Berkeley, 2001. [consulta: 6 septiembre 2004].
<www.ce.berkeley.edu/~paulmont/book.pdf>.
- NCh 163.Of79. Áridos para morteros y hormigones - Requisitos generales.
- NCh 170.Of85. Hormigón - Requisitos generales.
- NEWMAN, P., A. Stratospheric ozone: An electronic textbook. [en línea]. NASA Goddard Space Flight Center Atmospheric Chemistry and Dynamics Branch (Code 916). [consulta: 17 diciembre 2003].
<http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/oz_class.htm>
- Q-PANEL. A choice of lamps for the QUV. *Technical bulletin LU-8160*.

- Q-PANEL. Important safety information on ultraviolet hazards. *Technical bulletin LU-843(6/93)*.
- ROLLERI, A. 2003. Characterization of wood-based panels surfaces by contact and non-contact methods. [en línea]. The Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology of Georg-August-University Göttingen. [consulta: 14 septiembre 2004].
<webdoc.sub.gwdg.de/diss/2003/rolleri/rolleri.pdf>.
- SEGUEL, J., L. IC-51 Estructura de hormigón armado. 2003. [en línea]: Universidad Central. Facultad de Ciencias físicas y matemáticas. [consulta: 12 noviembre 2003].
<http://www.ooccucentral.cl/portal/page?_pageid=64,48879,64_49601&_dad=portal&_schema=PORTAL>
- SERRA, N. Fotoprotectores y bronceadores. Actualidad dermatológica. [en línea]. 447-458p. [consulta: 14 septiembre 2004] <www.actualidaddermatol.com/art3694.pdf>
- SERWAY, R., A. 1999. Electricidad y magnetismo. México. McGraw-Hill Interamericana. 467p.
- SHACKELFORD, J., F., GÜEMES, A. 1998. Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros, 4ª Ed. Madrid. Prentice Hall Iberia. 675p. ISBN 84-8322-047-4.
- STARKS, R., E. 1986. Road surface's reflectance. Influences lighting design. *Lighting design+application*.
- STUTZMAN, P., E. Scanning electron microscopy in concrete petrography. [en línea]. National Institute of Standard and technology. [consulta: 14 julio 2004].
<fire.nist.gov/bfrlpubs/build01/PDF/b01086.pdf>
- VALEA, A., ALONSO, J., Ma. 1998. Radiación infrarroja y ultravioleta. Tecnología y aplicaciones. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE España. Serie Electrotecnologías. 382p. ISBN 84-481-2041-8.

- WAHNER, A., Depletion of ozone in the stratosphere. En LOZÁN, J. L., GRABL, H. and HUPFER, P. (Eds). Climate of 21st century: change and risks scientific facts. Alemania: 2001. p 134-139.

[URL1] <<http://www.fisicaysociedad.es/view/default.asp?cat=137&id=236>>

[URL 2] <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>>

[URL3] <<http://gcmd.gsfc.nasa.gov/Resources/Learning/ozone.html>>

[URL 4] <http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/oz_class.htm>

[URL 5] <http://jwocky.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html>

[URL 6] <http://www.cbb.cl/cbb_inacesa/PDFs/2_Cemento_Bio_Bio_Especial.pdf>

ANEXO A.

Riesgos en la Construcción.

A.1 PELIGROS DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN EL LUGAR DE TRABAJO.

Las personas que trabajan al aire libre están más expuestas que el resto de los trabajadores a sufrir daño por la exposición a la radiación UV. Otra cantidad de personas puede estar expuesta a la radiación UV en el trabajo producto de fuentes artificiales tales como soldadura al arco, curado de pinturas, equipos de desinfección en hospitales, plantas de potabilización de agua y laboratorios entre otros. En la Tabla A.01, se pueden observar las principales fuentes de irradiación, tanto naturales, como artificiales.

TABLA A.01. Fuentes de UV comunes en el lugar de trabajo.
FUENTE Organización Mundial de la Salud.

Fuente	Potencial de sobre exposición	Descripción del peligro	Prevención de Riesgos
Sol	Muy alto	UV es mayor en verano, dos horas antes y después del cenit.	Ingeniería y Control Administrativo, PPE* y entrenamiento.
Soldadura de arco eléctrico	Muy alto	Los arcos de soldadura pueden exceder las pautas de radiación UV en segundos, dentro de algunos metros a la redonda. Los trabajadores, las personas presentes y los transeúntes pueden quedar sobre expuestos al UV de los arcos si la ingeniería de control es inadecuada	Ingeniería y Control Administrativo, PPE y entrenamiento.
Lámparas de bronceado	Alto	Estas emiten sobre todo radiación UV-A. Las lámparas de bronceado generalmente deben exceder las pautas ocupacionales para poder broncear	PPE y entrenamiento.
Lámparas germicidas	Alto	Lámparas que emiten UV-B y UV-C usadas en áreas de esterilización en hospitales y laboratorios.	Ingeniería de control, PPE y entrenamiento.

Láser UV	Alto	Fuente de intensa radiación UV en una sola longitud de onda, sin luz visible.	Ingeniería, control Administrativo, y entrenamiento.
Lámparas de curado UV	Medio	Lámparas que están generalmente dentro de cabinas, pero pueden exceder los niveles de UV en segundos cuando se abren.	Ingeniería, control Administrativo, y entrenamiento.
Luces Negras	Medio a Bajo	Lámparas UV-A de bajo poder, usadas en pruebas no destructivas, control de insectos y entretenimiento.	Ingeniería de control, protección de personal
Alumbrado	Bajo	La mayoría de las lámparas usadas para alumbrado están hechas para emitir pequeñas o nulas cantidades de radiación UV.	No se necesitan cuidados bajo condiciones normales

*Equipo de Protección Personal en sus siglas en inglés PPE (*Personal Protective Equipment*)

Sin embargo los trabajadores que están expuestos regularmente al sol por períodos prolongados, requieren de una estrategia que minimice los riesgos. Esto por que la exposición a una fuente solar no puede ser controlada como otras exposiciones peligrosas en los lugares de trabajo.

Como la radiación UV no puede ser vista ni sentida, es importante que los trabajadores que tienen cierto potencial de exposición tomen las medidas de protección necesaria.

A.1.1 Como manejar los riesgos en el lugar de trabajo.

Hay un número de medidas que se pueden tomar en el lugar para controlar los riesgos. Esto implica:

1. Ingeniería de control – Para trabajadores al aire libre esto incluye el suministro de pabellones cubiertos o cortinas. En el contexto de las fuentes artificiales las medidas de control convenientes incluyen barreras opacas y filtros de radiación UV.
2. Control Administrativo - para los trabajadores al aire libre esto incluye el cambio de hora de los programas de trabajo, en lo posible que se realicen fuera del período máximo de radiación UV (2 horas antes y después del mediodía solar), moviendo en lo posible los trabajos a las áreas sombrías o rotando a trabajadores entre las tareas de interior y exterior para disminuir la exposición UV total de los empleados. En el contexto de las fuentes artificiales de radiación UV, los controles de administración deben incluir las señales de peligro, manteniendo al personal a una distancia de

seguridad y limitando el tiempo durante el cual permanecen encendidas las fuentes de radiación UV.

3. Equipo de Protección Personal (PPE) – En caso de necesidad, a los trabajadores que se encuentran trabajando al aire libre, se les debe proporcionar ropa protectora holgada, hecha de un tejido de fibra densa y que proporcione protección al cuello y preferentemente a los brazos y la parte baja de las piernas. Los cascos deben dar sombra a la cara, el cuello y las orejas, además de tener un borde ancho (8-10 cm). Si los cascos de seguridad tienen que ser usados, deben tener unido aletas del cuello. Protectores solares debe ser de un SPF de 15 como mínimo, y que sea de amplio espectro, es decir, que bloquee UV-A y UV-B, y aplicar regularmente a la piel expuesta. Las gafas de sol deben tener un diseño que rodee los ojos y bloquear por lo menos el 99% de la radiación UV. En el contexto de fuentes artificiales de radiación UV, soldadores del arco necesitan de un equipo protector particular para el propósito específico.
4. Entrenamiento - debe ser ofrecido a todos los empleados expuestos a niveles medios a muy altos (véase tabla A.03) de radiación UV en el trabajo, de modo que entiendan los riesgos y qué se espera de ellos mientras se encuentran en el lugar de trabajo.

A.1.2 Exposición de los trabajadores de la construcción.

En los últimos años ha habido un crecimiento sobre los riesgos de la salud a exposiciones a la radiación ultravioleta proveniente del sol. Los trabajadores de la construcción tienen un riesgo particularmente alto porque ellos generalmente trabajan al aire libre.

La incidencia de melanoma en hombres está creciendo mucho más rápido que los otros cánceres. De acuerdo a la Asociación Canadiense de Dermatología (CDA), el promedio de mortalidad de un melanoma maligno se ha incrementado especialmente en hombres de edad media.

Los melanomas a menudo aparecen sobre la parte alta de la espalda, cabeza y cuello. La CDA también nota que existe un periodo de latencia de 10 a 30 años para su aparición clínica. Consecuentemente, es crítica para trabajadores jóvenes por el efecto acumulativo de una exposición no protegida al sol. Mientras mayor es el tiempo expuesto sin protección mayor es el riesgo de desarrollar cáncer a la piel.

Aunque la mayoría de los trabajadores de la construcción generalmente cubren sus brazos, piernas y torso, sus caras y cuellos aun siguen expuestas a los rayos dañinos del sol.

El tipo de cáncer que se desarrolla sobre las orejas y labios tiene aun alta probabilidad de propagarse a otras partes del cuerpo y causar la muerte. El melanoma

también puede ocurrir en las partes expuestas al sol de la cabeza y cuello, de hecho dos de cada tres casos de cáncer ocurren en la cabeza y cuello.

Además de los efectos dañinos de los rayos del sol, algunos trabajadores pueden estar expuestos a radiación UV indirecta. Los trabajadores pueden recibir radiación adicional si se encuentra cerca de una superficie reflectante de la luz solar. Superficies reflectivas como hormigón, agua, acero corrugado sin pintar, vidrio de construcción y aluminio pueden incrementar la cantidad de radiación ultravioleta a las cuales los trabajadores están expuestos (Marks 2003).

Aunque todos los trabajadores de la construcción están en riesgo, aquellos que no tienen acceso a sombra y/o trabajan en altura tienen mayor riesgo a una sobre exposición a radiación UV. Estos incluyen:

- Concreteros.
- Techadores.
- Jaloneros.
- Armadores de moldajes, en zonas altas.
- Jornales.
- Herreros.

A.1.3 Medidas que debe adoptar el trabajador expuesto.

A continuación se enumera una serie de medidas que se deben adoptar para evitar sobre exposiciones a la radiación UV.

- Aplicarse un filtro solar de amplio espectro, con un factor de protección solar (SPF) de 15 o mayor para todas las áreas de la piel expuestas. Asegurarse de cubrir orejas, espalda y cuello. Aplicar filtro 20 a 30 minutos antes de exponerse al sol. Reaplicar filtro cada 2 horas.
- Usar un SPF 15 o mayor, bálsamo de labios y reaplicar cada 2 horas. Cáncer a la piel puede desarrollarse en los labios.
- Se puede aumentar la protección UV a la espalda y cuello usando tela para bloquear los rayos del sol. Protectores de cuello unidos al casco están disponibles.
- Vestir lentes que absorban UV (la *Construction Safety Association of Ontario*, CSA, propone lentes de policarbonato)

- Vestir ropa que cubra la mayor cantidad de piel posible. Materiales de tejido denso ofrecerán mayor protección como bloqueo físico a los rayos.
- Si se suda abundantemente, se puede reaplicar filtro más a menudo. Adicionalmente, cuando la ropa esta mojada, esta pierde algunas de sus habilidades para bloquear los rayos solares. Asegúrese de tener ropa seca adicional, si es necesario.
- Tratar de encontrar áreas de sombra para las horas de alimentación.
- Vestir un casco de seguridad de ala ancha diseñado para proteger su cara y cuello del sol. Adicionar un protector de reflejo bajo la parte superior del casco que ayudara a reducir la reflectividad de los rayos UV.



FIG. A.01. Equipos de protección personal. a) Casco Ancho, b) Protector de reflejo.

FUENTE Marks, 2003.

- Examinar la piel regularmente de cualquier cambio inusual. El más importante signo de advertencia para el cáncer de piel es un lunar que cambie de tamaño, forma o color. Los signos peligrosos incluyen cualquier lesión que no cicatrice adecuadamente. Estar particularmente atento a cualquier crecimiento de lunares o convertirse en formas irregulares, especialmente si es multicolor. Si cualquier cosa inusual es observada, ver a un doctor tan pronto como sea posible. Cáncer de piel detectado tempranamente puede ser curado.

A.1.4 Medidas que deben adoptar los empleadores.

- Proveer a los trabajadores de un filtro solar de amplio espectro con un SPF de 15 o superior.
- Asegurar de adecuadas áreas sombreadas para los trabajadores en sus horas de descanso y comida.
- Si es posible, rotar a los trabajadores que estén en áreas de trabajo cubierto.
- Educar a los trabajadores sobre los peligros de la radiación UV.
- Asegurar que los trabajadores usen lentes que absorban la radiación UV.

A.2 LEGISLACIÓN VIGENTE PARA EL CONTROL DE EXPOSICIÓN EN EL USO DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.

A.2.1 Límites Permisibles.

Según el artículo N° 109 del Decreto Supremo N° 594 del 15 de septiembre de 1999, el límite permisible máximo para exposición ocupacional a radiaciones ultravioleta, dependerá de la región del espectro de acuerdo a las siguientes tablas:

Tiempo de Exposición	Densidad de Energía o de Potencia
Menor de 16 minutos	1 J/cm ²
Mayor de 16 minutos	1 mW/cm ²

TABLA A.02 Límites permisibles para piel y ojos. (Longitud de onda de 320 nm a 400nm).

FUENTE Decreto N° 594, 1999.

Tiempo de Exposición	Densidad de Potencia ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
8 Horas	0,1
4 Horas	0,2
2 Horas	0,4
1 Hora	0,8
30 Minutos	1,7
15 Minutos	3,3
10 Minutos	5,0
5 Minutos	10
1 Minuto	50
30 Segundos	100
10 Segundos	300
1 Segundo	3.000
0,5 Segundo	6.000
0,1 Segundo	30.000

TABLA A.03 Tiempo máximo de exposición permitido para piel y ojos.
(Longitud de onda de 200 nm a 315nm).

FUENTE Decreto N° 594, 1999

ANEXO B.
Cálculo de Incerteza.

B.1 ERRORES E INCERTEZAS

B.1.1 Generalidades

Ninguna medición es absolutamente exacta. En este sentido puede decirse que ninguna medición será totalmente cierta debido a las limitaciones instrumentales y humanas. Para poder acotar la validez de una medición debe conocerse algo acerca de los probables errores e incertezas involucrados en el proceso de medición. En general, dichos valores están provocados por el sistema que componen el fenómeno a medir, el instrumento utilizado y el experimentador.

Por errores entendemos que son aquellas “equivocaciones” que se comenten durante el desarrollo del experimento y que pueden ser corregidas. Por ejemplo, equivocaciones en los cálculos o que el observador tenga problemas de visión. Las incertezas, en cambio, son todos aquellos factores que intervienen en el proceso de medición, ya sean pertenecientes al fenómeno, al instrumento o al observador, y que no son posibles de eliminar del proceso.

Esto fija en la medición tomada una cota de valores en los cuales se puede “asegurar” su validez. Los factores que producen incertezas en la medición pueden ser: paralaje en la medición, fluctuaciones de las condiciones del entorno (por ejemplo las condiciones climáticas), sensibilidad, calibración, repetibilidad, ruido, inercia, clase, escala y apreciación del instrumento, entre otros.

Cuanto mejor controladas estén estas variables, mejor y más fiables serán las mediciones.

B.1.1 Ejemplo de cálculo de incertezas para reflectancia.

A continuación se presenta el procedimiento por el cual se encontraron las incertezas asociadas a cada medición, durante la realización del presente trabajo de tesis.

Si se toma un grupo de valores, en este caso los valores obtenidos de radiación incidente y reflejada para la radiación UV-B con un ángulo de incidencia de 60° se tiene.







Ángulo = 60° - Cara RM			
Muestra	Radiación Incidente (W/m ²)	Radiación Reflejada (W/m ²)	Rr/Ri*100 (%)
 DIRM-a	3,782	0,091	2,402
 DIRM-b	3,606	0,085	2,370
 DIRM-c	3,706	0,100	2,700
 DIRM-d	3,755	0,116	3,093
 DIRM-e	3,797	0,107	2,812
 DIRM-f	3,768	0,106	2,825

TABLA. B.01 Resumen resultados reflectancia UV-B, para dosificación D1.
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

A continuación haciendo uso de planillas Excel se calcula el promedio y desviación Standard de la columna radiación incidente y reflejada, con lo que se obtiene la siguiente tabla.

Promedio	3,74	0,10
Desv. Standard	0,07	0,01

TABLA. B.02 Promedio y desviación Standard R. incidente y reflejada
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Posteriormente se procede a calcular la reflectancia y el error asociado de la siguiente forma.

$$\left(\frac{x \pm \Delta x}{y \pm \Delta y} \right) = \frac{x}{y} \pm \frac{x}{y} \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x} \right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y} \right)^2}$$

Donde $x \pm \Delta x$ corresponde al promedio de la radiación reflejada y su desviación standard e $y \pm \Delta y$ corresponde al promedio de la radiación incidente y su desviación standard. Reemplazando en la ecuación de división que es la que corresponde para el cálculo de la reflectancia se obtiene lo siguiente:

Reflectancia	0,027	2,7
Error asociado	0,003	0,3

TABLA. B.03 Resultado de reflectancia y su incerteza
FUENTE. Elaboración propia, 2004.

Que equivale a decir que la reflectancia de la radiación UV-B con un ángulo de incidencia de 60° sobre una cara rugosa es $2,7 \pm 0,3\%$