

**OBTENCIÓN DE MAPAS 2.5D MEDIANTE RTI  
(REFLECTANCE TRANSFORMATION IMAGING)  
PARA SU APLICACIÓN EN EL PATRIMONIO  
ESCULTÓRICO, ARQUEOLÓGICO,  
ARQUITECTÓNICO Y URBANO**

AUTOR:  
TUTOR:  
COTUTORES:

ARTZAI ELORZA ARANA  
JUAN JOSÉ FERNÁNDEZ  
JORGE GARCÍA FERNÁNDEZ  
JOSÉ MARTÍNEZ RUBIO



*Primeramente, agradecer a mi madre Lucrecia Arana Udaondo por haberme transmitido, mediante su ejemplo, la fuerza de voluntad, la paciencia y la capacidad para escuchar y reflexionar sobre todo aquello que se nos enseña.*

*Agradecer a Silvia López Ramajo por la escucha continuada de las nuevas ideas viables y no viables para el desarrollo de este proyecto y las nuevas líneas de investigación.*

*Agradecer a los tutores y cotutores Juan José Fernández, José Martínez Rubio, Jorge García Fernández, y miembros de LFA (Laboratorio de Fotogrametría Arquitectónica de la Universidad de Valladolid) David Marcos, Luis Antonio García, Jesús San José Alonso, Pako Morillo, etc. por la ayuda ofrecida cuando se ha requerido y haberme hecho sentir la investigación como una nueva forma de vida.*

*Y finalmente, agradecer a Hugo Pires por facilitarme el modelo 3D de la Piedra Rapada para generar imágenes RTI y permitirme colaborar en la investigación de nuevos métodos para interpretación de la arqueología (RTI-DPh / MRM)*

# ÍNDICE

Obtención de mapas 2.5D mediante RTI (Reflectance Transformation Imaging) para su aplicación en el Patrimonio Escultórico, Arqueológico, Arquitectónico y Urbano. ....	5
1. Capítulo I: Marco Teórico Conceptual de las RTI en Patrimonio Cultural.....	10
1.1 - Patrimonio Cultural .....	10
1.2 La Digitalización 3D en la documentación del Patrimonio Cultural: Método Shape From Photometry.....	12
1.3 Particularización de Shape From Photometry .....	17
1.4 Análisis Crítico del Flujo Clásico de Trabajo para las RTI.....	28
2. Capítulo II: Propuesta Nuevo Flujo de Trabajo RTI-DPh.....	31
2.1 Definición del Nuevo Flujo de Trabajo.....	31
2.2 Análisis en detalle del flujo.....	32
2.2.1 Patrimonio Cultural.....	32
2.2.2 Documentación .....	32
2.2.3 Procesamiento de datos .....	37
2.2.4 Crear Envolvente y Estimular luces para generar RTI.....	41
2.2.5 Mapa 2.5D.....	43
2.2.6 Visualización.....	44
3. Capítulo III: Estudio Práctico de las RTI en casos reales .....	45
3.1 Automatización de la Envolvente Virtual .....	45
3.2 Comparativa del LP y reconocimiento HighLight por RTIBuilder .....	53
3.3 Casos de Estudio .....	59
3.3.1 Primera Escala: Placa Gladiador .....	59
3.3.2 Segunda Escala: Rapada (Hugo Pires) .....	60
3.3.3 Tercera Escala: Marte .....	61

4. Capítulo IV: Conclusiones e Investigación a Futuro.....	62
4.1 Conclusiones .....	62
4.2 Investigación a Futuro.....	63
5. BIBLIOGRAFÍA .....	64
6. Anexos .....	81
6.1 Anexo1: Código del Programa <i>LaboratoioVirtual</i> .....	81
6.1.1 Menú Principal.....	81
6.1.2 Uso Básico .....	81
6.1.3 Uso Avanzado .....	85
6.2 Anexo2: Ejemplo Archivos Light Position (*.lp) y MaxScript (*.ms) .....	91
6.2.1 Light Position (*.lp) .....	91
6.2.2 Luces MaxScript (*.ms).....	91
6.2.3 Procesado MaxScript (*.ms).....	92
6.3 Anexo3: Tabla Datos y Gráficos (3.2 Comparativa del LP y reconocimiento HighLight)	93

# **Obtención de mapas 2.5D mediante RTI (Reflectance Transformation Imaging) para su aplicación en el Patrimonio Escultórico, Arqueológico, Arquitectónico y Urbano.**

*Autor: Artzai Elorza Arana*

*Tutor: Juan José Fernández*

*Cotutores: Jorge García Fernández*

*José Martínez Rubio*

## **Problema:**

La evaluación de superficies de mínima variación de cota en Patrimonio Cultural resulta un elemento fundamental en las labores de interpretación y diagnóstico del mismo. A ellos se suman las limitaciones de profundidad del ojo humano (determinada por la estructura rígida de nuestra visión estereo; de colores etc.) y de aplicaciones informáticas para el análisis de superficies con estas características.

## **Hipótesis:**

Las imágenes interactivas 2.5D basadas en RTI permite generar modelos para la identificación de variación de normales, que apuntan a una visualización profunda en superficies de las características de mínima variación de cota. La propuesta de un nuevo flujo de trabajo que idealice la estimulación lumínica sobre superficies digitalizadas en el proceso de generación RTI añadirá la independencia en las escalas de trabajo.

## **Objetivo general:**

Generar un nuevo flujo de trabajo basado en la virtualización del procesamiento para la obtención de Mapas 2.5D mediante RTI (Reflectance Transformation Imaging) con independencia de la escala y su aplicación en el Patrimonio Escultórico, Arqueológico, Arquitectónico y Arquitectónico-Urbano.

## Objetivos específicos:

- Definir el marco teórico conceptual que soporta la reconstrucción geométrica a partir de las propiedades de reflectancia de las superficies (imágenes RTI).
- Establecer los sistemas de reconstrucción tridimensional que más se ajustan a las condiciones de las tres escalas planteadas (corto, medio y largo alcance).
- Desarrollar un nuevo flujo de trabajo basado en la virtualización del procedimiento;
  - Describir los diferentes Modos de Renderizado para RTI.
  - Evaluar la idoneidad de las posiciones de las luces para la Envolverte Virtual y el número de fotografías.
  - Automatizar la generación de la Envolverte Virtual y el procesado de la estimulación lumínica.
  - Estudiar el reconocimiento automático del Highlight.
  - Estudiar y analizar la mejora del uso del archivo Light Position.
- Comparativa RTIBuilder mediante LP y Reconocimiento Highlight.
- Validar el nuevo proceso mediante casos de estudio reales.

## Resumen:

Desde los orígenes, el ser humano ha tratado de encontrar métodos que mejoren o posibiliten alcanzar objetivos que el cuerpo humano es incapaz. Aunque éste es altamente complejo, no es perfecto y el ojo humano es limitado en términos de profundidad (visión estereo) y color. Por ello se crea el método de trabajo conocido como Flujo Clásico para RTI, que posibilita extraer información oculta de objetos con mínima variación de cota.

1. Realidad	Objeto
2. Toma de Fotos	Domo con Luces en determinadas posiciones y Cámara Cenital
3. Generación PTM	RTIBuilder (X, Y, Normal Vector)
4. Visor	RTIViewer (SnapShot)

Este flujo de trabajo parte de un objeto de tamaño pequeño. Al cual se le aplica, junto a un par de esferas reflectivas, una serie de fotografías mediante una cámara cenital y diferentes posiciones de proyección de luz inscritas en un Domo geométrico para mantener las equidistancias a la superficie de análisis.

Tras ello se pasa al trabajo en ordenador donde se genera un archivo de superficies de normales (\*.ptm o \*.hsh) mediante los algoritmos de Polynomial Texture Mapping o Hemispherical Harmonics en RTIBuilder. El cual puede ser analizado mediante el Visor que presenta el RTIViewer.

Este Flujo de Trabajo Clásico no puede afrontar factores como la luz natural que transforma las direcciones de la proyección de la iluminación, o las dimensiones del objeto/edificación/terreno a trabajar. Es por ello que se propone el Nuevo Flujo de Trabajo RTI-DPh, la virtualización del Clásico Flujo de Trabajo RTI.

#### **Patrimonio – Documentación – Revelado – Crear Envolverte y Estimulación de Luces – Mapa 2.5D – Visualización**

Los especialistas en Patrimonio Cultural tienen la necesidad de extraer información oculta en el Patrimonio Escultórico, Arqueológico, Arquitectónico y Urbano para el estudio y la comprensión de la sociedad histórica y actual, tratando el sujeto mediante el Nuevo Flujo.

Para la documentación del sujeto se debe generar un modelo3D mediante la Fotogrametría Digital o Fotogrametría Láser (Escáner Láser). El tratamiento lumínico automático en el Laboratorio Virtual (3ds Max) del modelo3D del sujeto se crea mediante una envolvente virtual de geometría conocida. Para la generación de esta geometría y su introducción en el laboratorio virtual se desarrolla una aplicación que genera los archivos con características de comando y posición de luces. Se procede al procesamiento de los renders del tratamiento lumínico.

Una vez generados los Renders del tratamiento lumínico se procede a la creación del Mapa2.5D (imagen RTI) mediante los algoritmos PTM o HSH y se visualiza mediante diferentes modos de renderizado que ofrece el visor.



*Ilustración 1: Fotografía de la Piedra Rapada*

*Digitalización del objeto realizado por Hugo Pires*



*Ilustración 2: Imagen RTI de la Piedra Rapada*

*Digitalización del objeto realizado por Hugo Pires*



### **Investigación a futuro:**

El Nuevo Flujo de Trabajo RTI-DPh abre un nuevo campo de trabajo, y con ello nuevas investigaciones a futuro:

- 1) Continuar la investigación en la geometría de la envolvente
- 2) Generar de una Visualización RTIViewer de un modelo 3D
- 3) Vectorizar las imágenes RTI
- 4) Evitar el punto débil en la generación de la Malla (Escáner – Fotogrametría)
- 5) Mejorar difusión de la visualización del RTI

### **KEYWORDS**

Patrimonio

Cultural Heritage

RTI-DPh

Shape From Photometry

Documentación

Fotogrametría

RTI

Mapa 2.5D

Interpretación

Envolvente Virtual

# 1. Capítulo I: Marco Teórico Conceptual de las RTI en Patrimonio Cultural

## 1.1 - Patrimonio Cultural

Partiendo del análisis etimológico de la palabra Patrimonio en el idioma Español, Italiano, Francés, Euskera e Inglés, con los términos Patrimonio para el Español e Italiano, Patrimoine para el Francés, Ondare para el Euskera y Heritage para el Inglés.

*Patrimonio, ESP. e ITA. Patrimoine FR. del Latín Patrimonium (Del padre).*

*Ondare, EUSK. del Latín Fundus (Fondo, Raíces).*

*Heritage, ENG. Del Latín Hereditare (Herencia).*

Se podría decir que este concepto surgió en la Antigua Roma. Pues, no solo estas palabras provienen del Latín, sino que el Euskera habiendo coexistido con éste idioma, probablemente, tuvo que acoger una palabra Latina para poder dar significado a la relación Intergeneracional, a lo que proviene del padre, a la herencia. No siendo necesaria que ésta tenga una connotación económica sino más bien espiritual. Es decir, a las raíces de una persona o a las raíces de una sociedad concreta.

En definitiva, el Patrimonio Cultural es la herencia de las creaciones, materiales o inmateriales, de un pueblo a lo largo de su Historia. Asignando así una identidad social o cultural, a las generaciones presentes y futuras.

Debido a la transformación de la sociedad surgen cambios en la Cultura Social. Siendo este motivo junto con el deterioro por causas tradicionales, los principales factores de alteración y destrucción del Patrimonio Cultural. Por ello, hoy en día, la sociedad se ve en la obligación de tratar con el Patrimonio Cultural. Pues, es éste el lazo que teje la tela de las relaciones Intergeneracionales.

El Patrimonio Cultural puede ser dividido en dos grupo de estudios; Grupo de Estudio Social y Grupo de Estudio Técnico.

El Grupo Social está orientado al estudio del Patrimonio Cultural que difundiendo tiene como objetivos la educación, la sensibilización, el cambio de actitud cultural, las industrias turísticas y el entretenimiento del ciudadano no especializado. El Grupo Técnico, en cambio, se dedica a la interpretación de la información, al análisis de la estructura, al estudio histórico... del sujeto a analizar. Para la buena consecución de los objetivos de los dos grupos es necesaria la ayuda de una serie de técnicas que tienen como base la Geomática (véase “1.2 La Digitalización 3D en la documentación del Patrimonio Cultural: Método Shape From Photometry”)

El peso del Patrimonio tiene costumbre a caer sobre los hombros del Grupo Técnico que se encarga de analizar la estructura, realizar un estudio histórico y de interpretar la información que presenta. Pero en muchos casos la información está oculta y no es fácil de interpretar a simple vista, por ello el Grupo Técnico se apoya sobre la Geomática que dispone una serie de métodos para la interpretación correcta de la información del Patrimonio.

El ciclo clásico unidireccional formado por *Patrimonio Cultural – Grupo Técnico – Grupo Social – Patrimonio Cultural* describía una única manera de tratar el Patrimonio Cultural. Es decir, el Patrimonio Cultural existe. Lo descubre el Grupo Técnico. El Grupo Social lo difunde para la educación, entretenimiento, sensibilización... de la sociedad que será quien vuelva a iniciar el flujo, generando nuevo Patrimonio Cultural.

Por ello se dice que la integración de la Geomática actualiza este flujo, relacionando bidireccionalmente entre el *Grupo Social* y el *Grupo Técnico*.

## **1.2 La Digitalización 3D en la documentación del Patrimonio Cultural: Método Shape From Photometry**

El uso de los principios de la Digitalización 3D es el más adecuado para la reconstrucción y la documentación del Patrimonio Cultural. Este método permite la generación en tres dimensiones de objetos o estructuras, facilitando así su documentación para la difusión, restauración, etc. Habiendo generado un modelo 3D es posible acceder virtualmente a ese monumento u objeto extrayendo de él cualquier información que fuera necesaria (alzados, secciones...).

Por ello cada sistema de Digitalización tiene una serie de criterios a tener en cuenta.

1. Coste
2. Material del sujeto a digitalizar
3. Tamaño del sujeto a digitalizar
4. Portabilidad del equipamiento
5. Precisión del sistema
6. Adquisición de la textura
7. Productividad de la técnica
8. Conocimientos requeridos
9. Cumplimiento de las normas de los datos producidos

Para el caso de la digitalización 3D, a continuación se describen algunas de las técnicas más utilizadas en el campo del Patrimonio Cultural:

- **Laser scanning techniques** - Es una técnica que puede ser aplicada para tamaños pequeños, medianos o grandes. Se basa en una fuente láser y un detector óptico. La fuente láser emite luz en la forma de una línea o un patrón, sobre una superficie de objetos, que el detector óptico detecta. Por la aplicación del principio de triangulación el sistema es capaz de extraer la geometría de los objetos.

La ventaja del uso de fuente láser es debida a su alta luminosidad y facilidad de centrado en largas distancias. Hay que subrayar que la mayor ventaja del láser escáner es su alta precisión en la medida de geometrías. Se debe prestar una atención especial para superficies con propiedades específicas, como la reflexión y la transparencia, que pueden tener una incidencia directa en la calidad de la medida del láser. Otro aspecto importante es el alto coste que todavía tienen estos dispositivos, que hace que este método útil para aplicaciones específicas. Finalmente, la productividad del método, así como la portabilidad, depende del sistema utilizado y pueden variar significativamente

- **Shape from Structured Light** – Este método puede ser aplicado en tamaños pequeños. Se basa en proyectar un patrón específico sobre la superficie de un objeto y así obtener información geométrica del objeto extraída de la deformación del patrón. Éste método también tiene como base el principio de triangulación pero no es necesario el uso de fuente láser para ello. Este sistema funciona proyectando un patrón de luz específico que cubre por completo (o cuasi completo) la superficie del objeto. Siendo esta escena capturada por un detector de imagen digital y procesada con el fin de deducir la geometría por medio de la deformación del patrón en la imagen digital. Los patrones a utilizar pueden ser simples o múltiples franjas de diferentes colores o patrones complejos con curvas, con tiempo o espacio codificado. Este método está acompañado de adquisición de textura, llevando a resultados impresionantemente precisos y productivos.

- **Shape from Silhouette** – . Idea originaria de 1960 llamada Photo-Sculpturing. Está basada en la múltiple captura de fotografías desde diferentes puntos de vista, obteniendo así una deducida geometría desde la silueta del objeto. Utiliza la información de la textura para corregir o mejorar la geometría con resultados interesantes. Éste es una técnica con proceso automatizado con alta productividad y bajo coste. Sus ventajas principales son la portabilidad, la facilidad en su uso y la posibilidad de captura de geometría y textura del sujeto. Sin embargo, su desventaja principal es la mediana-baja resolución que ofrece en mediciones de geometría.

- **Shape from Stereo** – Se basa en la máxima obtención de información geométrica de un par de fotografías tomadas con ángulos y distancias conocidas. Cuando ciertas partes del objeto son visibles en la escena para ambas fotografías, una serie de algoritmos extraen esa geometría. Obteniendo, finalmente, un mapa de profundidad del objeto en la escena. Sus ventajas y desventajas principales, tal y como en Shape from Silhouette, es la capacidad de capturar información de geometría y textura, su bajo coste y la portabilidad; y, su baja resolución, respectivamente. Éste sistema es una simulación del sistema de visión humano. Por ello está siendo aplicado en la robótica o visión computada.

- **Shape from Video** - Esta técnica es una variante del Shape from Stereo, sustituyendo las cámaras fotográficas, en posiciones conocidas con ángulos conocidos, por una cámara de vídeo que captura una secuencia de imágenes desde diferentes puntos. El algoritmo que emplea es similar al de Shape from Stereo, siendo sensible al ruido de la secuencia del vídeo. Un punto clave en el proceso es la identificación de los puntos en común entre las diferentes imágenes y el registro de estos puntos en una escena 3D virtual. Los resultados son a veces ambiguos debido al hecho de que no hay conocimiento previo acerca de la posición de la cámara o de los objetos. Su ventaja principal es el bajo costo, su portabilidad y la capacidad de capturar tanto la textura y la geometría. Una desventaja importante es la baja resolución en la captura de la geometría.

- **Shape from Shading** – Actualmente el uso de este método se centra en sujetos manejables o de pequeño tamaño. Se basa en la percepción de profundidades jugando con el sombreado. Para ello requiere de capturas de un objeto desde un punto de vista.

- **Shape from Texture** – La textura puede ser una fuente de información para la superficie de geometría. El cálculo de formas primitivas 3D sobre una superficie se puede hacer si existe algún conocimiento previo sobre la textura de la superficie. El sistema visual humano puede identificar fácilmente geometría de la superficie cuando la textura de la

superficie es homogénea. Por lo tanto, la idea es identificar pequeños elementos de textura de estructuración (Texels) y para encontrar sus posibles transformaciones con el fin de reproducir toda la superficie de un objeto. Estas transformaciones identificados se utilizan entonces para extraer la geometría real de la superficie 3D. El método es más fotográfico, simple y de bajo costo, pero tiene aplicaciones limitadas (como la captura de tela o de piel humana). Es portátil y fácil de usar. Pero, tiene baja precisión.

- **Shape from Photometry** – Se utiliza para objetos de tamaño pequeño. Es una variante del Shape from Shading. Pues muestra fotos de un objeto desde un punto de vista fijo pero con variación en las condiciones de la iluminación. Las luces calibradas pueden mejorar significativamente el resultado del método. En general, puede ser considerado como portátil, de bajo coste y fácil de usar. Pero su desventaja principal es su actual necesidad de un entorno de laboratorio.

- **Shape from Focus** – Pues se basa en tomar fotos de un objeto ajustando continuamente el plano de enfoque, porque conociendo la posición del plano de enfoque se pueden mapear los píxeles enfocados en una imagen en la posición correcta del mapa de profundidad 3D. El sistema reconstruye foto a foto la geometría del objeto por completo. Su precisión es limitada pues el hecho de que para poder tomar fotos con una profundidad de campo que se puede necesitar una lente muy especial, siendo una de las principales aplicaciones el uso de los microscopios. El costo es relativamente alto, pero el método es simple y fácil de aplicar.

- **Shape from Shadow** – Orientado para la reconstrucción 3D de un objeto de dimensiones pequeñas mediante la explotación de la deformación de la sombra de un objeto conocido que se proyecta sobre la superficie del objeto a digitalizar, cuando la luz se está moviendo. Su principio es una variante de la técnica de luz estructurada, que tiene como ventaja su bajo coste y la simplicidad de cálculo.

- **Contact Systems** – La aplicación de este sistema requiere poder estar en contacto con el objeto, siendo ésta una de las desventajas principales. Sin embargo, proporciona una precisión muy alta. Puede operar de manera autónoma o manual pues es un sistema de digitalización que utiliza láseres montados en una especie de brazo con un alto grado de libertad, llevando mediante su sistema de posicionamiento interno información de la geometría para el software de control. Estos sistemas son generalmente llamados máquinas coordinadas de medición (CMM).

- **Empirical techniques** – Es una técnica que permite ser usada en objetos de tamaño pequeño, mediano y grande. Ya que las medidas son tomadas a mano de puntos característicos del objeto. Es un método sencillo, productivo, portátil y de bajo costo. Pero es de poca precisión y exigente en términos de tiempo de presencia física cerca del monumento. Su perfecto caso de uso es en un monumento de forma simple, o si existe la necesidad de la grabación de un plan o secciones de interiores.

- **Topographic techniques** – Se trata de una técnica que puede ser usada en las 3 escalas se vienen mencionando (grande, mediano, pequeño). Implementa un sistema de coordenadas ortogonales en 3D mediante el uso de dispositivos complicados y de medición de alta precisión. Principalmente, este método utiliza una estación total, un sistema para la medición de ángulos y distancias de puntos característicos en la superficie del monumento, que se transforman aún más a las coordenadas en referencia al sistema de coordenadas ortogonales inicial. La principal ventaja del método es su alta precisión y objetividad de las mediciones. Es fiable y es fácil de procesar sus resultados. Una desventaja es la necesidad de la presencia física de largo cerca del monumento, pero es uno de los únicos métodos que se utilizarán en condiciones difíciles, tales como la forma del complejo y de difícil acceso. Se la conoce como ideal para la producción de modelos de alta precisión de escala 1:50.



### **1.3 Particularización de Shape From Photometry**

El Término de RTI, previamente llamado PTM, fue descubierto por Tom Malzbender y Dan Gelb. La tecnología RTI se usa potencialmente para la colaboración en el estudio técnico del Patrimonio Cultural debido a su eficiencia en la consecución de objetivos.

Es un método para adquirir las propiedades de la superficie de un objeto, principalmente, con características de mínima variación de cota (bajo relieve), esculturas, epigrafías,... gracias al comportamiento de reflectancia de material y la textura, ofrece unas mejoras perceptivas y cognitivas para su estudio. La extracción de información de superficies de bajo relieve o mínima variación de cota es posible por los sorprendentes cambios que genera cuando se cambia las condiciones de iluminación. Este tipo de métodos requieren la geometría y las propiedades del material del objeto.

Esta técnica, como otras técnicas de reiluminación, crea una imagen especial del objeto que codifica una función de reflectancia por pixel. Estas imágenes son llamadas imágenes RTI o PTM (Polynomial Texture Maps) generadas mediante diferentes condiciones de iluminación controlada.

La iluminación controlada se obtiene al trabajar la iluminación de la superficie con un Domo (semiesfera) que debe cumplir una serie de características:

- Debe tener una serie de luces incorporadas y espaciadas por el interior del domo y una cámara cenital fija. Todo esto a una distancia doble que el tamaño del eje máximo del objeto, que será paralelo al plano focal de la cámara cenital, siendo esto el radio del Domo.
- El material que compone el Domo debe generar una oscuridad máxima en su interior al cubrir el objeto, evitando la transformación por la luz no controlada.

- El tono del material que lo compone debe ser oscuro. Para absorber la luz que se proyecta, evitando posibles reflejos provocados por el Domo, ya que afectaría introduciendo una iluminación con dirección desconocida y confrontada, siendo invalidado el trabajo.

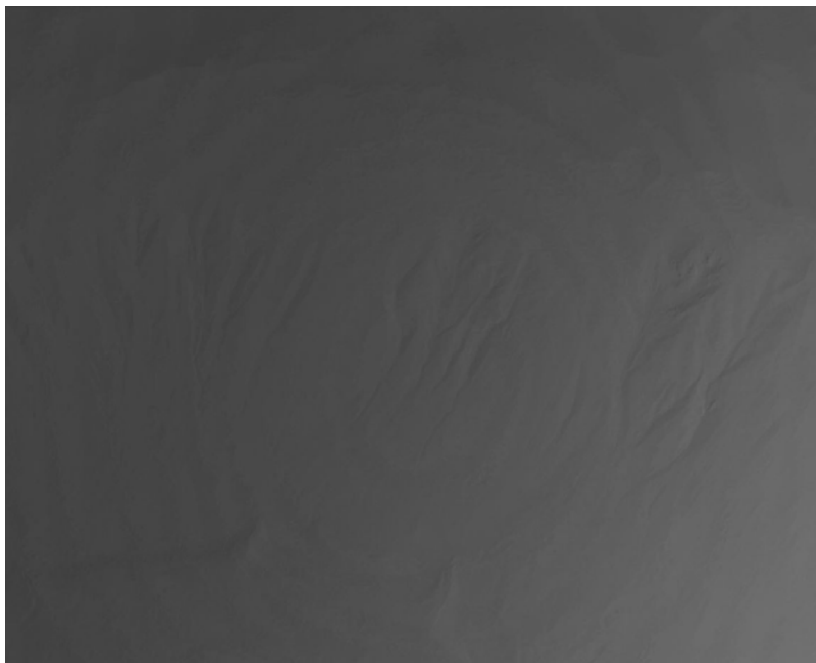
La técnica RTI permite guardar imágenes con información de color RGB y superficie de normales por cada píxel. Cada normal del punto que corresponde del objeto está codificada dentro de la imagen RTI y guarda el ángulo de reflectancia de la luz que viene desde cualquier dirección a este punto.

El motivo principal para el uso de los RTI es el tipo de visualización de efectos de iluminación interactivos que ofrece para tratar sobre el objeto, pues no solo es una tecnología de visualización para casos de documentación sino que permite analizar detalladamente superficies complejas de visualizar, es decir, superficies de bajo relieve, de mínima variación de cota, epigrafías, etc.

## ***MODOS DE RENDERIZADO BÁSICOS***

### ***Default -***

Presenta la imagen RTI sin realces



*Ilustración 3: Imagen RTI de Marte con modo renderizado Default*

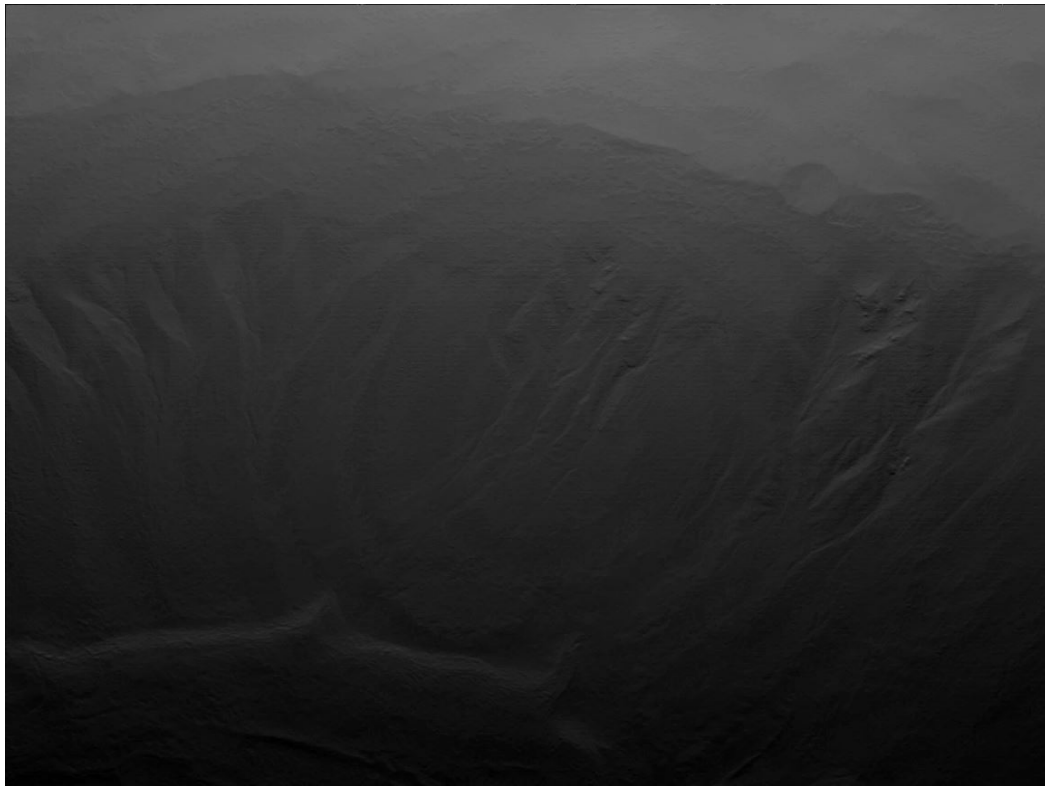
### ***Diffuse gain -***

Aumenta la representación de cambio de altura y profundidad en la superficie de los sujetos. Si un área de superficie tiene una secuencia rápidamente cambiante de direcciones normales que forman una depresión, esta función de realce profundiza la depresión al aumentar la tasa de cambio direccional de la pendiente de la superficie (segunda derivada).

Este modo mejora la percepción de las características de la forma superficial de la materia a efectos interpretativos. Aunque puede introducir un efecto secundario de falso color en algunas imágenes, perdiendo fiabilidad en la evaluación de los valores RGB en la imagen.

Parámetros:

Gain: ajusta la cantidad de realce.



*Ilustración 4: Imagen RTI de Marte con modo renderizado Diffuse gain (gain 39)*

### *Specular enhancement*

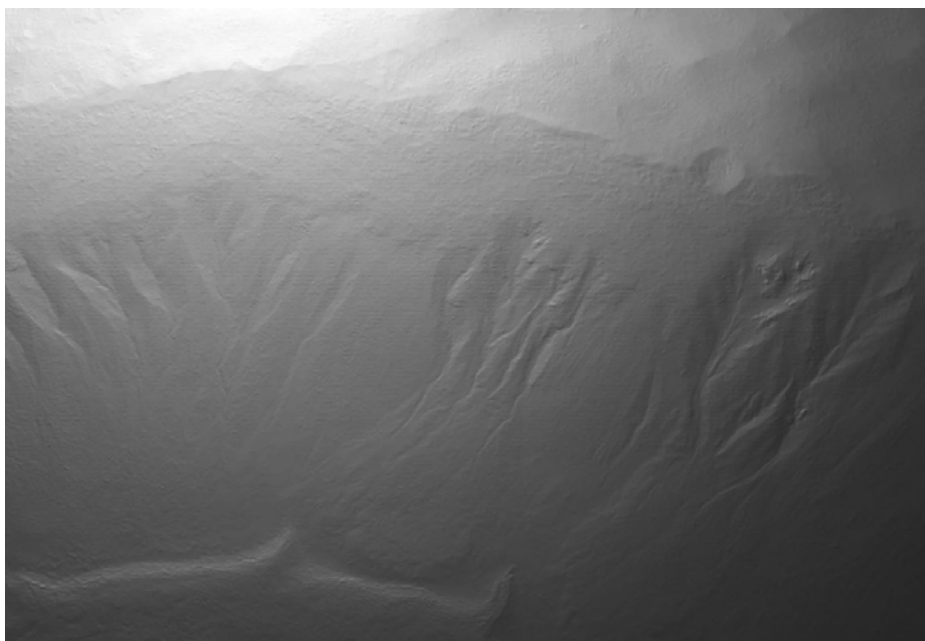
Los materiales tienen diferentes grados de brillo. Objetos Mate tienen grandes y suaves reflejos especulares mientras que los materiales muy suaves tienen pequeñas y agudas reflexiones especulares. Este algoritmo separa el color difuso RGB, la reflexión especular derivado de la forma de la superficie de la materia y el tamaño de los reflejos especulares. Este modo mejora la percepción de la forma de la superficie.

Los nombres de los parámetros se basan en variables en el algoritmo de equipo de representación, el modelo de reflexión de Phong.

Kd: ajusta el porcentaje de información difusa de color RGB usado en la representación. Cuando Kd está al 100% y Ks se encuentra en 0%, sólo color RGB difuso se renderiza.

Ks: ajusta el porcentaje de reflexión especular, que se derivan de la forma de la superficie de la materia y la reflexión de la luz desde cualquier dirección dada. Cuando Ks está al 100% y Kd es del 0%, sólo los efectos reflejan la luz de una dirección dada se representan.

N: Describe el tamaño del área abarcada por reflexiones especulares individuales. Un valor bajo de N produce una grande y suave reflexión, efecto mate. Un alto valor de N produce una pequeña y fuerte reflexión, efecto brillante. Cuando se utiliza la mejora especular en forma aislada de la información de color RGB, se puede reducir el valor de N para ampliar la zona de influencia de las reflexiones especulares, con el fin de iluminar toda la superficie. Esto puede ser útil cuando se compone una representación para la exportación de imágenes.



*Ilustración 5: Imagen RTI de Marte con modo renderizado Specular Enhancement (diffuse 20 / specular 93 / highlight 80)*

## ***SHARPENING MODES – MODO DE NITIDEZ***

Para la nitidez se le aplica una máscara de enfoque a los datos de imagen con el fin de mejorar los detalles de alta frecuencia y aumentar el contraste de los bordes de la imagen. Los algoritmos de nitidez buscan discontinuidades en los datos que normalmente indican bordes del objeto fotografiado. En una RTI, la máscara se puede aplicar a los datos normales, encontrando y haciendo hincapié en los cambios bruscos en profundidad así como de color.

RTIViewer ofrece algunas variaciones en el algoritmo de nitidez:

- La Imagen Máscara de enfoque aumenta el contraste de borde mediante la aplicación del factor de ganancia especificada a los datos de color de la imagen.
  
- La Máscara de enfoque normal aumenta el contraste de la superficie aplicando el factor de ganancia especificada a los datos de imagen normales, así como datos de color.
  
- La Máscara de luminancia de enfoque crea un efecto diferente, amplificando las discontinuidades de profundidad sin afectar al color, mediante la aplicación del factor de ganancia especificada únicamente a los datos normales.
  
- El Coeficiente de la Máscara de enfoque hace hincapié en las discontinuidades en la reflectividad, mediante la aplicación del factor de ganancia para cada coeficiente de la función de reflectancia.

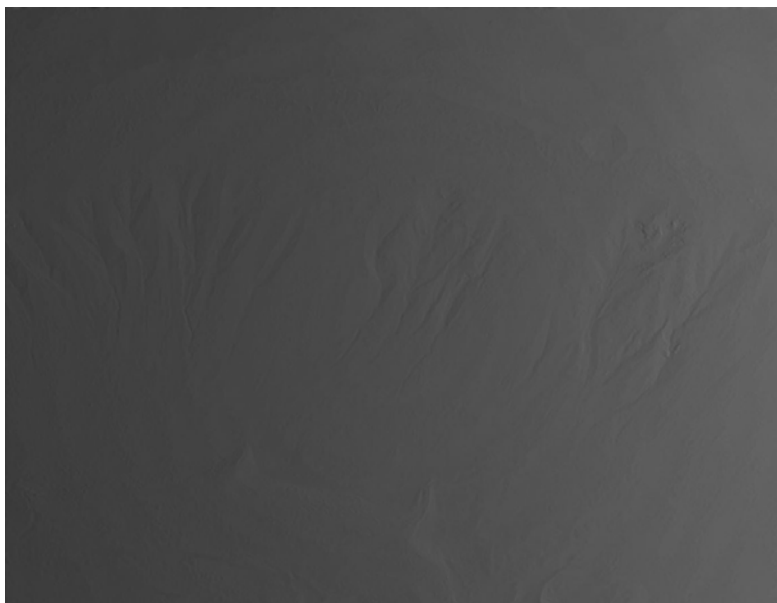
### ***Normal Unsharp Masking -***

Aplica una máscara de enfoque a las normales de la superficie.

#### Parámetros

Gain: Ajusta la cantidad de realce.

Medio ambiente: Ajusta la cantidad de luz indirecta.



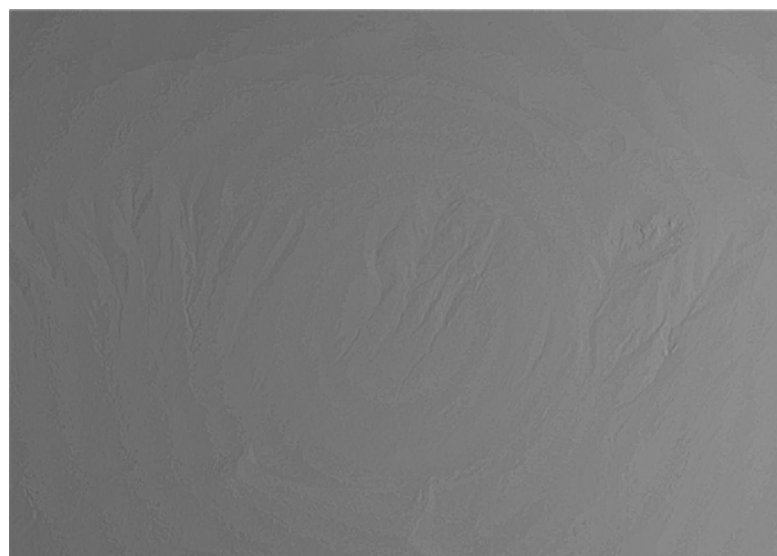
*Ilustración 6: Imagen RTI de Marte con modo renderizado Normal Unsharp Masking (gain 86 / environment 25)*

### ***Image Unsharp Masking -***

Aplica una máscara de enfoque al canal Y del color espacial YUV

#### Parámetros

Gain: Ajusta la cantidad de realce.



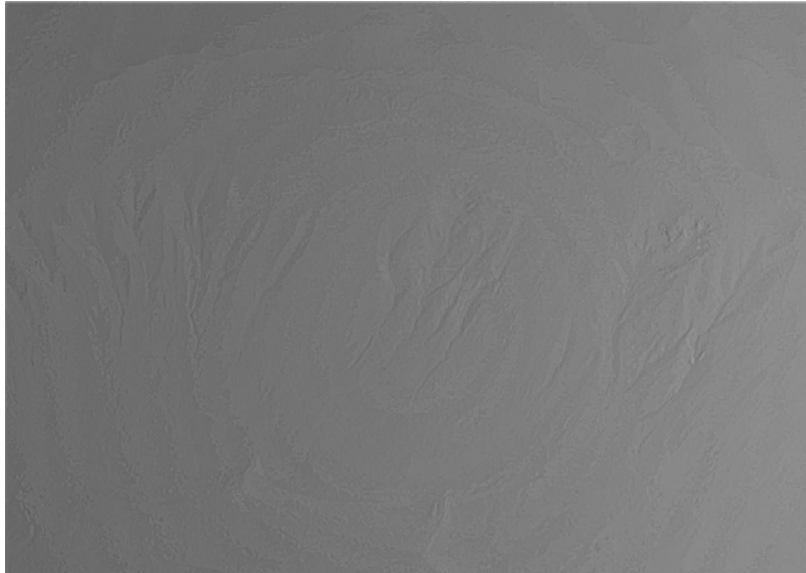
*Ilustración 7: Imagen RTI de Marte con modo renderizado Image Unsharp Masking (gain 86)*

### ***Luminance Unsharp Masking -***

Aplica una máscara de enfoque a la componente de luminancia de un PTM LRGB.  
No se permite aplicar a un archivo RGB simple, que no incluye datos de luminancia

#### Parámetros

Gain: Ajusta la cantidad de realce.



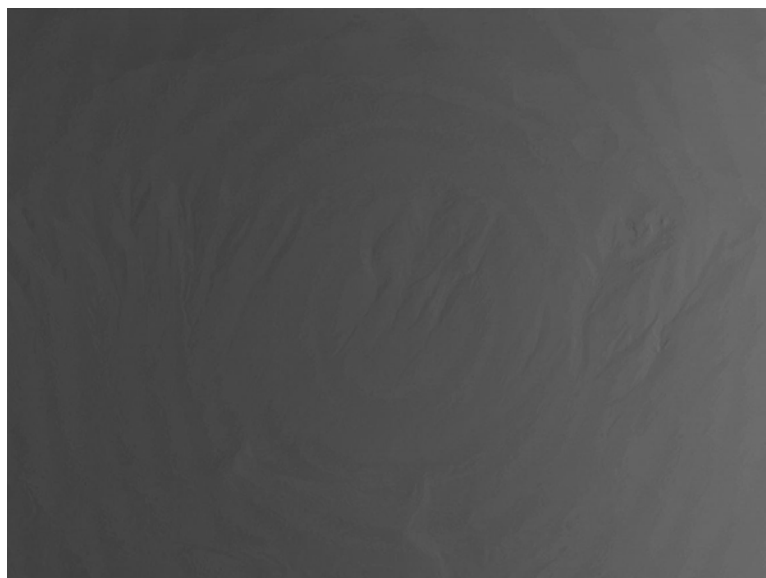
*Ilustración 8: Imagen RTI de Marte con modo renderizado Luminance Unsharp Mask (gain 31)*

### ***Coefficient Unsharp Masking -***

Aplica una máscara de enfoque al coeficiente de la polinomial del PTM.

#### Parámetros

Gain: Ajusta la cantidad de realce.



*Ilustración 9: Imagen RTI de Marte con modo renderizado Coefficient Unsharp Masking (gain 17)*

## ***MULTI-LIGHT ENHANCEMENT MODES – MODO DE REALCE MULTI-ILUMINACIÓN***

Los modos de mejora de la multi-iluminación escoge diferentes ángulos de iluminación para partes de una imagen con el fin de mejorar detalles de la superficie, la optimización de la nitidez y brillo. Cuando la luz baja para maximizar el contraste, hay zonas que se encuentran en la sombra y no muestran ningún detalle. Estos modos de representación pueden volver a agregar detalles a esas áreas por la elección de un ángulo de iluminación superior para ellos, sin necesidad de cambiar el ángulo de la iluminación en las áreas que ya están agudo. La vista resultante parece como si la luz venía desde varias direcciones, además de la fuente de luz virtual que usted ha elegido utilizar el regulador de la luz.

Para conseguir este efecto, el algoritmo divide la imagen en mosaicos, entonces, para cada mosaico, elige una dirección de la luz que maximiza una función de energía elegido. Se elige una dirección cercana, una luz que aumente el contraste local, con el fin de mejorar la mayor cantidad de detalles posibles en una sola vista.

La imagen se divide primero en un número inicial de mosaicos y la elección de los ángulos de iluminación para cada mosaico se ve limitada a estar dentro de un desplazamiento desde la dirección de la luz original, como se indica por el regulador de la luz especificada. El ángulo de iluminación óptima elegida para cada mosaico inicial, aunque luego influye en la elección de los ángulos cuando se subdivide esa ficha.

Existe un modo estático y un modo dinámico. El modo estático se le aplica la prestación que se ha elegido a la vista actual; no se puede cambiar la fuente de luz a partir de forma interactiva mientras se muestra este punto de vista. Este es un caso especial del modo dinámico, que está optimizado para producir un alto contraste, buena iluminación de la imagen estática, adecuada para la presentación independiente, impresión de alta calidad, y así sucesivamente. El modo dinámico automáticamente vuelve a aplicar la prestación a medida que cambia la fuente de luz a partir de forma interactiva, usando el regulador de la luz. Este modo permite un control más detallado, pero también puede producir artefactos visuales en los que hay grandes variaciones de iluminación a través de la imagen.



Estas figuras muestran una aplicación de representaciones múltiples de luz estática y dinámica a la misma porción de la misma imagen con el mismo ángulo de iluminación inicial.

### ***Multi-Light Enhancement Parameters***

Los dos modos de realce por multi-iluminación dispone numerosos parámetros que permite variar los efectos. Permite especificar el número y el tamaño de los mosaicos, la función de energía para maximizar y diversos factores en el algoritmo.

Los parámetros se ofrecen de forma ligeramente diferente para los dos modos, pero son esencialmente los mismos. El modo dinámico ofrece diferentes incumplimientos y más amplia gama de opciones (aunque esto significa, por supuesto, que los cálculos requieren más tiempo).

### ***Multi-Light Mode Parameters***

#### ***Local offset (Estático)***

#### ***Offset (Dinámico)***

Restringe el espacio de elección de las direcciones de luz adicionales para estar dentro de una desviación de la dirección de partida elegida en el regulador de la luz elegida.

Para el modo estático, se puede elegir entre los siguientes valores:

5 grados (9 muestras)

10 grados (25 muestras)

15 grados (49 muestras)

Para el modo dinámico, puede elegir cualquier valor entre 1 y 20 grados.

#### ***Tamaño de mosaico-baldosa (px)***

Para el modo Estático:

8 – 16 – 32

Para el modo Dinámico:

8 – 16 – 24 – 32

### ***Mosaicos iniciales***

Establece el número inicial de mosaicos para el modo estático. Esto limita la selección de direcciones de luz para evitar la prestación de imperfecciones.

Valores:

4 – 16 – 64

### ***Operador de Nitidez***

El método utilizado para calcular la nitidez de cada mosaico.

Valores:

Max Laplacian

Max Energy of Laplacian

L1 norm Sobel

L2 norm Sobel

### ***Muestreo de Iluminación***

Estrategia para seleccionar la dirección de las luces.

Valores:

Isotropic

Anisotropic

### ***K1 (Nitidez)(0-1)***

El valor de ponderación para el valor de nitidez. Valores de 0.0 a 1.0

### ***K2 (Nitidez)(0-1)***

El valor de ponderación para el valor de brillo. Valores de 0.0 a 1.0

### ***Umbral - Límite (0-1)***

Un factor que influye en la elección de candidatos a la dirección de la luz para cada mosaico. Valores de 0.0 a 1.0

### ***Filtro de Suavizado***

El tamaño de mosaico de un filtro que se utiliza para suavizar la luz de la dirección seleccionada en toda la imagen.

Valores:

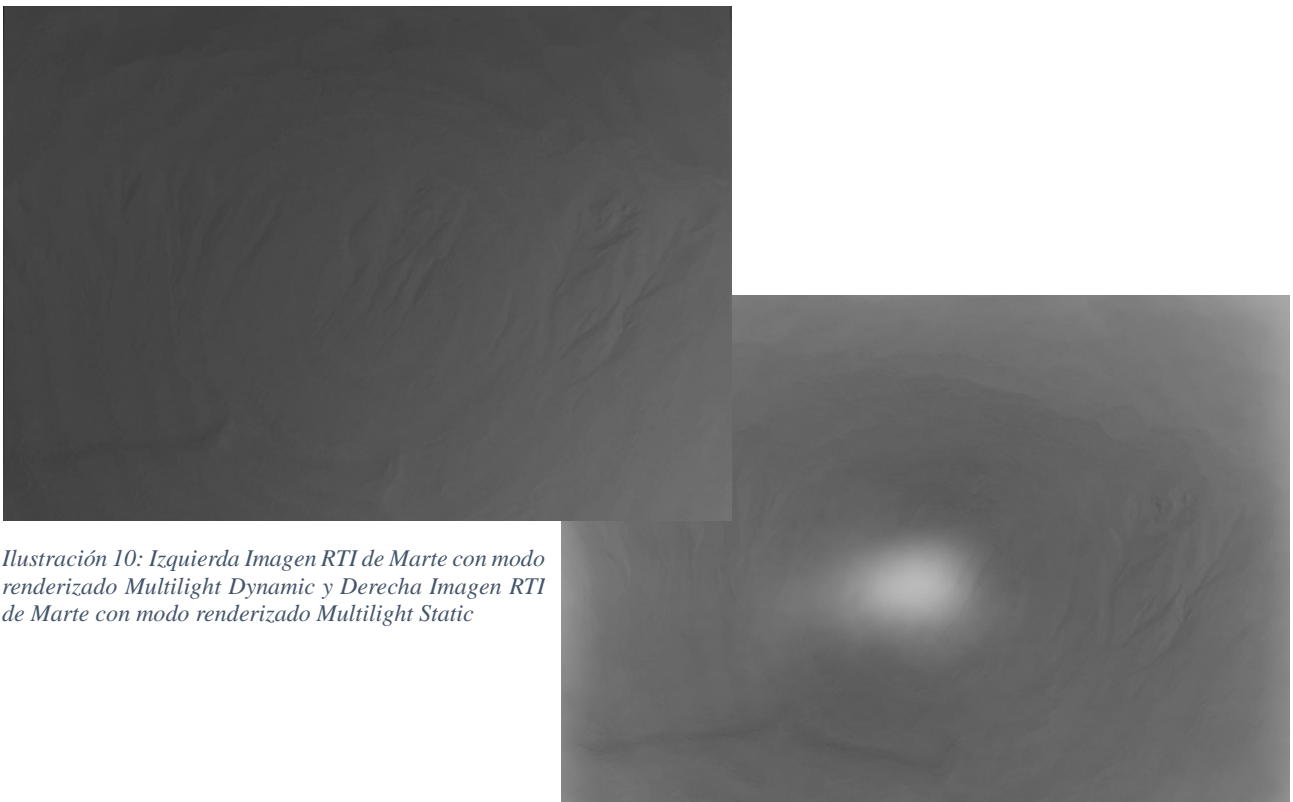
3x3

5x5

7x7

### ***N Iteraciones de Alisado***

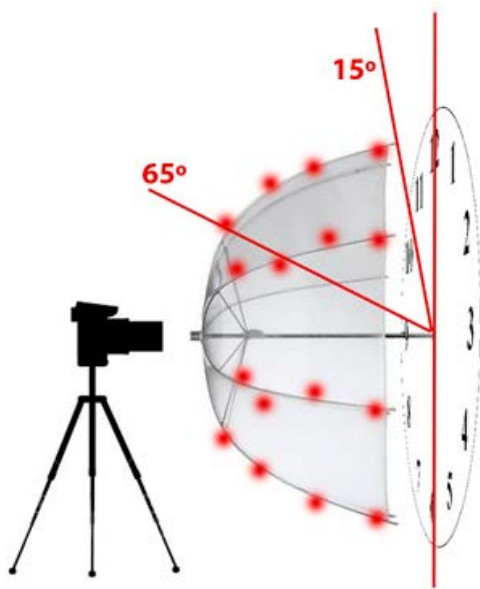
El número de veces que debe aplicarse el filtro de suavizado. Valores de 0 a 10.



*Ilustración 10: Izquierda Imagen RTI de Marte con modo renderizado Multilight Dynamic y Derecha Imagen RTI de Marte con modo renderizado Multilight Static*

## 1.4 Análisis Crítico del Flujo Clásico de Trabajo para las RTI

El Flujo Clásico de Trabajo para la generación de Imágenes RTI tiene una cierta semejanza con el ShapeFromPhotometry, ya que mediante una cámara fija captura imágenes de un objeto estimulado por una iluminación controlada. Se dice iluminación controlada aquella que permite controlar la luz proyectada e integra el concepto de evitar la iluminación no controlada que pueda alterar el tratamiento lumínico del objeto. Siendo necesario cubrir el objeto evitando la luz artificial no tratada (trabajo en laboratorio) o solar (trabajo de campo). Además, esa cubierta tendrá que ser de tono oscuro-negro absorbiendo la luz y evitando así la posible integración del reflejo de la luz provocado por la reflexión de la cubierta en el escenario.



*Ilustración 11: Representación del domo (envolvente). Izquierda posición gráfica de las luces y cámara. Derecha aspecto real del domo.*

El desconocimiento de la posición de las luces en la cubierta, generalmente llamada domo (envolvente) obliga la incorporación de bolas con características de reflexión especular. La reflexión especular retiene el color de la fuente de luz en un punto, a diferencia de la reflexión difusa que es vista como el color local del material debido a su dispersión por extenderse al entrar la luz en la superficie y salir con dirección aleatoria.



*Ilustración 12: Shiny ball. Integración de las bolas reflectivas en el escenario lumínico.*

Éste tipo de bolas tienen una reflexión especular provocada por el rebote de la luz de acuerdo a la regla del ángulo de incidencia que es igual al ángulo de reflexión. El color de la bola debe ser roja o negra, para que el highlight provocado por la fuente de luz sea más apreciable. Se ve el highlight de la shiny ball, o la reflexión especular de la fuente de luz, en el punto donde la superficie está en el ángulo necesario para reflejar desde la fuente de luz para el punto de vista. El incidente del rayo de luz en este punto llega a la superficie en un ángulo recto, y rebota directamente a la fuente de luz, pero no para el punto de vista. En un ámbito más destacado se ve siempre en algún lugar de la línea entre la punta hacia la fuente de luz y el centro visual de la esfera.

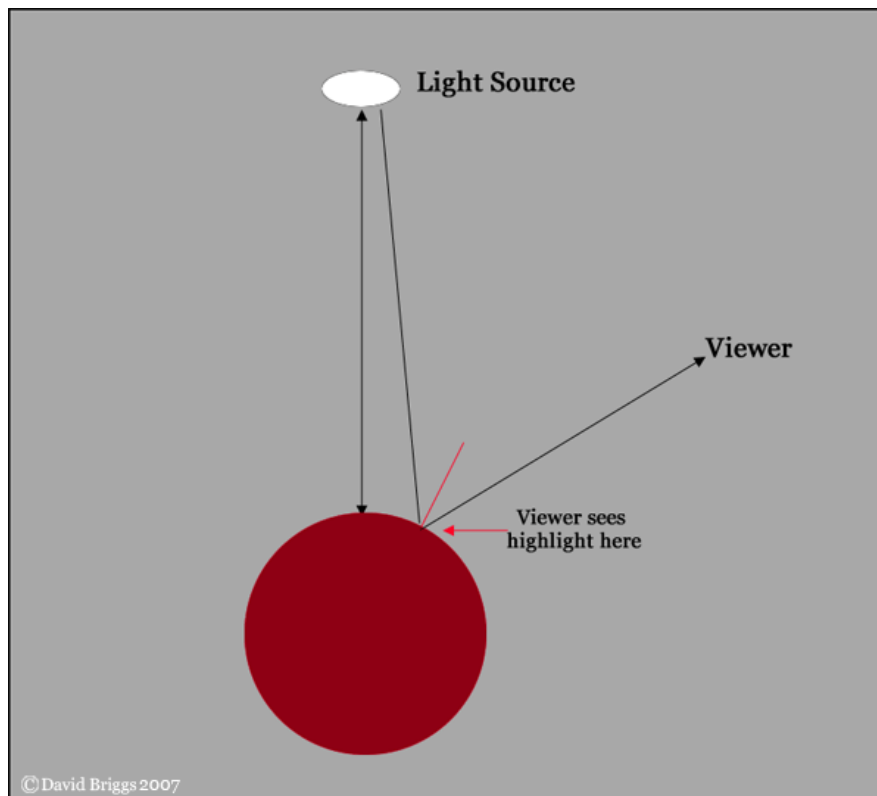


Ilustración 13: Representación gráfica del comportamiento de la reflexión de la luz en una bola reflectiva

Es natural que se esté considerando el Flujo Clásico de Trabajo para la obtención de Imágenes RTI como un método con muchas limitaciones. Estando una de ellas basada en la necesidad del uso de una cubierta con forma de geometría semiesférica, por los motivos previamente mencionados, hace que la cubierta marque el tamaño del objeto a tratar, es decir, privando de la conversión de imágenes RTI de objetos de tamaño medio y tamaño grande.

Otro motivo por el que se considera un flujo limitado, es el desconocimiento de la posición exacta de las luces en la cubierta con forma de geometría semiesférica. Por ello es necesaria la incorporación de unas bolas en el escenario. Permitiendo trabajar con el software RTIBuilder y su reconocimiento automático de los Highlight, que calcula algorítmicamente la posición de las luces (con poca precisión véase 3.2 Comparativa del LP y reconocimiento HighLight por RTIBuilder) al escenario de reiluminación.

## 2. Capítulo II: Propuesta Nuevo Flujo de Trabajo para la obtención y visualización de RTI-DPh

### 2.1 Definición del Nuevo Flujo de Trabajo

El Nuevo Flujo de Trabajo que se está proponiendo en este proyecto para la obtención de imágenes es el RTI-DPh que surge con la necesidad del uso de la Transformación de la Imagen por Reflectancia (RTI) en superficies o en objetos con tamaño medio o grande. Cuestionando el enfoque del Flujo Clásico y actualizándolo con su virtualización. Esta actualización posibilita el uso de un objeto de cualquier escala, el conocimiento con precisión de la posición de las luces en la envolvente, el tratamiento manual del objeto y luces... En resumen, posibilita el control total del escenario para la obtención de imágenes RTI.

La estructura para generar imágenes RTI-DPh es:



Ilustración 14: Flujo de Trabajo RTI-DPh

***Patrimonio – Documentación – Revelado – Crear Envolvente + Estimulación de Luces – Mapa 2.5D – Visualización***

A diferencia del Flujo Clásico, el Flujo para RTI-DPh presenta una mayor especialización en términos Fotogramétricos ya que se incorpora el conocimiento de la Fotogrametría Láser (escáner láser) o Fotogrametría Digital para generar una malla de alta precisión. En términos de InfoArquitectura para el uso del programa 3DS Max o Blender, en la estimulación de luces. En términos de Programación para la creación de una aplicación que proporcione Archivos MaxScript y Archivos LP para ejecutar. En términos de Geometría el cálculo de la posición de las luces en una envolvente con parámetros conocidos.

## **2.2 Análisis en detalle del flujo**

### **2.2.1 Patrimonio Cultural**

Las preguntas *¿Quiénes somos?* o *¿Qué hemos sido?* genera a la sociedad, desde a los más estudiosos historiadores hasta el niño menos especializado en la materia, la curiosidad e impaciencia por conocer la respuesta. La complejidad que existe en la extracción de información del Patrimonio Cultural obliga a una continua investigación de métodos y flujos que ayuden y apoyen. “*Véase 1.1 - Patrimonio Cultural*”

### **2.2.2 Documentación**

La documentación en este flujo de trabajo tiene como peculiaridad la generación de un modelo 3D preciso a partir de Fotogrametría Digital y Escáner Láser. Los métodos a utilizar dependiendo la escala podrían estar clasificados del siguiente modo.

Métodos para Corto Alcance:

Escáner Láser de triangulación

Microfotogrametría

Métodos para Medio Alcance:

Escáner Láser de diferencia de fase y tiempo de vuelo

Fotogrametría Terrestre

Métodos para Largo Alcance:

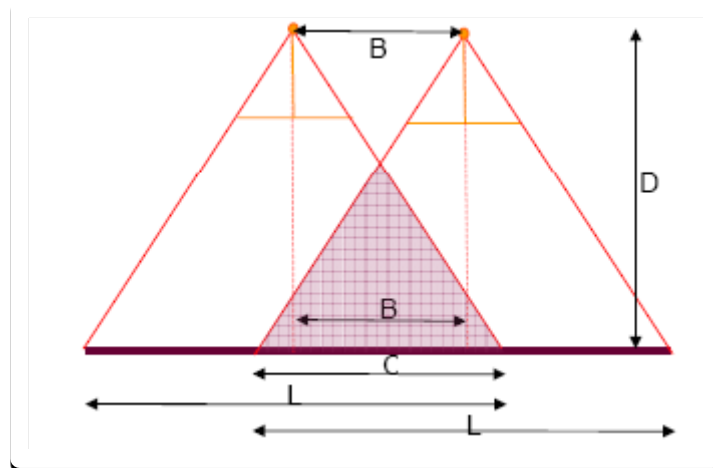
Lídar Aéreo

Fotogrametría Aérea.



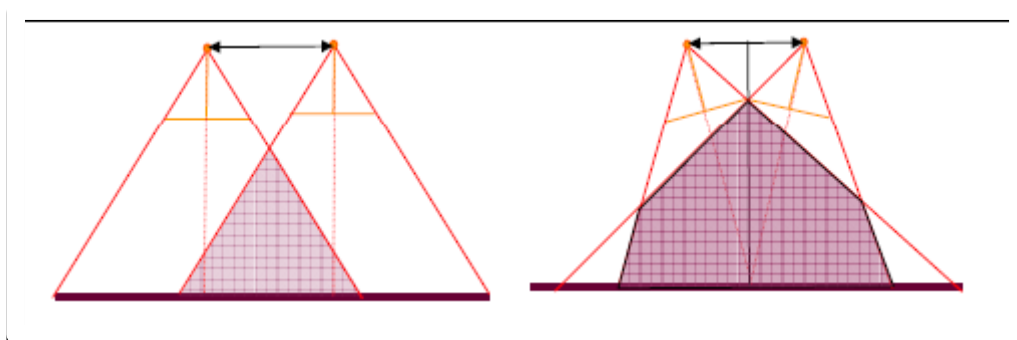
## Fotogrametría Digital

Para la creación del modelo 3D mediante Fotogrametría (MicroFotogrametría, Fotogrametría Terrestre y Fotogrametría Aérea) es necesario tener en cuenta una serie de consideraciones respectivas al momento de la captura de imagen. La precisión a obtener será relativa a la relación Base y Altura, tratando de conseguir bases largas pero teniendo en cuenta el 60% de recubrimiento necesario.



*Ilustración 15: Representación de la relación base y distancia (Proyecto Laura Socci)*

El recubrimiento mínimo del 60% anteriormente mencionado es debido a que cuanto mayor sea la base menor será el recubrimiento y mayores los efectos de la perspectiva introducidos en las imágenes, pudiendo perder la visión estereo.



*Ilustración 16: Configuración Estereoscópica de ejes paralelos y convergentes (Proyecto Laura Socci)*

El proceso para la toma de datos será planteada en función de los objetivos que se quieran alcanzar con las imágenes. En este caso, además de crear una malla precisa se tratará de recoger la textura del sujeto, siendo necesario una buena calidad radiométrica.

### Escáner Láser

El escáner láser, o también llamado Fotogrametría Láser, hace que el modelo geométrico de referencia se convierta en tridimensional a través de las nubes de puntos obtenidas en el levantamiento. Esto se obtiene por el rayo láser que ilumina el sujeto siendo reflejado a través de un mecanismo de espejos que giran acimutalmente y cenitalmente.

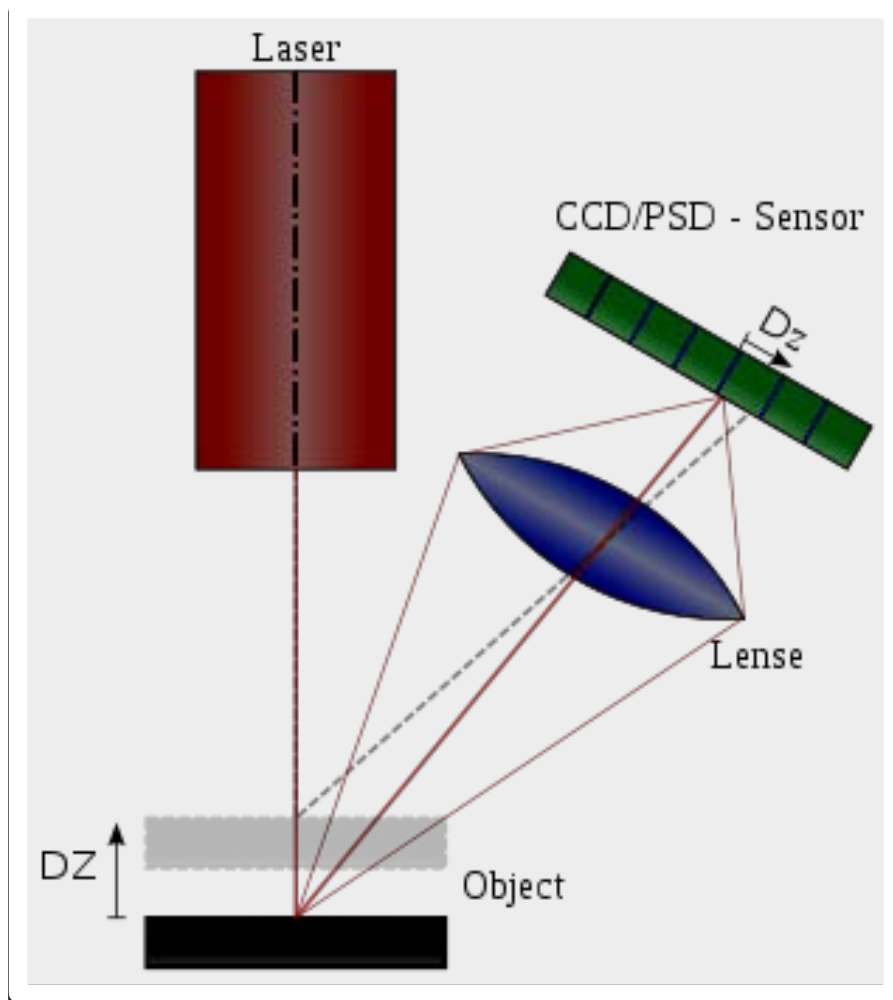
Se genera una nube de puntos gracias a su capacidad para obtener decenas de miles de puntos por segundo. La geometría del objeto se transforma en coordenadas de puntos con color. Siendo los datos obtenidos X, Y, Z y la intensidad de la señal de retorno del objeto explorado que cambia según la naturaleza del material. La precisión que presentan estos instrumentos dependen de la distancia y el ángulo de incidencia del rayo.

Los escáneres, aunque usan el mismo principio hay diferentes maneras para procesar las ondas. Por esto se clasifican del siguiente modo:

- Triangulación
- Tiempo de Vuelo
- Diferencia de fase

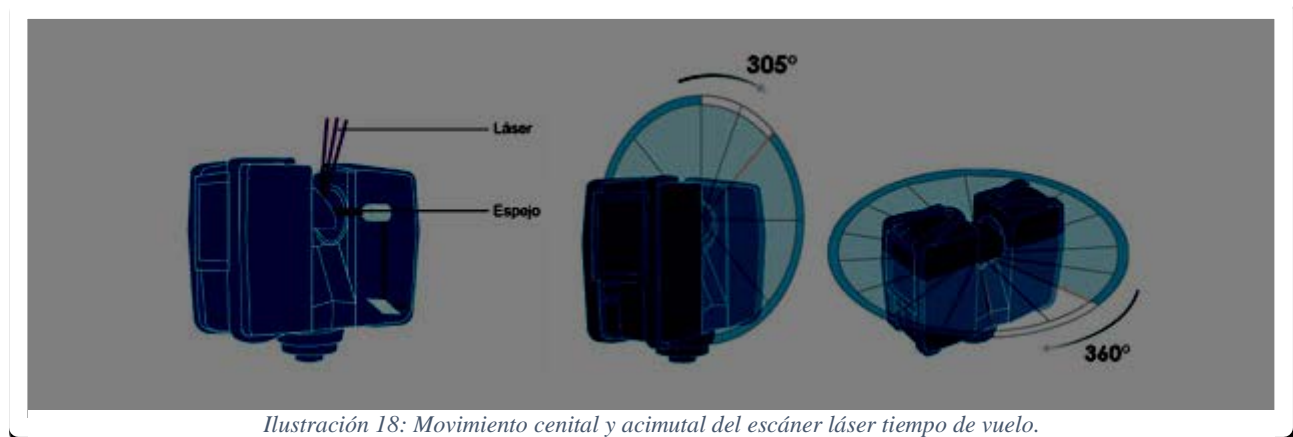
El método de Triangulación tiene como principio de medición del proceso de triangulación que se efectúa en la topografía. Se realiza mediante la detección del ángulo del rayo láser que detecta el receptor. Un rayo de luz es emitido desde el transmisor, rebota en el objeto generando un perfil y que es capturado por el sensor. La posición espacial de los puntos que pertenecen al perfil de la luz se obtiene por triangulación conociendo la posición del escáner, de la cámara y del ángulo de incidencia en el objeto.

Se permite utilizar instrumentos como el PSD (Position Sensor Detector) que permiten una buena precisión de la medición con frecuencias muy bajas (10-100Hz) o un CCD (Charge Coupled Device) que proporciona una excelente precisión con alta frecuencia (con mayores de 1000Hz). El conjunto de perfiles paralelos proporciona la información necesaria para la realización de un modelo 3D.

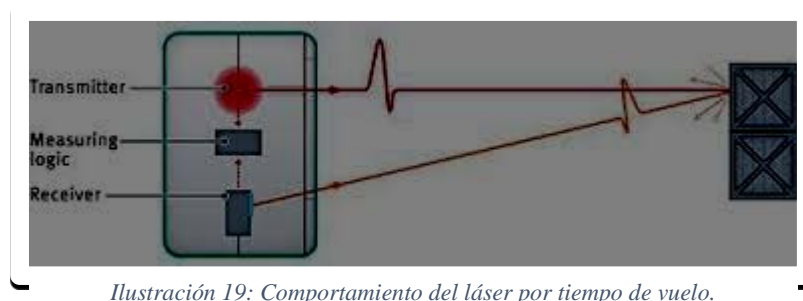


*Ilustración 17: Representación del comportamiento del láser por triangulación*

Los escáneres láser de tipo de tiempo de vuelo (TOF – time of flight) emite un pulso láser (con frecuencia superior a 10kHz) que impacta en el objeto y vuelve al instrumento. Calculando de este modo la distancia del punto del objeto respecto al láser, midiendo el tiempo de ida y vuelta del pulso láser. Los puntos detectados forman las coordenadas esféricas usando el tiempo de vuelo del pulso láser, el ángulo acimutal y el ángulo cenital, respecto a sus correspondientes ejes (eje vertical y eje horizontal).



Este tipo de medición ofrece una precisión de 3 a 6 mm. Y recoge decenas de miles de puntos cada minuto desviando este pulso láser sobre la superficie de un objeto utilizando un espejo giratorio o un prisma.



El funcionamiento del escáner láser de diferencia de fase es similar al escáner láser de tiempo de vuelo. Usando una onda sinusoidal para detectar un objeto con mayor velocidad, en vez del rayo láser utilizado en la medición con el tipo tiempo de vuelo. Calcula la distancia del objetivo de manera ligeramente diferente, pues el escáner láser de diferencia de fase se basa en el intervalo de medida en las diferencias de la señal entre el emitido y el retorno.

Existen siete tipos de láseres dependiendo la longitud de onda y la potencia de la energía que el láser produce. Estos son: Clase1, Clase1M, Clase2, Clase2M, Clase3R, Clase3B y Clase4 (Clase1 es seguro en todas las condiciones de uso normal, mientras que el Clase4 puede quemar la piel y puede dañar los ojos, no es adecuado su uso en levantamientos).

### **2.2.3 *Procesamiento de datos***

En este apartado se procesan los datos mediante Agisfost PhotoScan para la Fotogrametría Digital y PolyWorks para la Fotogrametría Láser (escáner láser).

La Fotogrametría Digital, tanto aérea, terrestre y micro, se procesa mediante el software Agisfost PhotoScan. Su funcionamiento se basa en la correspondencia de píxeles de las imágenes digitales provenientes de diferentes fuentes. Permite generar modelos tridimensionales y ortofotos de alta resolución de superficies, objetos, edificaciones...

Para la creación de una malla precisa se comienza introduciendo las imágenes al proyecto PhotoScan mediante la barra herramientas "Flujo de Trabajo – Añadir Fotos...". Las imágenes introducidas reciben el nombre *Chunk* para poder tratarlas de manera independiente. Las imágenes pertenecientes a un mismo *Chunk* tiene relación lógica entre ellas. En caso de tener imágenes borrosas o distorsionadas se recomienda aplicar una máscara a la hora de generar el modelo. Las zonas con máscaras que pueden ser eliminadas en los pasos de alinear fotos han sido realizadas sumando o restando selecciones y aplicando máscaras mediante herramientas específicas.

Las imágenes cargadas son marcadas por las siglas NC que significa que la cámara no está calibrada y la foto no está orientada. Esto se soluciona mediante el comando "Orientar Fotos". Este punto es imprescindible para la calidad del emparejamiento de orientación dependiente de la minuciosidad de la búsqueda de puntos característicos que está totalmente relacionado con el concepto de calidad seleccionado. En este flujo, se requiere una alta calidad de procesado por ello la búsqueda de puntos característicos se realizará en una zona de pocos píxeles. En cuanto a la posición de la cámara, es posible introducir una orientación de ésta que mejorará el proceso de orientación y con ello el proceso de cálculo.

Tras una precisa orientación de los *Chunks*, es necesaria la herramienta "marcadores" para relacionar y reconstruir su orientación relativa, permitiendo la identificación de los puntos de los cuales se conocen datos como coordenadas o distancias. La orientación relativa se realiza con la orden "Fusionar Grupos", "Fusionar Marcadores" cuando los *Chunks* comparten marcados.

Una vez realizada la transformación se muestran tres listados. Uno presenta los valores originales de los puntos de apoyo, otro los valores calculados y el tercero muestra el error de cada punto (diferencia entre valor original y valor calculado). En este paso se deben depurar las observaciones y deshacerse de los puntos que se consideren inasumibles. También se debe analizar el error en píxeles de cada punto, pues estos pueden ser debidos a un mal procesamiento en la marcación de los puntos en diferentes fotografías y/o a la pertenencia de imágenes oblicuas entre si impidiendo el cálculo de la posición correcta.

Al desechar los puntos que arrojan un error inaceptable la transformación se considera buena. Este paso supone la orientación externa. Se tiene el proyecto escalado y georeferenciado en un sistema de coordenadas oficial.

A partir de la orientación externa se da paso a la creación de una geometría, a la reconstrucción del modelo. Para esto se sigue el proceso de DenseMatching (emparejamiento denso) recorriendo las fotografías, previamente orientadas, en la búsqueda de puntos homólogos y así obteniendo sus coordenadas. Aunque es prescindible el software utiliza mapas de disparidad para proyectos con muchas imágenes determinando la lejanía de los puntos respecto al observador y agilizando el cálculo de matching.

En la orden de "Crear Geometría" se inicia el proceso de creación del modelo introduciendo una serie de parámetros. Se selecciona el "Tipo de objeto" que se desea 3D o 2.5D. Para asignar el número de píxeles emparejados se utiliza la herramienta "Calidad Deseada" que da la opción de emparejar todos los píxeles de la imagen (calidad muy alta) a trabajar únicamente con los puntos obtenidos en el paso anterior (calidad muy baja).

El número de caras indica la cantidad de polígonos que se quieren conseguir, cuantas más caras se quieran, mayor número de polígonos se generarán y mejor detalle se obtendrá. Otro parámetro a mencionar es "Umbral de eliminación de isla". Una isla es un trozo de malla que no se conecta con el conjunto general, y se puede dar un límite en manera que el software no cree malla en el exterior. Y por último, cabe describir el parámetro "Umbral de cierre de agujeros" que permite cerrar la malla cuando no hay informaciones entre el parámetro y el dato.

Una vez se ha creado el modelo tridimensional se puede visualizar el resultado sombreado, a todo color, con textura fotográfica... El programa ofrece múltiples opciones: mosaico, promedio, máxima o mínima intensidad. Y como último paso en Agisoft PhotoScan es la exportación del modelo a diferentes formatos (Vrml, Dxf, 3ds...) o generar ortofotos, ortoalzados, secciones...

Los datos del láser escáner son procesados con el software de su marca (en caso de Leica, Cyclone) donde se visualiza la nube de puntos obtenida en cada toma, la intensidad de reflexión y se depuran los errores.

En el siguiente paso se utiliza el programa PolyWorks por ser creado para el procesamiento de nube de puntos, malla y modelo 3D. Para ello es necesario haber exportado los datos desde Cyclone en formato PTX, después de haber corregido los errores. Este programa presenta diferentes espacios de trabajo para diferentes necesidades: IMAlign, IMMerge, IMEdit, IMInspect, IMCompress, IMTexture, IMView.

En el primer paso se importan los escaneos en el espacio de trabajo IMAlign. En caso de insertar el tipo de aparato con el que se ha escaneado el sistema métrico usado es puesto por defecto. Si se desea existe la posibilidad de trabajar con una nube de puntos reducida, facilitando y acelerando el movimiento de los datos.

En esta fase se desarrolla la interpolación de una malla cuadrangular sobre las nubes de puntos. Esta malla cuadrangular es una malla provisional que se apoya en los puntos del objeto que se construye para orientar los escaneos. En el momento de crear la malla el programa necesita una serie de parámetros. "Focus Distance" es la distancia respecto al escáner, que se usa para el cálculo de la resolución espacial. "Step at focus" es la densidad de los puntos en la distancia respecto al escáner. El "Máx Angle" es el valor del ángulo máximo para la generación de líneas (se recomienda el valor de 87°). El espaciamiento mínimo o "Min Step" establece una distancia mínima respecto al escáner en la generación de puntos. Para trabajar en un rango previamente establecido se introducen los parámetros en "Minimum Distance" y "Maximum Distance".

En este apartado se realiza el alineamiento. Para ello se establecerá un escanero como base, o referencia, para que todo el sistema mantenga sus coordenadas y orientación sobre la verticalidad. El programa presenta diferentes posibilidades para la visualización de los escaneos:

- Use (visible y operativa)
- Ignored (invisible y no operativa)
- Lock (visible y no manipulable)
- Unlock (acción que habilita después de un bloque)

Para mostrar la estimación del error del alineamiento el programa tiene la opción de "best fit". Proporciona un histograma y la curva de gauss para su control y visualización.

Tras estos pasos, el resultado es una malla del objeto orientada localmente. Es posible trabajar con UVACad (Utilidad de Visualización Avanzada con Automatización de Dibujo) herramienta diseñada para la fusión de información de dispositivos 2D y 3D, porque permite de manera más ligera abrir nube de puntos, editar, cortar, obtener ortofotografías y ortonubes de puntos pudiendo exportarlas en diferentes formatos.



#### ***2.2.4 Crear Envolverte y Estimular luces para generar RTI***

Para la creación de una envolvente y la estimulación de las luces se desarrolla una aplicación llamada LaboratorioVirtual. La envolvente se describe con una secuencia de coordenadas que permite originar los archivos MS (MaxScript) y LP (Light Position), y las coordenadas se calculan mediante la introducción de los parámetros del usuario en la aplicación LaboratorioVirtual.

Los parámetros requeridos por la aplicación de LaboratorioVirtual a insertar son:

- Selección de tipo de envolvente: SemiEsfera SemiElipsiode
- Proporción de Imagen: 16/9 o 4/3
- Resolución de la imagen renderizada
- Directorio de la carpeta de imágenes renderizadas
- Número de imágenes
- Radio del sujeto
- Número de anillos - elevación
- Ángulo de elevación por cada anillo

Como se puede observar en el esquema previo la aplicación LaboratorioVirtual permite seleccionar la forma geométrica que tendrá la envolvente. Si se quiere trabajar la envolvente con base en el Flujo Clásico tendrá el aspecto de Semiesfera, presenta un radio respecto al centro del escenario, por lo tanto del centro del objeto, equivalente en todas sus posiciones y elevaciones. No obstante, si se quiere trabajar con conceptos más elaborados y presentando la envolvente con luces laterales, no quasicenitales, se presenta la opción de SemiElipsoide y sus ejes.

La proporción de imagen a renderizar por el software de InfoArquitectura puede ser de 16/9 o 4/3. La resolución de imagen renderizada será escogida por el usuario. El directorio de la carpeta de imágenes renderizadas será la carpeta donde guardará el software de InfoArquitectura, y por lo tanto contendrá, las imágenes a utilizar para la creación del Mapa2.5D. El Número de imágenes será elegido por el usuario según los requisitos y

necesidades del RTI. El Radio del sujeto se introduce para conocer el radio que presentará la envolvente. El Número de anillos mínimos a introducir serán 3. Y por último, el ángulo de elevación por cada anillo será a la elevación que se encontrará el anillo de luces respecto al objeto.

En definitiva, se recomienda el uso de una envolvente compuesta por al menos 36 luces repartidas en cuatro anillos con elevaciones de 15°, 45° y 75°. En el procesado es recomendable generar imágenes de 4/3 con una resolución de 3200x2400.

El Archivo MS que proporciona la aplicación se compone de un texto Max Script que es un lenguaje de alto nivel orientado a objetos que permite programar una serie de funciones que al realizarlo manualmente lleva excesivo tiempo, como introducir la posición de luces y cámara, y procesar los renders iluminando el objeto de una en una luz.

En este flujo y para la buena consecución de esta fase es clave el uso del programa Autodesk 3ds Max, aunque cabe la posibilidad de usar Blender. Autodesk 3ds Max es un software de modelado en 3D. Proporciona una solución completa de modelado, animación simulación y renderización a los creadores de juegos, cine y gráficos de movimiento. 3ds Max ofrece un rendimiento acelerado y flujos de trabajo perfeccionados que ayudan a mejorar la productividad para trabajar con recursos complejos de alta resolución. El archivo Light Position, en cambio, se compone del directorio de la imagen que se procede a generar y la posición de la luz que ilumina el objeto en el software de InfoArquitectura.

*“Véase 6.2 Anexo2: Ejemplo Archivos Light Position (\*.lp) y MaxScript (\*.ms)”*

3ds Max se emplea para la estimulación de luces gracias al motor render MentalRay. Mediante el Archivo MS creado en la aplicación Laboratorio Virtual para la secuencia programada.

### ***2.2.5 Mapa 2.5D***

Se considera Mapa 2.5D una proyección gráfica en 2D y alguna técnica que hace que una serie de imágenes parezcan ser de tres dimensiones. En este caso, se habla del conocimiento del Vector Normal de la superficie del objeto.

Para hacer un Mapa2.5D se utiliza el programa RTIBuilder. La herramienta RTIBuilder está diseñada para aplicaciones de patrimonio cultural y las ciencias naturales realizada principalmente por un equipo de la Universidade do Minho, en Braga, Portugal. El trabajo fue financiado por Cultural Heritage Imaging CHI (<http://culturalheritageimaging.org>) y la Universidade do Minho.

RTIBuilder se utiliza para el cálculo de la superficie de Vectores Normales del objeto que requiere de imágenes del objeto estimuladas lumínicamente y archivo Light Position. El software RTIBuilder genera Hemispherical Harmonics (\*.hsh) o Polynomial Texture Map (\*.ptm) que son diferentes algoritmos para la creación de Mapas2.5D.

La versión 2.0.2 de RTIBuilder incluye el ajustador Hemispherical Harmonics (HSH). El HSHfitter fue desarrollado en la Universidad de California, Santa Cruz, Departamento de Ciencias de la Computación en colaboración Cultural Heritage Imaging, que proporcionó fondos para este trabajo en el Instituto de EE.UU. Tom Malzbender de Hewlett Packard Labs también colaboró en este proyecto.

En cuanto a los resultados entre HSH y PTM, el enfoque de HSH es superior en términos de objetos escultóricos que tienen auto sombreado. El PTM tiene una mejora especular que podría obtener sólo un área de color negro en lugares sombreados, un HSH tiene mejores datos. También HSH hace un mejor trabajo en renderizar los materiales brillantes. Las imágenes PTM son siempre mate.

Por último cabe destacar que los archivos de HSH son generalmente más grandes que PTM LRGB. PTM utilizan 6 coeficientes de un polinomio bicuadrático para describir la superficie normal. En HSH, este número está determinado por el "orden" que elija al crearlo. En primera orden HSH utiliza 4, en segunda orden 9 y una tercera orden 16. Así que esto afecta el tamaño del archivo de los resultados, pero es también la razón por la que HSH puede generar mayor precisión en las superficies brillantes.

### **2.2.6 Visualización**

Para una la visualización se propone utilizar el software RTIViewer desarrollado principalmente por (CNR) Instituto del Consejo de Investigación Nacional Italiano de Ciencias de la Información y Tecnología de (ISTI) Laboratorio de Computación Visual, financiado por Patrimonio Cultural Imaging. RTIViewer también contiene software y significativas contribuciones de la Universidad de California en Santa Cruz de diseño; las Universidades de Minho en Portugal; Tom Malzbender, ex integrante de los laboratorios de HP; y Patrimonio Cultural Imaging.

El programa de RTIViewer tiene como objetivo principal la sencillez en su visualizado. No sólo está orientado a usuarios Geomáticos, sino que su fácil visualización del Mapa 2.5D permite ser usada por gente no especializada. Dispone de una serie de Modos de Renderizado para mejorar la visualización y el desciframiento que requiera el sujeto. “*Véase RenderMode en 1.3 Particularización de Shape From Photometry*”

### 3. Capítulo III: Estudio Práctico de las RTI en casos reales

Este capítulo recoge el trabajo práctico realizado. El proyecto se inicia con el objetivo de proponer un Nuevo Flujo de Trabajo llamado RTI-DPh y conseguir unos buenos resultados para los casos de Patrimonio Escultórico, Arqueológico, Arquitectónico y Arquitectónico – Urbano. Una serie de problemáticas surgidas con la idea inicial del Nuevo Flujo de Trabajo, ha ido recogiendo una serie de pasos para la mejora del flujo de RTI-DPh.

El Nuevo Flujo de Trabajo acabó tomando necesaria la incorporación del paso de Automatización del Envolverte Virtual, para la automatización de la introducción de luces en 3ds Max y la estimulación del objeto (\*.ms), y la generación de un archivo de posición de las luces (\*.lp). Para la introducción en el programa RTIBuilder y generar una imagen PTM o HSH.

Además, se vio la posibilidad de hacer una comparativa exhaustiva entre la opción que dispone el programa RTIBuilder de detección del Highlight para la posición de luces y la introducción del archivo de posición de luces. Pues, conociendo la posición exacta de las luces hace al Flujo RTI-DPh más competente aún.

#### 3.1 Automatización de la Envolverte Virtual

La automatización de la Envolverte Virtual se localiza en el cuarto apartado, tratamiento de luces. Es un punto clave en el flujo RTI-DPh debido a la automatización del procesado del tratamiento lumínico y la generación del archivo de posición de luces que se introducirá en el RTIBuilder para la consecución de un Mapa2.5D preciso.



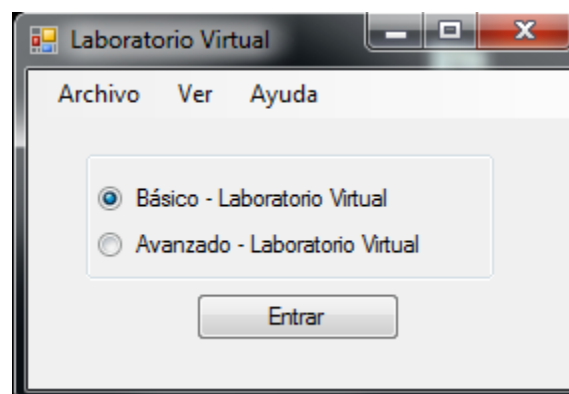
Ilustración 20: Flujo de trabajo RTI-DPh

Una vez realizado con éxito los pasos previos del flujo. La Documentación por Fotogrametría Láser o Fotogrametría Digital para el Revelado y la creación de un Modelo3D. Se procede al tratamiento de luces.

Para un buen tratamiento de luces se automatiza la generación de la Envolvente Virtual y el procesado lumínico. Por ello se programa una aplicación que permita introducir los parámetros requeridos dependiendo la necesidad o preferencia del usuario.

Esta aplicación se programa mediante Microsoft Visual Studio. Potente entorno de desarrollo para sistemas operativos de Windows. Soporta múltiples lenguajes de programación: C++, C#, Visual Basic.NET, Pato, F#, Java, Pythonm Ruby, PHP... Y permite desarrollar aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como, servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET.

La aplicación presenta una clasificación para uso básico o avanzado.



*Ilustración 21: Aspecto del menú principal de la aplicación Laboratorio Virtual*

En el uso “Básico” se genera la envolvente, es decir, se calculan las coordenadas de las posiciones de las luces automáticamente. Para ello tiene en cuenta los datos recomendados para todos los casos: 36 imágenes totales, 12 por elevación. Es decir, 3 elevaciones con ángulos de 15°, 45° y 75°. Tan solo se debe introducir en la opción “Ruta” el directorio de la carpeta donde se desea que las imágenes procesadas, posteriormente por 3ds Max, se guarden.

Para el uso “Avanzado” necesita la introducción de una serie de parámetros: Tipo de Envolverte (*Semi-Esfera* o *Semi-Elipsoide*); Proporción de Imagen (*16/9* o *4/3*); Resolución de Imagen; y, Ruta (directorio de la carpeta donde se guardarán los renders). Una vez finalizado con los parámetros del uso “Avanzado” se pulsa *Comenzar*. Y se proporcionan los parámetros relativos a la geometría del Tipo de Envolverte seleccionado (Número de fotos, Radio respecto a la Planimetría y Altimetría, Número de Elevaciones y Ángulo de Elevación).

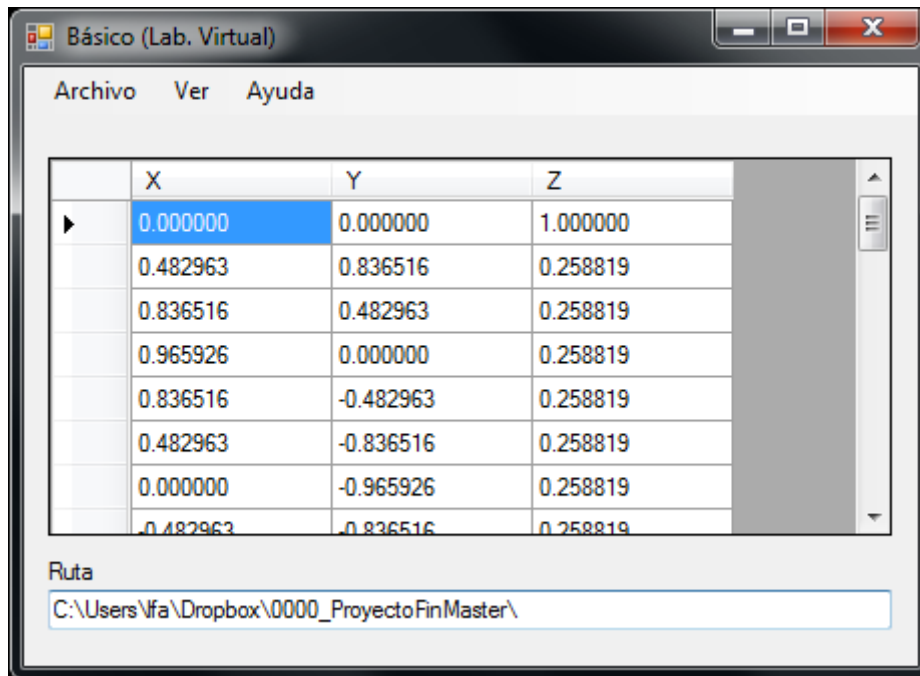


Ilustración 22: Sección para envolverte virtual Básico del Laboratorio Virtual

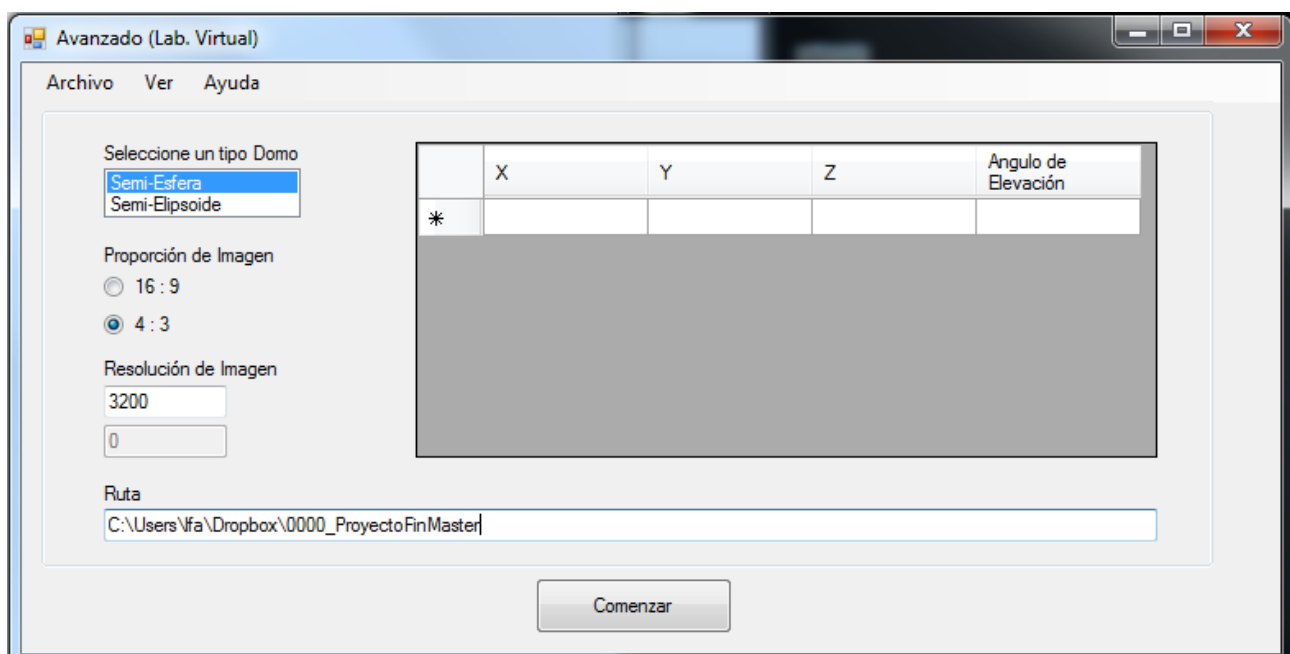


Ilustración 23: Sección para envolverte virtual Avanzado del Laboratorio Virtual

Depende del número de luces contenga la envolvente virtual, el número de renders que se realizarán.

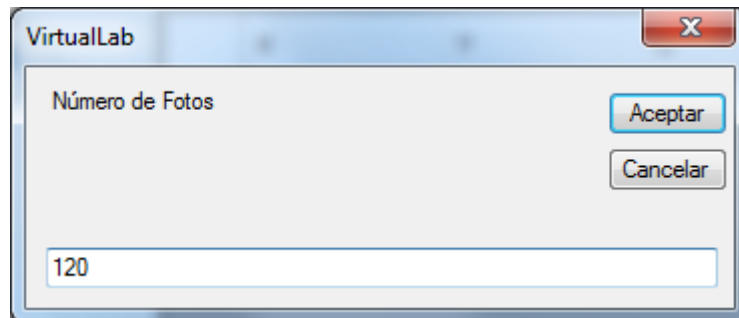


Ilustración 24: Número de Fotos para envolvente virtual Avanzada

El número de elevaciones a utilizar depende de las características del objeto o preferencias del usuario.

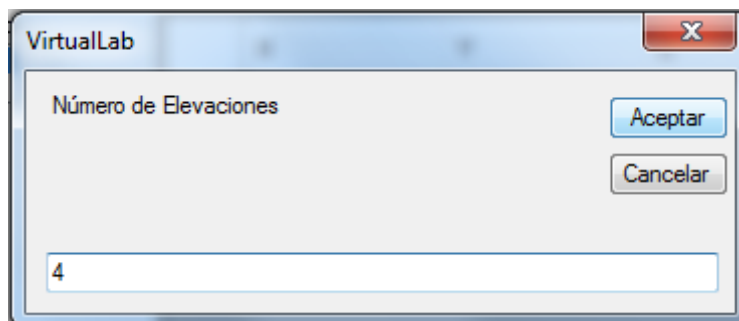


Ilustración 25: Número de elevaciones para envolvente virtual Avanzada

La aplicación de *Laboratorio Virtual* en caso *Avanzado* pide los ángulos de cada elevación para calcular la posición de las luces en la envolvente virtual que se está creando.

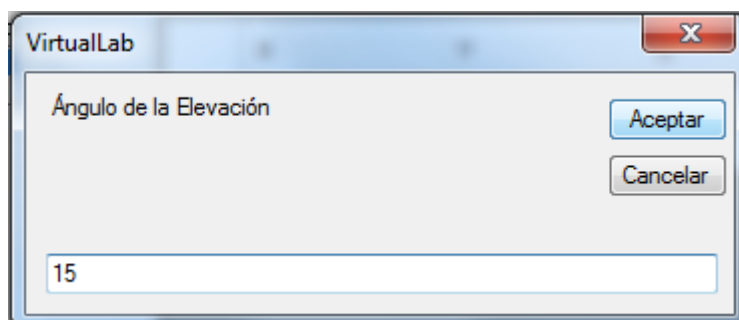


Ilustración 26: Ángulo de elevación para envolvente virtual Avanzado



Una vez introducidos todos los parámetros, calcula automáticamente la posición de la envolvente virtual tanto para el caso de semi-esfera como semi-elipsoide.

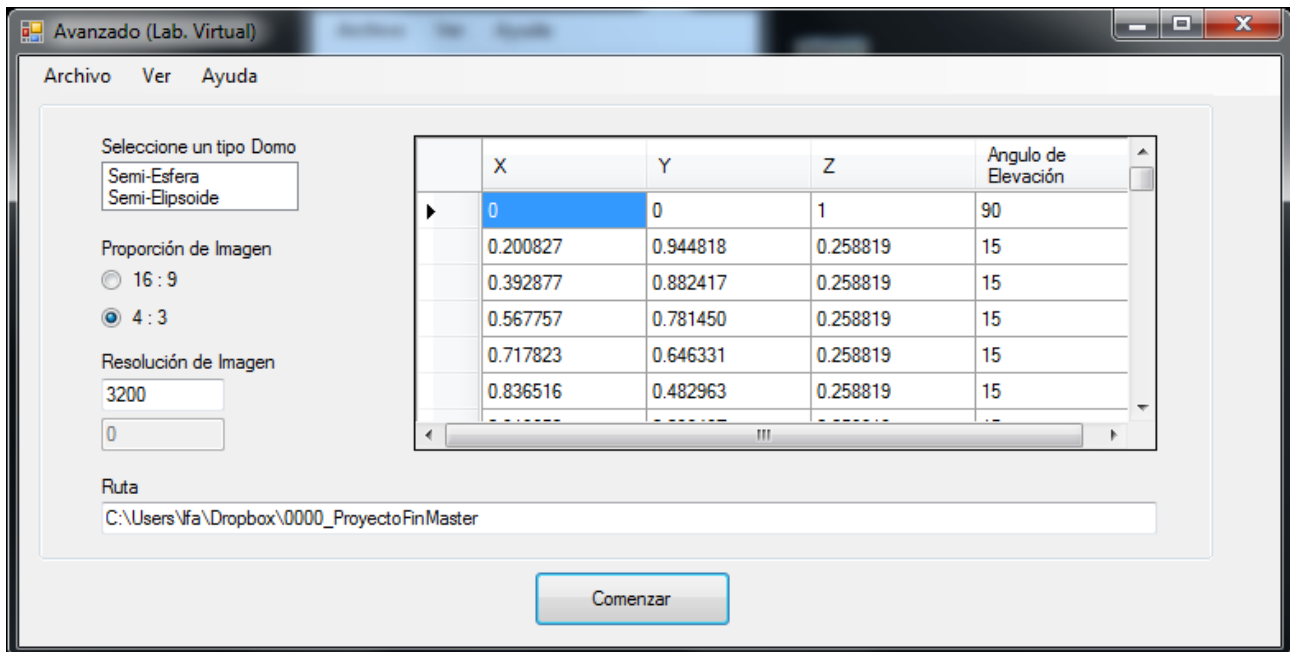


Ilustración 27: Sección para envolvente virtual Avanzada del Laboratorio Virtual con posiciones de luces calculadas

Para guardar los Archivos de posición de las luces (\*.lp), coordenadas de las luces de la envolvente virtual (\*.ms) y procesado de estimulación lumínica del objeto (\*.ms) se va a *Archivo – Guardar como...* del menú de herramientas de la aplicación y se selecciona el comando correspondiente.

- *Light Position (\*.lp)*
- *Luces en MaxScript (\*.ms)*
- *Procesado en MaxScript (\*.ms)*

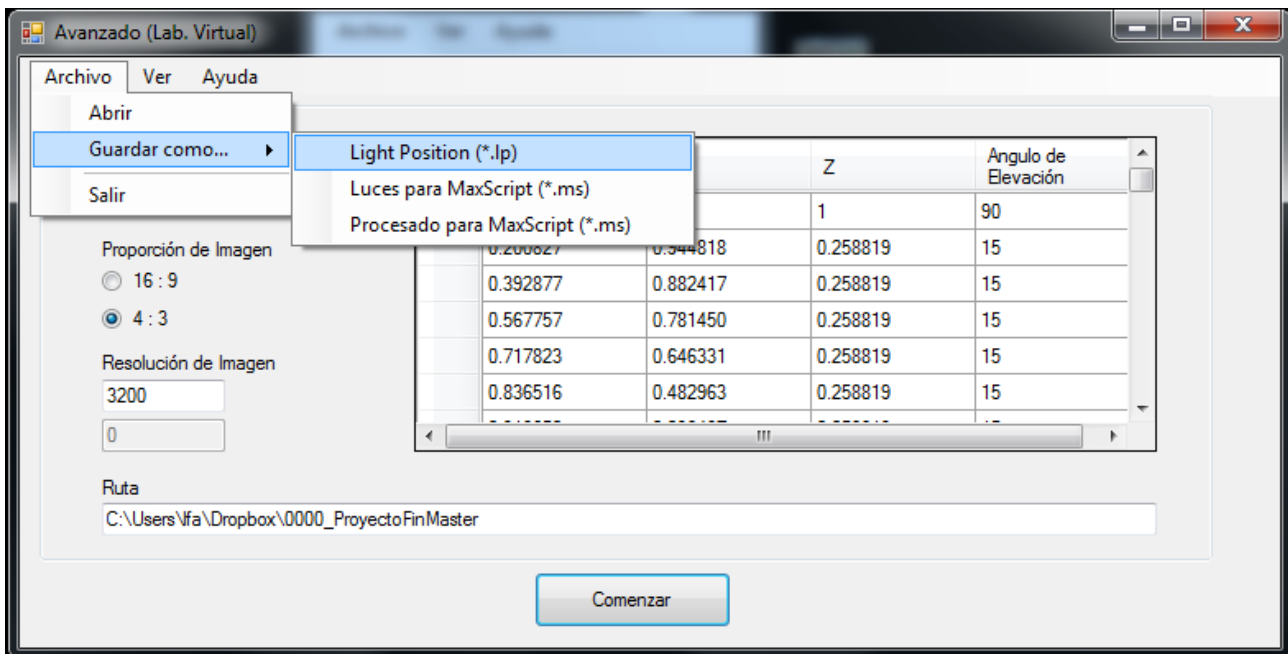


Ilustración 28: Guardar Scripts (\*.lp) y (\*.ms)

En los Archivos creados queda generado el archivo de Light Position (\*.lp) para generar la imagen RTI correcta, el archivo de la envolvente continente de las luces (\*.ms) para su creación en 3ds Max y el archivo para el tratamiento lumínico del objeto por medio de las luces localizadas en la envolvente virtual de 3ds Max.

*Véase el código de la aplicación en 5.Anexos*

*Véase ejemplos de los archivos generados en 5.Anexos*

Se introduce el modelo 3D generado en el paso 3 del flujo. Y se ejecuta el Script para la introducción de la Envoltente Virtual de luces con posiciones conocidas.

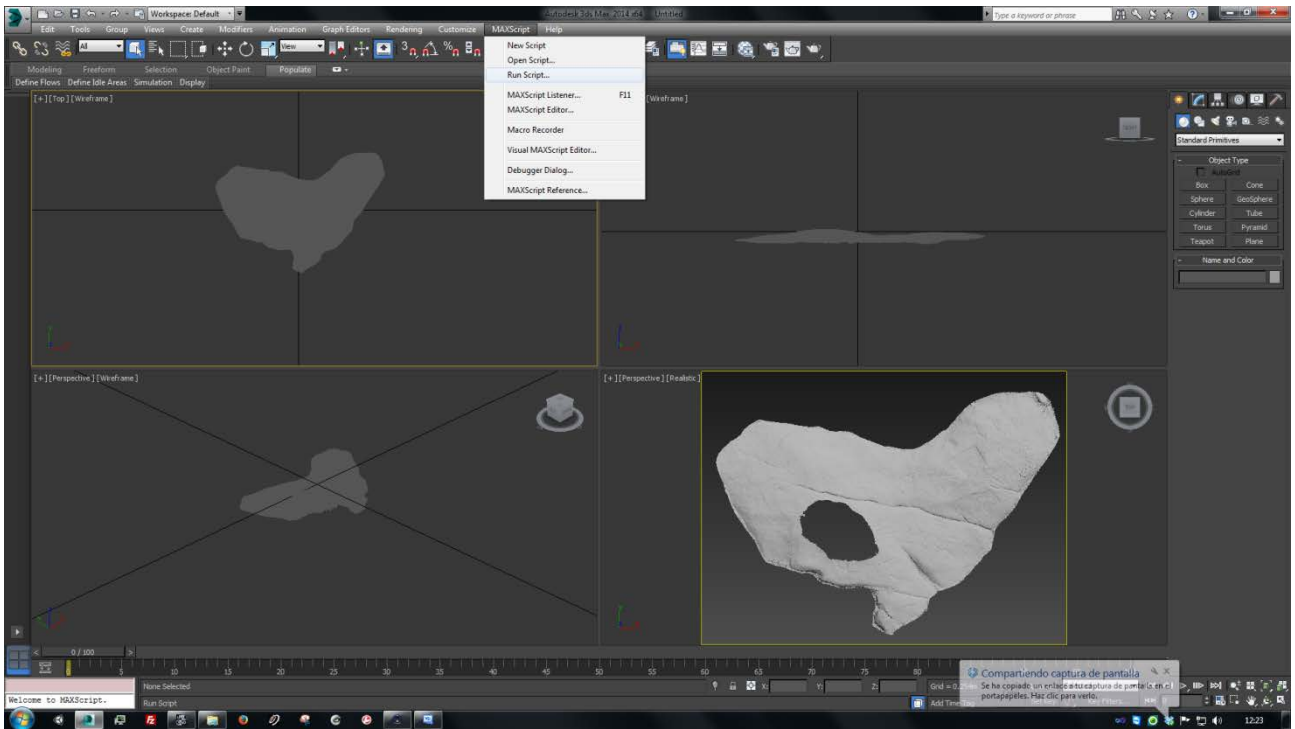


Ilustración 29: Introducir posición de luces mediante el archivo "Luces.ms" en 3ds Max

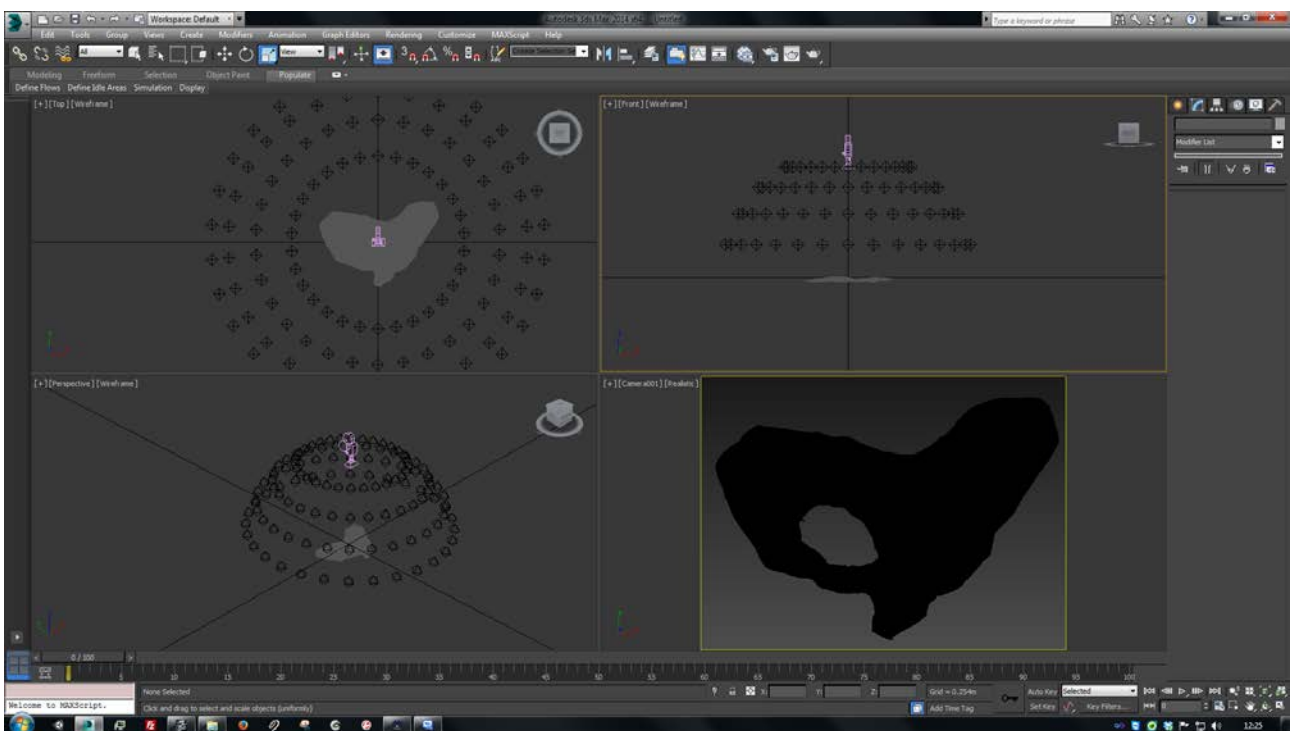
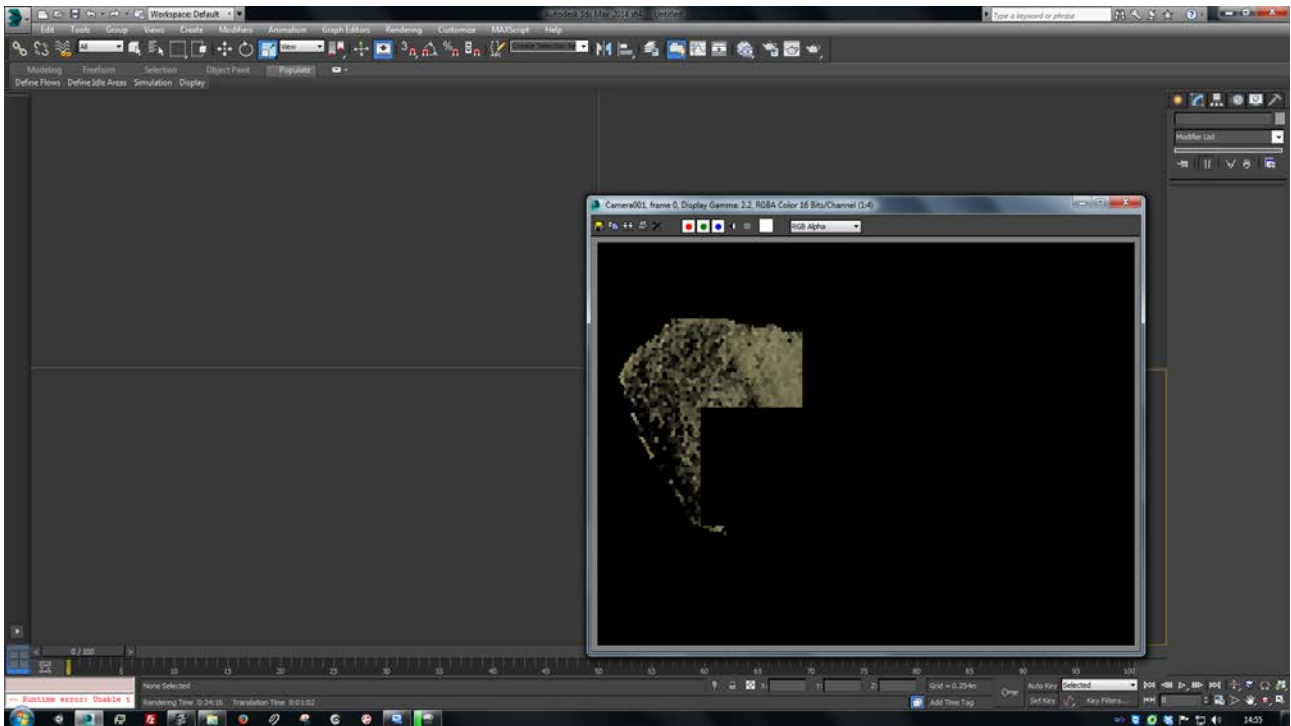


Ilustración 30: Comenzar tratamiento lumínico introduciendo archivo (proces.ms) en 3ds Max

Por último, se ejecuta el Script generado mediante la aplicación *LaboratorioVirtual* para el procesado del tratamiento lumínico del modelo 3D.



*Ilustración 31: Procesado de las imágenes requeridas en 3ds Max*

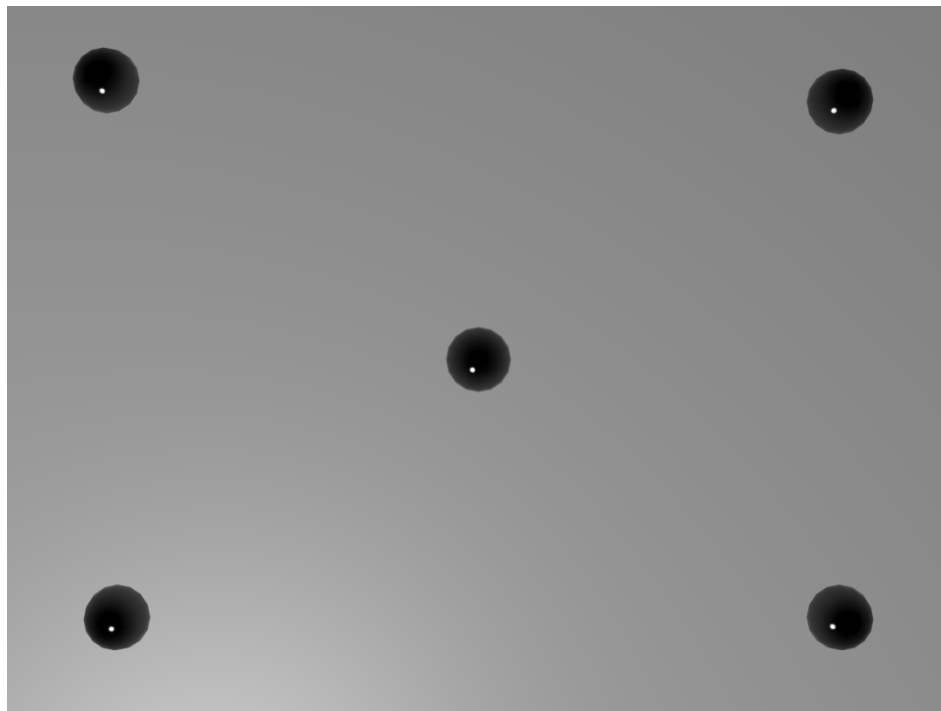
En este caso se generarán 120 renders, que posteriormente serán introducidos en el RTIBuilder junto con el archivo *Light Position (\*.lp)* creado mediante la aplicación *LaboratorioVirtual*, para la generación de una imagen RTI, un del Mapa2.5D.

Véase 3.3 *Casos de Estudio* para la visualización de los resultados para cada escala.

### 3.2 Comparativa del LP y reconocimiento HighLight por RTIBuilder

En este apartado se procede a la realización de una comparativa exhaustiva del uso del LP y reconocimiento automático del Highlight para la generación de una imagen RTI mediante el programa RTIBuilder.

Para la consecución de información para una comparativa exhaustiva se monta un escenario sencillo en 3ds Max compuesto por 5 bolas (1 bola central, 1 bola inferior izquierda, 1 bola superior izquierda, 1 bola superior derecha, 1 bola inferior derecha) con posiciones conocidas.



*Ilustración 32: Escenario 5 bolas para comparativa exhaustiva*

Se genera una envolvente mediante la aplicación *LaboratorioVirtual* para el escenario de bolas compuesto con 36 luces en 3 elevaciones. Se introduce el archivo *Luces en MaxScript* (\*.ms) en 3ds max cubriendo las bolas con la envolvente virtual. Y se procede a las renderizaciones de estimulación lumínica mediante la ejecución del Script *Procesado en MaxScript* (\*.ms).

Hay que analizar el archivo *Light Position* que genera el programa de RTIBuilder al usar la detección automática del Highlight de la posición de las luces en cada caso:

- Bola1: Se realiza el reconocimiento automático de Highlight de RTIBuilder en la bola central del escenario. Se obtiene un archivo *Light Position (\*.lp)* con los vectores unitarios de la orientación de cada luz respecto al centro de la bola.
- Bolas2: Se realiza el reconocimiento automático de Highlight de RTIBuilder en las bolas inferior izquierda y superior izquierda del escenario. Se obtiene un archivo *Light Position (\*.lp)* con los vectores unitarios de la orientación de cada luz respecto al centro de cada bola.
- Bolas4: Se realiza el reconocimiento automático de Highlight de RTIBuilder en las bolas inferior izquierda, superior izquierda, superior derecha e inferior derecha del escenario. Se obtiene un archivo *Light Position (\*.lp)* con los vectores unitarios de la orientación de cada luz respecto al centro de cada bola.

Los archivos de *Light Position (\*.lp)* que se consiguen en cada caso (Bola1, Bola2 y Bola4) y el archivo de *Light Position (\*.lp)* creado mediante la aplicación Laboratorio Virtual se introducen en un Excel para la realización de la comparación entre los diferentes sistemas.

Los datos de X e Y de los archivos *Light Position (\*.lp)* se asemejan a un movimiento circular, teniendo un comportamiento de vaivén en recta. Generando curvas similares a las curvas sinodales transformadas por diferentes factores. Los datos de Z son constantes.

*Véase Anexo5.3 Gráficos*

## Gráficos del comportamiento en X de la reflexión de la luz en las esferas

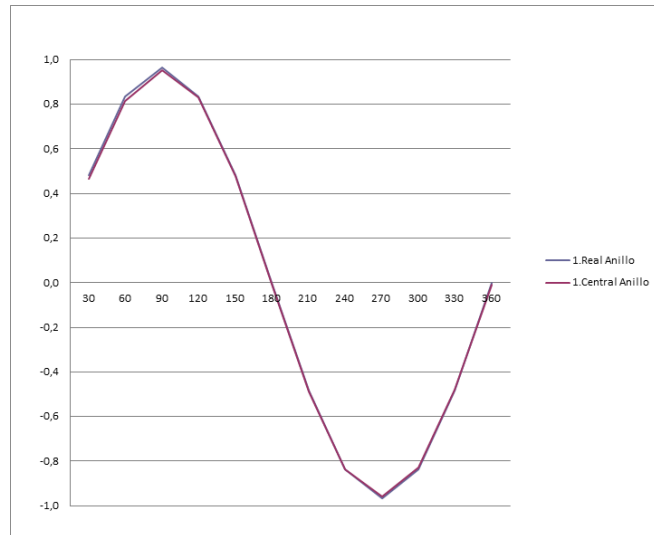


Gráfico 1: Comparación Posición Real y estimada por Bola Central - CasoX -

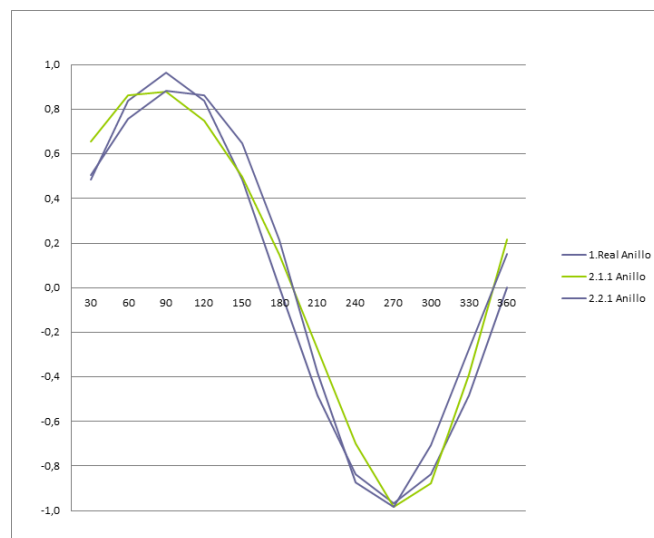


Gráfico 2: Comparación Posición Real y estimada por Bola Izq.Inf e Izq.Sup – CasoX -

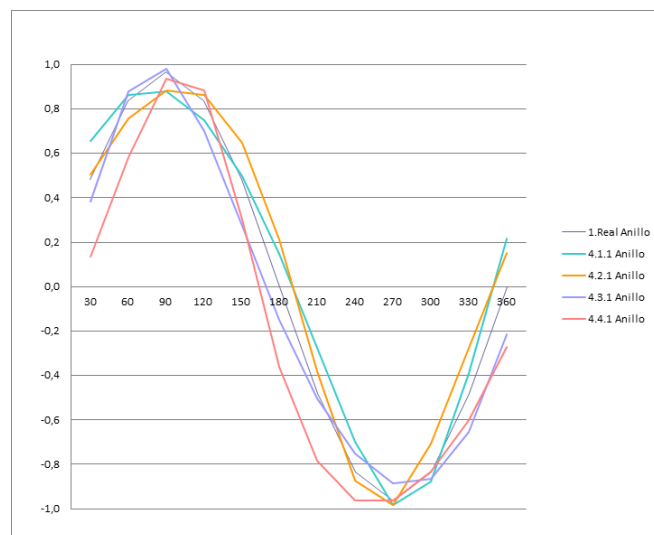


Gráfico 3: Comparación Posición Real y estimada por Bola Izq.Inf, Izq.Sup, Dch.Sup y Dch.Inf -CasoX -

## Gráficos del comportamiento en Y de la reflexión de la luz en las esferas

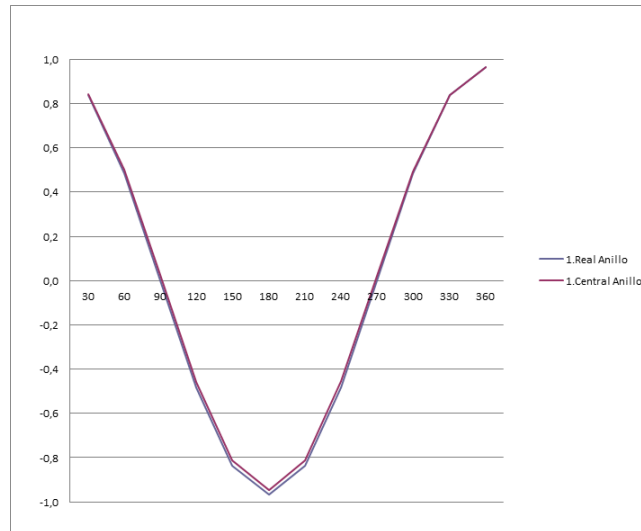


Gráfico 4: Comparación Posición Real y estimada por Bola Central - CasoY -

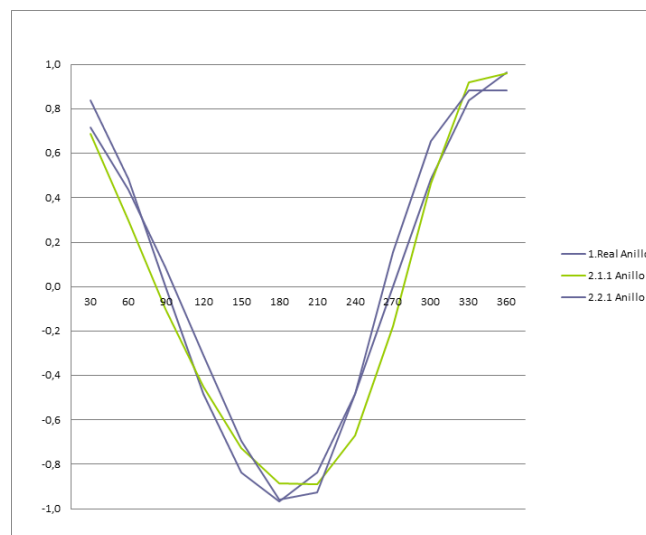


Gráfico 5: Comparación Posición Real y estimada por Bola Izq.Inf e Izq.Sup - CasoY -

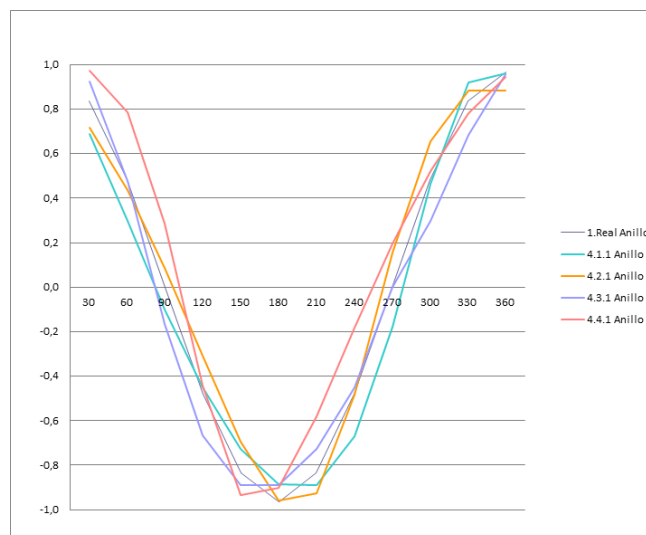


Gráfico 6: Comparación Posición Real y estimada por Bola Izq.Inf, Izq.Sup, Dch.Sup y Dch.Inf - CasoY -



## Gráficos del comportamiento en Z de la reflexión de la luz en las esferas

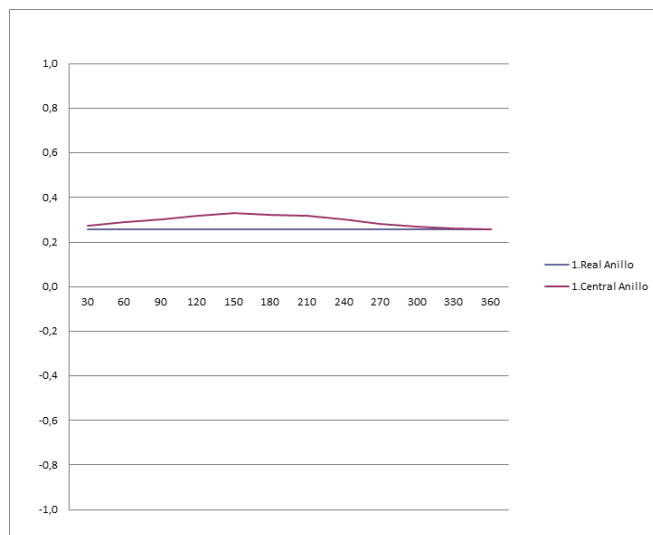


Gráfico 7: Comparación Posición Real y estimada por Bola Central - CasoZ -

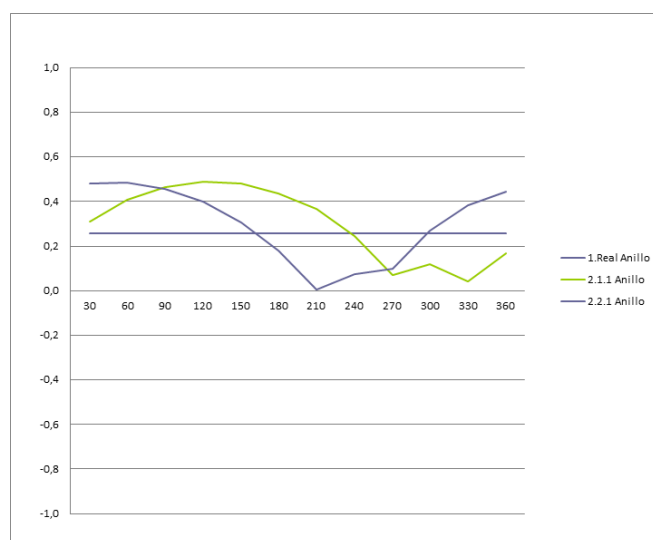


Gráfico 8: Comparación Posición Real y estimada por Bola Izq.Inf e Izq.Sup - CasoZ -

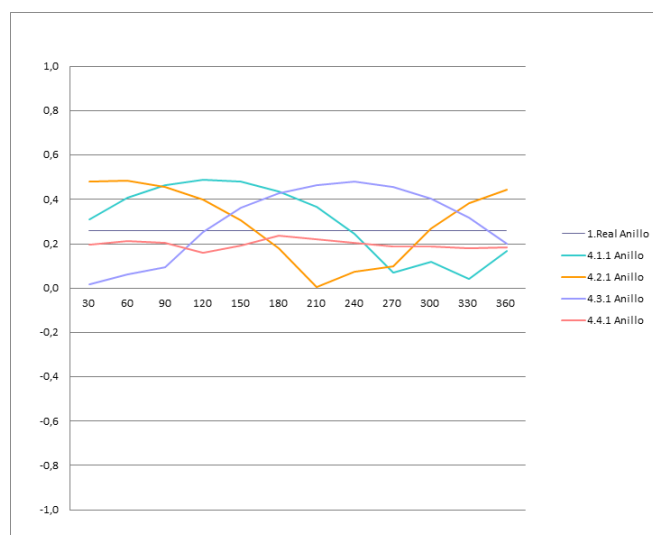


Gráfico 9: Comparación Posición Real y estimada por Bola Izq.Inf, Izq.Sup, Dch.Sup y Dch.Inf - CasoZ -

Para la demostración del comportamiento de la luz en X, Y, Z se usa los gráficos referidos al primer anillo de cada caso. Los datos para la realización de los gráficos han sido extraídos de los archivos LP que proporciona el RTIBuilder en la generación de un Mapa2.5D para el escenario de 5 bolas. Los datos de la posición estimada por la reflexión de la luz que realiza el RTIBuilder y su reconocimiento de Highlight son para los casos de Bola1 (Bola central), Bola2 (Bolas en izquierda inferior y superior) y Bola4 (Bolas en izquierda inferior y superior, y derecha superior e inferior).

Los *Gráfico1*, *Gráfico4* y *Gráfico9* sirven para la demostración de la mejora que se incorpora en el flujo RTI-DPh al evitar el uso de las bolas reflectivas para el reconocimiento automático del Highlight mediante RTIBuilder e introducir las coordenadas reales de la Envolverte Virtual. Ya que los gráficos mencionados representan la comparativa entre la posición real y la calculada mediante la reflexión en la bola que es centrada perfectamente en el escenario. Queda demostrado que el RTIBuilder en el caso más favorable, con la bola reflectiva centrada en el escenario, no es capaz de calcular las coordenadas de las luces con precisión.

En cualquiera de los otros casos la estimación de la posición empeora. Aunque en el caso de 2 bolas (izq.inf e izq.sup) se complementan entre las datos obtenidos entre ellas, sobretodo, para el cálculo de la X. Es cierto que el reconocimiento automático de Highlight que usa el RTIBuilder y el uso de bolas reflectivas en cada esquina del escenario no mejora los resultados, debido al algoritmo de reconocimiento por barrido (izquierda-derecha) que realiza. No identificando de la mejor manera el contorno ni el centro de cada bola, y por ello realizando un mal cálculo de la posición de la bola.

### 3.3 Casos de Estudio

Se muestran los resultados obtenidos para cada escala.

#### 3.3.1 Primera Escala: *Placa Gladiador*



Ilustración 33: Izquierda, Imagen Placa de Gladiador. Derecha, Imagen RTI de 120 imágenes de la Placa de Gladiador modo renderizado Default.



Ilustración 34: Izquierda, Imagen RTI de 36 imágenes de la Placa Gladiador modo renderizado Specular Enhancement (diffuse 40 / specular 70 / highlight 75). Derecha, Imagen RTI de 120 imágenes de la Placa Gladiador modo renderizado Specular Enhancement (diffuse 40 / specular 70 / highlight 75).



Ilustración 35: Izquierda, Imagen RTI de 36 imágenes de la Placa Gladiador modo renderizado Luminance Unsharp Mask (gain100). Derecha, Imagen RTI de 120 imágenes de la Placa Gladiador modo renderizado Luminance Unsharp Mask (gain 100 )

### 3.3.2 Segunda Escala: Rapada (Hugo Pires)

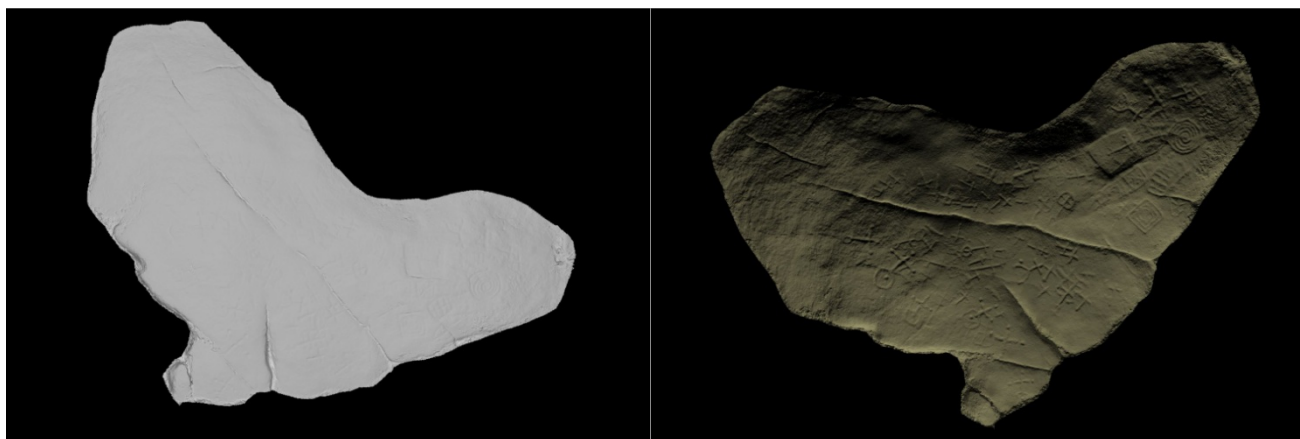


Ilustración 36: Izquierda, Imagen de la Piedra Rapada digitalizada por Hugo Pires. Derecha, Imagen RTI de 120 imágenes de la Piedra Rapada modo renderizado Default.

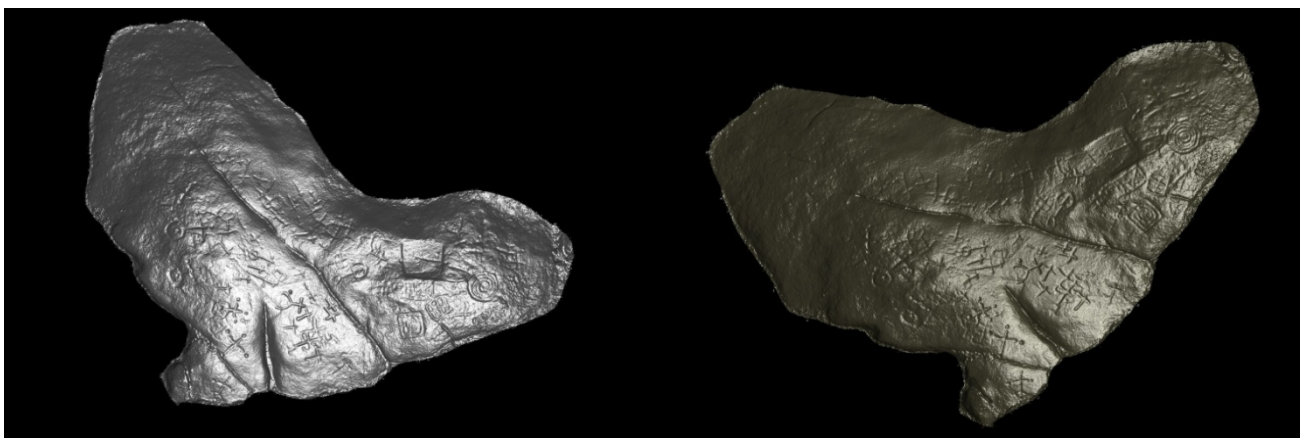


Ilustración 37: Izquierda, Imagen RTI de 36 imágenes de la Piedra Rapada modo renderizado Specular Enhancement (diffuse 40 / specular 70 / highlight 75) . Derecha, Imagen RTI de 120 imágenes de la Piedra Rapada modo renderizado Specular Enhancement (diffuse 40 / specular 70 / highlight 75).

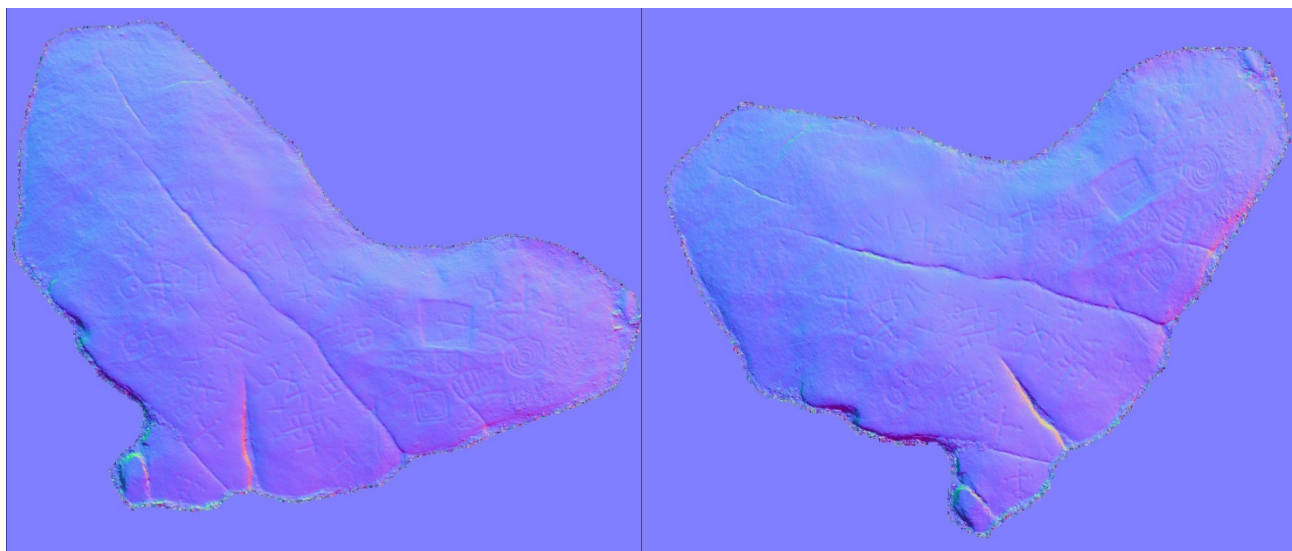


Ilustración 38: Izquierda, Imagen RTI de 36 imágenes de la Piedra Rapada modo renderizado Normals Visualization. Derecha, Imagen RTI de 120 imágenes de la Piedra Rapada modo renderizado Normals Visualization.

### 3.3.3 Tercera Escala:

### Marte

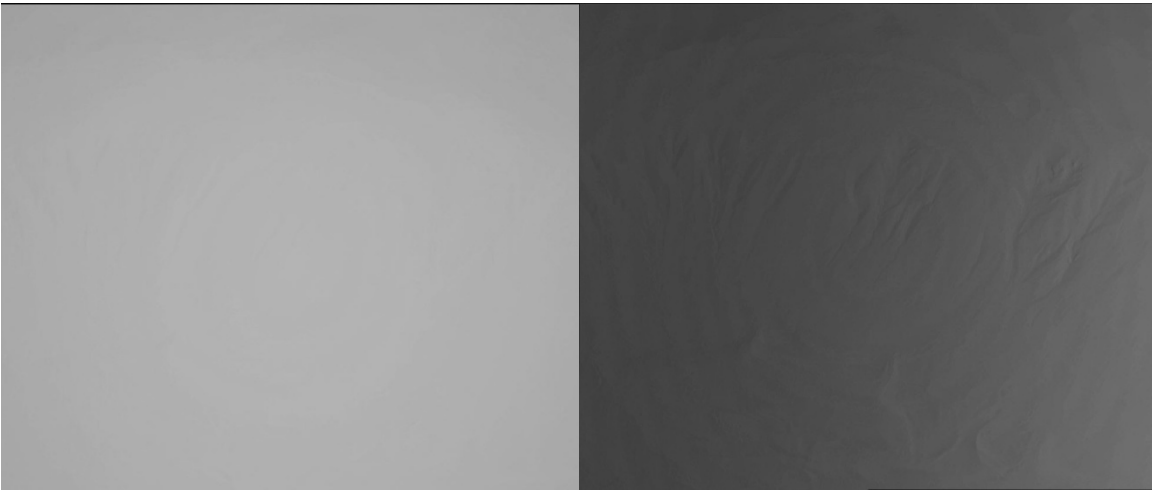


Ilustración 39: Izquierda, Imagen de Marte extraída de la Nasa. Derecha, Imagen RTI de 120 imágenes de Imagen de Marte modo renderizado Default.

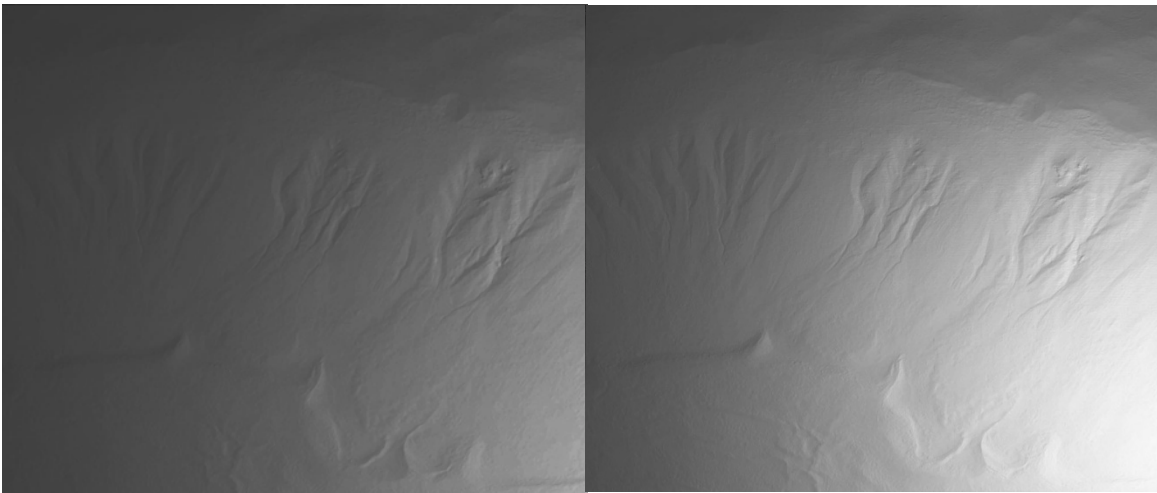


Ilustración 40: Izquierda, Imagen RTI de 36 imágenes de Marte modo renderizado Specular Enhancement (diffuse 40 / specular 70 / highlight 75) . Derecha, Imagen RTI de 120 imágenes de Marte modo renderizado Specular Enhancement (diffuse 40 / specular 70 / highlight 75).

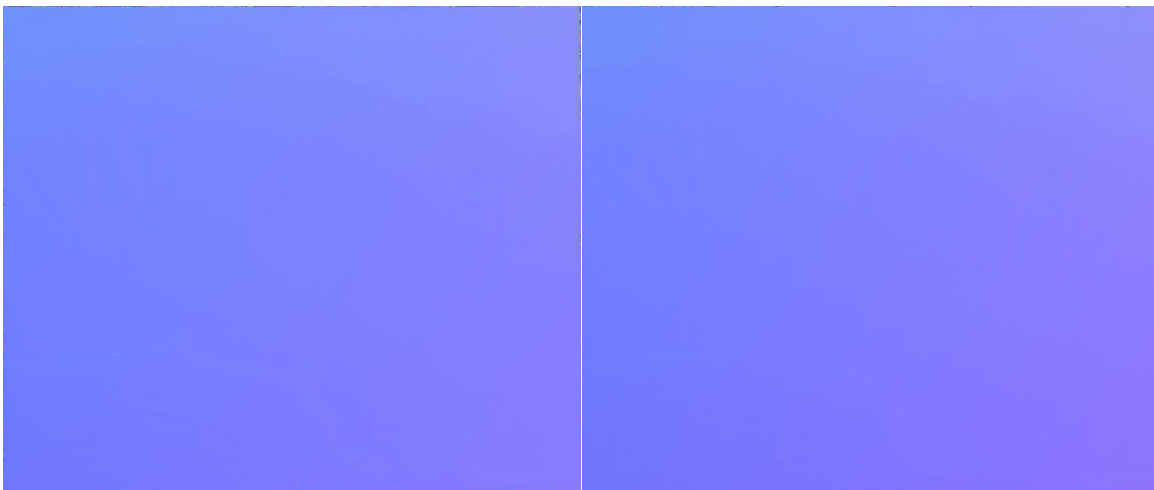


Ilustración 41: Izquierda, Imagen RTI de 36 imágenes de Marte modo renderizado Normals Visualization. Derecha, Imagen RTI de 120 imágenes de la Marte modo renderizado Normals Visualization.

## 4. Capítulo IV: Conclusiones e Investigación a Futuro

### 4.1 Conclusiones

Se procede a la descripción de las conclusiones parciales descritas a cada capítulo del proyecto. En el marco teórico conceptual del Patrimonio Cultural, **Capítulo I: Marco Teórico Conceptual de las RTI en Patrimonio Cultural**, se establece el concepto Patrimonio como término de la Antigua Roma debido a la integración del concepto con base latina al Euskera, idioma que coexistió con el Latín y no teniendo presente una palabra para este hecho. Cuyo significado se acepta como la herencia del padre, no necesariamente material, sino más bien espiritual.

La relación cíclica entre el Patrimonio Cultural, Grupo Técnico y Grupo Social, se actualiza considerando ciclo bidireccional de grupo Técnico y Social gracias a la presencia de la Geomática para la solución de problemas presentes en su interpretación y análisis. Por ello se debe llegar al cambio del pensamiento y la consideración de la Geomática como enlace entre el Grupo Social y el Grupo Técnico, y potenciando así el uso de las metodologías que se proponen para la ayuda de la interpretación del Patrimonio como nuevos métodos para la educación, entretenimiento, difusión...

El flujo clásico para la generación de imágenes RTI presenta limitaciones debido a la necesidad del uso del domo (envolvente de luces) para el tratamiento lumínico. Imposibilitando el uso de esta metodología en objetos de tamaño medio-grande.

La virtualización del flujo clásico presenta debilidad en la fase de la digitalización del objeto causada por la precisión con la que se genera la malla. No obstante, posibilita trabajar objetos de cualquier tamaño y permite el control completo de la envolvente virtual para el tratamiento lumínico (tipo de luz, intensidad, posición, lente de cámara, etc). La necesidad de tratamiento manual en el laboratorio virtual, también se considera un obstáculo, ya que requiere la presencia de usuario para proceder a la estimulación de luces. Sin embargo, el flujo RTI-DPh presenta como punto fuerte la alternativa de la automatización parcial del tratamiento lumínico en el laboratorio virtual y la novedad de integrar las coordenadas exactas de la posición de las luces en la envolvente virtual. Evitando así la presencia de bolas con

reflexión especular en el escenario lumínico para el reconocimiento, poco preciso de la posición de las luces.

Los resultados obtenidos en *Capítulo 3.3* mediante el flujo de trabajo RTI-DPh se consideran aptos, por superar con creces los objetivos inicialmente propuestos. En el caso de Marte se visualiza con alta resolución los conocidos Gully que permite interpretar la formación de surcos generados por un accidente geográfico creado por corriente de agua erosionando fuertemente el suelo. En el caso de la Piedra Rapada (digitalizada por Hugo Pires) se observa clarísimamente las inscripciones que presenta ésta, inscripciones que a simple vista son complicadas de extraer. Y en el caso de la Placa del Gladiador, se observa una serie de arañazos, posiblemente con algún significado, que el ojo humano (sin ayuda) no tiene capacidad para visualizar.

En conclusión, el flujo RTI-DPh, la virtualización del procedimiento para imágenes RTI, permite generar imágenes RTI para cualquier tamaño, controlando en su totalidad el laboratorio virtual (forma geométrica de la envolvente virtual, posición de luces, tipo de luz, intensidad, posición de cámara, tipo de lente, resolución, etc...) y proporcionando resultados con calidad asombrosa.

## **4.2 Investigación a Futuro**

Habiendo demostrado que el flujo RTI-DPh facilita la interpretación o extracción de información del Patrimonio Cultural, se proponen los siguientes puntos como investigación a futuro

1. Continuar la investigación en la geometría de la envolvente
2. Generar una Visualización RTIViewer para un modelo 3D
3. Vectorización del RTI
4. Evitar el punto débil en la generación de la Malla (Escáner – Fotogrametría)
5. Mejorar difusión de la visualización del RTI

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Aliaga, D. 2008 [Digital Inspection: An Interactive Stage for Viewing Surface Details](#), *Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics (I3D)*, p. 53-60. (accessed Jan 7, 2012)

Aliaga, D., A. Law and Y. H. Yeung. 2008 [A Virtual Restoration Stage for Real-World Objects](#), *ACM Transactions on Graphics (also ACM SIGGRAPH Asia)*, 27(5): 10 pages. (accessed Jan 7, 2012)

Altin, C., and I. Ozik. 2008 [Applications of Surface Metrology to Issues in Art](#), a Bachelor of Science project report, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA. (accessed Jan 14, 2012)

Anderson, S. and M. Levoy. 2002 [Unwrapping and visualising cuneiform tablet](#), *IEEE Computer Graphics and Applications*. 22(6):82-88. (accessed Jan 7, 2012)

Artal-Isbrand, P., P. Klausmeyer, W. Murray. 2011 [An Evaluation of Decorative Techniques on a Red- Figure Attic Vase from the Worcester Art Museum using Reflectance Transformation Imaging \(RTI\) and Confocal Microscopy with a Special Focus on the "Relief Line](#), Worcester Art Museum, Worcester, MA. (accessed Jan 14, 2012)

Barbosa, J., P. Bernardes, M. Almeida, P. Gomes, R. Goncalves and A. Proenca. 2008 [A Technology Cocktail for a 3D Photo-Realistic Model of a I Century Roman Fountain: Range Scanning, RTI and Physically Based Rendering](#), *The 9th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*. M. Ashley, S. Hermon, A. Proenca, and K. Rodriguez-Echavarria (eds.) (accessed Jan 11, 2012 abstract only)

Barbosa, J., J. Sobral, A. Proença. 2007 [Imaging Techniques to Simplify the PTM Generation of a Bas- Relief](#), *8th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2007)*, Brighton, UK, Nov. 2007. (accessed Jan 7, 2012)

Benyoussef, L. and S. Derrode. 2011 [Analysis of Ancient Mosaic Images for Dedicated Applications](#), in *Digital Imaging for Cultural Heritage Preservation: Analysis, Restoration, and Reconstruction of Ancient Artworks*. Stanco, F. and S. Battiato, eds., CRC Press. (accessed Jan 14, 2012)



Bernardini, F., Martin, I., Mittleman, J., Rushmeier, H., Taubin, G. 2002 [Building a Digital Model of Michelangelo's Florentine Pieta](#), *IEEE Computer Graphics and Applications*, 22(1):59-67. (accessed Dec 19, 2011)

Bertesaghi, A., G. Sapiro, T. Malzbender, D. Gelb. 2005 [Three-dimensional Shape Rendering from Multiple Images](#), *Graphics Models*, 67:332- 346. (accessed Dec 19, 2011)

Berthold K., P. Horn, R. J. Woodham and W. M. Silver. 1978 [Determining shape and reflectance using multiple images](#), *Memo 490 of the MIT Artificial Intelligence Laboratory*. (accessed Jan 7, 2012)

Aliaga, D. 2008 [Digital Inspection: An Interactive Stage for Viewing Surface Details](#), *Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics (I3D)*, p. 53-60. (accessed Jan 7, 2012)

Aliaga, D., A. Law and Y. H. Yeung. 2008 [A Virtual Restoration Stage for Real-World Objects](#), *ACM Transactions on Graphics (also ACM SIGGRAPH Asia)*, 27(5): 10 pages. (accessed Jan 7, 2012)

Altin, C., and I. Ozik. 2008 [Applications of Surface Metrology to Issues in Art](#), a Bachelor of Science project report, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA. (accessed Jan 14, 2012)

Anderson, S. and M. Levoy. 2002 [Unwrapping and visualising cuneiform tablet](#), *IEEE Computer Graphics and Applications*. 22(6):82-88. (accessed Jan 7, 2012)

Artal-Isbrand, P., P. Klausmeyer, W. Murray. 2011 [An Evaluation of Decorative Techniques on a Red- Figure Attic Vase from the Worcester Art Museum using Reflectance Transformation Imaging \(RTI\) and Confocal Microscopy with a Special Focus on the "Relief Line](#), Worcester Art Museum, Worcester, MA. (accessed Jan 14, 2012)

Barbosa, J., P. Bernardes, M. Almeida, P. Gomes, R. Goncalves and A. Proenca. 2008 [A Technology Cocktail for a 3D Photo-Realistic Model of a I Century Roman Fountain: Range Scanning, RTI and Physically Based Rendering](#), *The 9th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*. M. Ashley, S. Hermon, A. Proenca, and K. Rodriguez-Echavarria (eds.) (accessed Jan 11, 2012 abstract only)

- Barbosa, J., J. Sobral, A. Proença. 2007 [Imaging Techniques to Simplify the PTM Generation of a Bas-Relief](#), *8th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2007)*, Brighton, UK, Nov. 2007. (accessed Jan 7, 2012)
- Benyoussef, L. and S. Derrode. 2011 [Analysis of Ancient Mosaic Images for Dedicated Applications](#), in *Digital Imaging for Cultural Heritage Preservation: Analysis, Restoration, and Reconstruction of Ancient Artworks*. Stanco, F. and S. Battiato, eds., CRC Press. (accessed Jan 14, 2012)
- Bernardini, F., Martin, I., Mittleman, J., Rushmeier, H., Taubin, G. 2002 [Building a Digital Model of Michelangelo's Florentine Pieta](#), *IEEE Computer Graphics and Applications*, 22(1):59-67. (accessed Dec 19, 2011)
- Bertesaghi, A., G. Sapiro, T. Malzbender, D. Gelb. 2005 [Three-dimensional Shape Rendering from Multiple Images](#), *Graphics Models*, 67:332- 346. (accessed Dec 19, 2011)
- Berthold K., P. Horn, R. J. Woodham and W. M. Silver. 1978 [Determining shape and reflectance using multiple images](#), *Memo 490 of the MIT Artificial Intelligence Laboratory*. (accessed Jan 7, 2012)
- Bruckbauer, L., C. Rezk-Salama and A. Kolb 2010 [Relighting Spherical Light Fields with Polynomial Texture Mapping](#), *Vision, Modeling, and Visualization*. Eurographics Association pp. 73-80. (abstract only accessed Jan 15, 2012)
- Chabries, D.M., S. Booras, G. Bearman. 2003 [Imaging the past: recent applications of multispectral imaging technology to deciphering manuscripts](#), *Antiquity* 296:359-372. (accessed Jan 8, 2012 Abstract only)
- Chalmers, Alan, M. Mudge and L. P. Santos. 2011 [Special section on cultural heritage](#). *Computers & Graphics* 35:v-vi. (accessed Mar 17, 2012)
- Choudhury, B., and S. Chandran. 1997 [A survey of image-based relighting techniques](#), in *Proceedings of the Eurographics Workshop on Rendering Techniques '97*, London, England, pages 13–22. (accessed Jan 7, 2012)

Cohen, Jonathan, D. Duncan, D. Snyder, J. Cooper, S. Kumar, D. Hahn, Y. Chen, B. Purnomo, and J. Graettinger. 2004 [iClay: Digitizing Cuneiform](#), in *The 5th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2004)* Chrysanthou, Y., K. Cain, N. Silberman, F. Niccolucci (eds.). (accessed Jan 8, 2012)

Coleman, E. North and Ramesh Jain 1981 [Shape from shading for surfaces with texture and specularly](#), International Joint Conference on Artificial Intelligence vol 2, 24-28 August, 1981, University of British Columbia Vancouver, B.C., Canada. (accessed Dec 20, 2011)

Cornwell, Hannah and Kathryn E. Piquette. 2011 [Shedding Light on Ancient Documents](#), Center for the Study of Ancient Documents, Oxford University, CSAD Newsletter 14, Winter, 2011. (accessed Jan 5, 2012)

Corsini, M., M. Dellepiane, M. Callieri and R. Scopigno. 2006 [Reflection Transformation Imaging on Larger Objects : an Alternative Method for Virtual Representations](#), in *Space to place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archeology*, also *British Archeological Reports*, 1568:407-414. (accessed Jan 9, 2012)

Debevec, P., T. Hawkins, C. Tchou, H. Duiker, W. Sarokin, and M. Sagar. 2000 [Acquiring the reflectance field of a human face](#), in *SIGGRAPH '00: Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, p. 145–156, New York, NY, USA, 2000. (accessed Dec 23, 2011).

Dellepiane, M., M. Corsini, M. Callieri, R. Scopigno. 2006 [High quality PTM acquisition: reflection transformation imaging for large objects](#) in Ioannides, M., D. Arnold, F. Niccolucci and K. Mania. (eds.), *VAST06: Proceedings of the 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage*, Cyprus, 2006, p.179-186. (accessed Jan 8, 2012)

Devlin, K., A. Chalmers, D. Brown. 2002 [Predictive lighting and perception in archaeological](#) representation in *UNESCO "World Heritage in the Digital Age" 30th Anniversary Digital Congress*. UNESCO World Heritage Centre, October 2002. (accessed Jan 11, 2012)

Drew, M., N. Hajari, Y. Hel-Or, T. Malzbender. 2009 [Specularity and shadow interpolation via robust polynomial texture maps](#), *Proceedings of the British Machine Vision Conference, 2009*. (accessed Jan 7, 2012)

Duffy, S. M. 2010 [Polynomial texture mapping at Roughing Linn rock art site](#), *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. 2010. (accessed Jan 9, 2012)

Earl, G.P. 2009 Physical and photo-realism: The Herculaneum Amazon, in *Proceedings of Arqueologica 2.0* Seville, 2009.

Earl, Graeme, G. Beale, K. Martinez, H. Pagi. 2010 [Polynomial texture mapping and related imaging technologies for the recording, analysis and presentation of archaeological materials](#), *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 38, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. 2010. (accessed Jan 3, 2012)

Earl, G., K. Martinez and T. Malzbender 2010 [Archaeological applications of polynomial texture mapping: analysis, conservation and representation](#), *Journal of Archaeological Science*, p1-11. (accessed Dec 23, 2011)

Earl, Graeme et. al. 2011 '[Reflectance Transformation Imaging Systems for Ancient Documentary Artefacts](#)', in *Electronic Visualisation and the Arts*, July, London (accessed Jan 2, 2012)

Earl, Graeme, G. Beale, H. Pagi and N. Smith. 2011 Reflectance transformation: an approach for imaging archaeological finds. *The Archaeologist*, 81:36-37. (accessed Mar 17, 2012 abstract only)

Edmunds, M., A. Freeth, Y. Bitsakis, X. Moussas, J. Seiradakis, E. Magkou, M. Zafeiropoulou, P. Haycock, P. Hadland, A. Ramsay, D. Gelb, T. Malzbender. 2006 [The Antikythera mechanism e real progress through Greek/UK/US research](#), in *7th International Conference of the Hellenic Astronomical Society* ed. N.H. Solomos 2006 pp.913-918. (accessed Jan 8, 2012)

Einarson, Per, T. Hawkins and P. Debevec. 2004 [Photometric Stereo for Archeological Inscriptions](#),

*Siggraph Sketch*. (accessed Dec 22, 2011)

Epstein, R., A. Yuille, P. Belhumeur. (1996) [Learning Object Representations from Lighting Variation](#),

*European Conference on Computer Vision*, pp. 179-199. (accessed Dec 26, 2011)

Fassold, Hannes, R. Danzl, K. Schindler, H. Bischof. 2004 [Reconstruction of Archaeological Finds using Shape from Stereo and Shape from Shading](#). *Proceedings of the 9th Computer Vision Winter Workshop (February 2004)*. (accessed Mar 17, 2012)

Freeth, T., Y. Bitsakis, X. Moussas, J. Seiradakis, A., A. Tselikas, H. Mangou, M. Zafeiropoulou, R. Hadland, D. Bate, A. Ramsey, M. Allen, A. Crawley, P. Hockley, T. Malzbender, D. Gelb, W. Ambrisco,

M. Edmunds. 2006 [Decoding the Ancient Greek Astronomical Calculator known as the Antikythera Mechanism](#), *Nature*, 444:587-591. (accessed Jan 9, 2012 abstract only)

Goskar, T. A. and Earl, G. P. 2010 [Polynomial texture mapping for archaeologists](#), *British Archaeology*

111, 28-31. (accessed Dec 23, 2011)

Goskar, T. A. and Cripps, P. 2011 [Interactive Landscape Relighting](#) in *Remote Sensing and Photogrammetry Society, Archaeology Special Interest Group Newsletter* (Spring 2011), 4-5. (accessed Dec 23, 2011)

Gunawardane, P., O. Wang, S. Scher, I. Rickard, J. Davis, T. Malzbender. 2009 [Optimized image sampling for view and light interpolation](#), in *Proceedings of the 10th International Symposium on Virtual Reality, Archeology and Cultural Heritage, VAST 2009*, Sept. 23rd, 2009. (accessed Jan 8, 2012)

- Hahn, D. V., K. Baldwin and D. Duncan. 2007 [Non-laser-based scanner for three-dimensional digitization of historical artifacts](#), *Applied Optics*, 46(15):2838-2850. (accessed Jan 3, 2012)
- Hammer, O., S. Bengston, T. Malzbender, D. Gelb. 2002 [Imaging Fossils Using Reflectance Transformation and Interactive Manipulation of Virtual Light Sources](#), *Palaeontologia Electronica*, Aug. 23, 2002. (accessed Dec 20, 2011)
- Happa et. al. 2009 [Virtual relighting of a Roman statue head from Herculaneum: a case study](#), [AFRIGRAPH '09 Proceedings of the 6th International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualisation and Interaction in Africa](#). p. 5-9. (accessed Dec 23, 2011)
- Happa et. al., 2010 [Illuminating the past: state of the art](#), *Virtual Reality* 14(3):155-182. (accessed Dec 29, 2011).
- Hawkins, Tim, J. Cohen, P. Debevec. 2001 [A Photometric Approach to Digitizing Cultural Artifacts](#) *Proceedings of VAST'01 the 2001 conference on Virtual reality, archeology, and cultural heritage*. p. 333-342. (accessed Dec 23, 2011).
- Hel-Or, Yacov, T. Malzbender, D. Gelb. 2003 [Synthesis and Rendering of 3D Textures](#), *Texture 2003 - 3rd International Workshop on Texture Analysis and Synthesis*, Nice, France, 2003. (accessed Jan 3, 2012)
- Huang, Xiang, A. Mohan and J. Tumblin 2008 [Deep shadows in a shallow box](#), *Proceedings of SPIE Electronic Imaging Conference*. (accessed Dec 22, 2011)
- Hunt, L., M. Lundberg, B. Zuckerman. 2004 [Inscriptifact: A virtual archive of ancient inscriptions from the Near East](#), *International Journal on Digital Libraries* 00:1–14. (accessed Jan 8, 2012)
- Karsten, A. and G. Earl. 2010 [Stirling Castle Wood Recording Project: A Pilot Study comparing traditional and innovative recording techniques for waterlogged wood](#), *English Heritage Research Report Series* no. 65. (accessed Jan 7, 2012)
- LaFortune, E., S. Foo, K. Torrance, D. Greenberg. 1997 [Non-linear approximation of reflectance](#) functions, in *SIGGRAPH'97: Proceedings of the 24th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, p.117-126. (accessed Jan 8, 2012)

Lundberg, M.L., 2006 [New Technologies: Reading Ancient Inscriptions in Virtual Light](#), USC West Semitic Research Project. (accessed Jan 9, 2012)

Lyon, C. 2004 [Viewing Polynomial Texture Maps Using Java](#), Paper for Independent Study in Computer Graphics, Harvard Extension School.

Macdonald, Lindsay. 2010 [The Limits of Resolution](#), *Electronic Visualisation and the Arts Conference*, London. July 6, 2010. (accessed Jan 16, 2012)

Macdonald, Lindsay. 2011 [Visualising an Egyptian Artefact in 3D: Comparing RTI with Laser Scanning](#),

*Electronic Visualisation and the Arts*, p.155-162. (accessed Jan 9, 2012)

Malzbender, T, D. Gelb, and H. Wolters. 2001 [Polynomial texture maps](#), in *Computer Graphics, Proceedings of ACM Siggraph*, p.519–528. (accessed Dec 29, 2011)

Malzbender, T, D. Gelb, H. Wolters. 2001 [Polynomial Texture Map \(.ptm\) File Format](#), *HP Labs Technical Report HPL-2000-38R1*, Hewlett-Packard Laboratories, Palo Alto, California. (accessed Jan 2, 2012)

Malzbender, T, D. Gelb,, H. Wolters and B. Zuckerman. 2000 [Enhancement of Shape Perception by Surface Reflectance Transformation](#), *HP Labs Technical Report HPL-2001-104*, Hewlett-Packard Laboratories, Palo Alto, California. (accessed Dec 29, 2011)

Malzbender, T., E. Ordentlich, 2005 [Maximum entropy lighting for physical objects](#), *Technical Report HPL-2005-68*, Hewlett-Packard Laboratories, Palo Alto, California · April 21, 2005. (accessed Jan 8, 2012)

Malzbender, T, B. Wilburn, D. Gelb and B. Ambrisco. 2006 '[Surface Enhancement Using Real-time Photometric Stereo and Reflectance Transformation](#)', *Proceedings of the European Symposium on Rendering 2006*. (accessed Dec 19, 2011)

Manfredi, M., Williamson, G., Kronkright D., Doehne, Eric., Jacobs, M., Marengo, Emilio. And Bearman, G.

Mara, Hubert, S. Krömker, S. Jakob and B. Breuckmann. 2010 GigaMesh and Gilgamesh – 3D Multiscale Integral Invariant Cuneiform Character Extraction, in A. Artusi, M. Joly-Parvex, G. Lucet, A. Ribes, and D. Pitzalis (eds), *The 11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2010)*. (accessed Jan 8, 2012)

Masselus, V., P. Dutre and F. Anrys. 2002 '[The Free-form Light Stage](#)', *Eurographics Workshop on Rendering*, Pisa, Italy, June 26-28. (accessed Dec 29, 2011)

Mudge, Mark, T. Malzbender, C. Schroer, M. Lum. 2006 [New Reflection Transformation Imaging Methods for Rock Art and Multiple-Viewpoint Display](#), *The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST (2006)*. edited by M. Ioannides, D. Arnold, F. Niccolucci, K. Mania.(accessed Dec 21, 2011)

Mudge, M., M. Ashley, C. Schroer. 2007 [A Digital Future for Cultural Heritage](#), in A. Georgopoulos, N. Agriantonis, eds. *The XXI International Symposium CIPA Athens 2007: "Anticipating the Future of the Cultural Past,"* October 1-6, 2007, Athens, Greece. (accessed Jan 9, 2012)

Mudge, M., C. Schroer, G. Earl, K. Martinez, H. Pagi, C. Toler-Franklin, S. Rusinkiewicz, G. Palma, M. Wachowiak, M. Ashley, N. Matthews, T. Noble, M. Dellepiane. 2010 [Principles and Practices of Robust, Photography-based Digital Imaging Techniques for Museums](#) in A. Artusi, M. Joly-Parvex, G. Lucet, A. Ribes, and D. Pitzalis (eds). *The 11th International Symposium on Virtual reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*. (accessed Nov 27, 2011).

Mudge, Mark, Tom Malzbender, Alan Chalmers, Roberto Scopigno, James Davis, Oliver Wang, Prabath Gunawardane, Michael Ashley, Martin Doerr, Alberto Proenca, João Barbosa. 2008 [Image-Based Empirical Information Acquisition, Scientific Reliability, and Long-Term Digital Preservation for the Natural Sciences and Cultural Heritage](#), in M. Roussou and J. Leigh, eds. *Eurographics 2008*. (accessed Jan 9, 2012)

Mudge, Mark, Jean-Pierre Voutaz, Carla Schroer and Marlin Lum. 2005 [Reflection Transformation Imaging and Virtual Representations of Coins from the Hospice of the Grand St. Bernard](#), in M. Mudge, N.Ryan, R. Scopigno. eds. *The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*. (accessed Nov 29, 2011).



Müller, G., J. Meseth, M. Sattler, R. Sarlette, and R. Klein. 2004 [Acquisition, Synthesis and Rendering of Bidirectional Texture Functions](#), in *Eurographics 2004*, The Eurographics Association. (accessed Jan 9, 2012)

Müller, G., G. Bendels, R. Klein. 2005 [Rapid synchronous acquisition of geometry and appearance of cultural heritage artefacts](#), in Mudge, M., Ryan, N., Scopigno, R. (eds.), *The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*. (accessed Jan 8, 2012)

Nemeth, Oscar. 2009 [Mechanical Fixturing of a Polynomial Texture Mapping Acquisition Device: A Major Qualifying Project Report](#). B.A. Research Thesis, Worcester Polytechnic Institute, April 30, 2009. (accessed Jan 2, 2012)

Padfield, J., D. Saunders, T. Malzbender. 2004 [Polynomial texture mapping: a new tool for examining the surface of paintings](#). ICOM Committee for Conservation. (accessed Jan 05, 2012)

Palma, Gianpaolo, M. Corsini, P. Cignoni, R. Scopigno, M. Mudge. 2010 [Dynamic shading enhancement for reflectance transformation imaging](#), *Journal of Computing and Cultural Heritage*, 3(2). (accessed Jan 5, 2012 Abstract only)

Papadopoulos, C. and E. Kefalaki. 2010 [At the computer's edge: the virtue of virtual constructions to the interpretation of cultural heritage](#), *Archaeomatica* 4:46-51. (accessed Jan 05, 2012)

Pintus, R., T. Malzbender, O. Wang, R. Bergman. 2009 [Photo repair and 3D structure from flatbed scanners](#). HPL- 2009 37, HP Laboratories. (accessed Feb 25, 2012)

Pringle, M. and R. Shepherd. 2007 [The Hunt for Submarines in Classical Art: Mappings between scientific invention and artistic inspiration](#), A report to the AHRC's ICT in Arts and Humanities Research Programme, AHDS Visual Arts and the Arts & Humanities Research Council. (accessed Jan 8, 2012)

Rabinowitz, Adam, C. Schroer, and M. Mudge 2009 [Grass-roots Imaging: A Case-study in Sustainable Heritage Documentation at Chersonesos, Ukraine](#), paper presented at *Computer Applications to Archaeology 2009 Williamsburg, Virginia, USA. March 22-26, 2009*. (accessed Dec 23, 2011)

- Redman, J. 2007 [Advances in Digital Imaging for Fine Art and Cultural Heritage](#), *NIP23 and Digital Fabrication 2007* p.355-363.
- Redman, J, and M. Mudge. 2007 [The simultaneous capture of spectral and textural information](#), in *Proceedings of the Society of Imaging Science and Technology Archiving 2007 Conference*, Scott A. Stovall, ed. p.270-4, 2007.
- Slabaugh, G., W. Bruce Culbertson, T. Malzbender, M. Stevens, R. Schafer. 2004 [Methods for Volumetric Reconstruction of Visual Scenes](#), *The International Journal of Computer Vision*, 57(3):179-199. (accessed Jan 9, 2012)
- Stanco, F. and S. Battiato, eds. 2011 [Digital Imaging for Cultural Heritage Preservation: Analysis, Restoration, and Reconstruction of Ancient Artworks](#) CRC Press. (table of contents only accessed Jan. 14, 2012)
- Tarte, S., M. Brady, A. Bowman, M. Terras. 2010 [Image Capture and Processing for Enhancing the Legibility of Incised Texts](#), in *Symposium on Digital Imaging of Ancient Textual Heritage: Technological Challenges and Solutions*, October 28-29, 2010, Helsinki, Finland. (accessed Jan 8, 2012)
- Toler-Franklin, Corey, A. Finkelstein and S. Rusinkiewicz 2007 [Illustration of Complex Real-World Objects using Images with Normals](#), *International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR)*, August 2007. (accessed Jan 2, 2012)
- Toler-Franklin, Corey. 2011 [Matching, Archiving and Visualizing Cultural Heritage Artifacts Using Multi-Channel Images](#). PhD Thesis, Princeton University, May, 2011. (Note: above weblink is to the thesis abstract, the full thesis is at [http://gfx.cs.princeton.edu/pubs/\\_2011\\_MAA/thesis\\_coreytoler-franklin.pdf](http://gfx.cs.princeton.edu/pubs/_2011_MAA/thesis_coreytoler-franklin.pdf)) (accessed Jan 2, 2012).
- Webb, E. K. and M. Wachowiak. 2011 [Imaging Studio Technical Note: Flexible Solutions for Reflectance Transformation Imaging \(RTI\)](#) MCI Imaging Studio, Museum Conservation Institute, Smithsonian Institution, August, 2011 (accessed Jan 2, 2012).
- Wenger, Andreas, A. Gardner, C. Tchou, J. Unger, T. Hawkins, P. Debevec. 2005 Performance [Relighting and Reflectance Transformation with Time-Multiplexed Illumination](#), in *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2005*, 24:3, July 2005 (accessed Jan 3, 2012).

Willems, G., F. Verbiest, W. Moreau, H. Hameeuw, K. Lerberghe, L. Gool. 2005 [Easy and cost-effective cuneiform digitizing](#), in M. Mudge, N. Ryan, and R. Scopigno *The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST2005)*. Eurographics Association pp. 73-80. (accessed Jan 8, 2012)

Willis, A. and D. Cooper. 2008 [Computational Reconstruction of Ancient Artifacts](#), *Signal Processing Magazine IEEE*, 25(4):65-83. [IEEE Proof](#).(accessed Jan 14, 2012)

Wong, T., P. Heng, S. Or and W. Ng. 1997 [Image-based rendering with controllable illumination](#), in *Rendering Techniques 97: Proceedings of the 8th Eurographics Workshop on Rendering*, p.13-22. (accessed Jan 7, 2012)

Woodham, R. 1980 [Photometric method for determining surface orientation from multiple images](#), *Optical Engineering* 19(1):139-144. (accessed Jan 7, 2012)

Zanyi, E., C. Schroer, M. Mudge, and A. Chambers. [Lighting and Byzantine Glass Tesserae](#), *Proceedings of the Electronic Visualization and the Arts*, London Conference, July 11-13, 2007. (accessed Jan 9, 2012)

Zuckerman, B. 2010 [Imaging of the Dead Sea Scrolls](#), USC West Semitic Research Project. (accessed Jan 9, 2012)

G. Earl, K. Martinez, T. Malzbender, Archaeological applications of polynomial texture mapping: analysis, conservation and representation. *Journal of Archaeological Science* 37, 2040-2050 (2010).

G. Earl, G. Beale, K. Martinez, Polynomial texture mapping and related imaging technologies for the recording, analysis and presentation of archaeological materials. *International Society* (2010).

G. Bearman, W. Christens-Barry, K. Boydston How Much Data is Enough: Quantitative Spectral Imaging of Texts and Cultural Heritage Objects. *Eikonopoila*, Helsinki, 118 (2011).

E. Marengo, M. Manfredi, O. Zerbinati, E. Robotti, E. Mazzucco, F. Gosetti, G. Bearman, et al. (2011). Development of a technique based on multi-spectral imaging for monitoring the conservation of cultural heritage objects. *Analytica chimica acta*, 706(2), 229-237. doi:10.1016/j.aca.2011.08.045.

E. Marengo, M. Manfredi, O. Zerbinati, E. Robotti, E. Mazzucco, F. Gosetti, G. Bearman, et al. (2011). Technique Based on LED ultispectral Imaging and Multivariate Analysis for Monitoring the Conservation State of the Dead Sea Scrolls. *Anal. Chem.* 2011, 83, 6609-6618.

L. Macdonald and S. Robson (2010), Polynomial Texture Mapping and 3D Representations, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, part 5 Commission V Symposium, Newcastle Upon Tyne, UK.

A. Gabov, G. Bevan, Recording the Weathering of Outdoor Stone Monuments Using Reflectance Transformation Imaging (RTI): The Case of the Guild of All Arts (Scarborough, Ontario). *Journal of the Canadian Association for Conservation* 36, 3-14 (2011).

P. Gautron, J. Krivanek, S. Pattanaik, K. Bouatouch (2004), A Novel Hemispherical Basis for Accurate and Efficient Rendering, *Eurographics Symposium on Rendering*, H. W. Jensen, A. Keller (Editors).

J. García (2013), *La Cultura Digital para la Puesta en Valor del Patrimonio: Generación de Productos Patrimoniales con Alcance Educativo*, Universidad de Valladolid

B. Curless, M. Levoy, Better optical triangulation through spacetime analysis, *Proceedings of Fifth International Conference on Computer Vision* 20e23 (June 1995) 987e994.

M. Rioux, 1994. Digital 3-D imaging: theory and applications, in *SPIE Proceedings, Videometrics III, International Symposium on Photonic and Sensors and Controls for Commercial Applications*, Boston, 2650, pp. 2E15.

J.A. Beraldin, F. Blais, L. Cournoyer, G. Godin, M. Rioux, *Active 3D sensing*, SCUOLA NORMALE SUPERIORE PISA, Centro di Ricerche Informatiche per i Beni Culturali, 2000.

J. Salvi, J. Pages, J. Batlle, Pattern codification strategies in structured light systems, *Pattern Recognition* 37 (4) (April 2004) 827e849.

C. Rocchini, P. Cignoni, C. Montani, P. Pingi, R. Scopigno, A low cost 3D scanner based on structured light, in: A. Chalmers, T.-M. Rhyne (Eds.), *EG 2001 Proceedings*, vol. 20 (3), Blackwell Publishing, 2001, pp. 299E308.

D. Caspi, N. Kiryati, J. Shamir, Range imaging with adaptive color structured light, *Pattern analysis and machine intelligence* 20 (5) (1998) 470e480.

J. Güthring, Dense 3-d surface acquisition by structured light using offthe- shelf components, *Video-metrics and Optical Methods for 3D Shape Measurement* 4309 (2001) 220e231.

O. Hall-Holt, S. Rusinkiewicz, Stripe boundary codes for real-time structured-light range scanning of moving objects, in: *The 8th IEEE International Conference on Computer Vision*, 2001, pp. II: 359e366.

N.G. Durdle, J. Thayyoor, V.J. Raso, An improved structured light technique for surface reconstruction of the human trunk, In: *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2 (1998) 874e 877.

J. Salvi, J. Batlle, E. Mouaddib, A robust-coded pattern projection for dynamic 3d scene measurement, *International Journal of Pattern Recognition Letters* 19 (1998) 1055e1065.

E.M. Petriu, Z. Sakr, H.J.W. Spoelder, A. Moica, Object recognition using pseudo-random color encoded structured light, in: *Proceedings of the 17th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, vol. 3, 2000, pp. 1237E1241.

L. Zhang, B. Curless, S.M. Seitz, Rapid shape acquisition using color structured light and multi-pass dynamic programming, *International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission*, Padova, Italy, 2002.

R.A. Morano, C. Ozturk, R. Conn, S. Dubin, S. Zietz, J. Nissanov, Structured light using pseudorandom codes, *Pattern Analysis and Machine Intelligence* 20 (3) (1998) 322e327.

C. Wust, D.W. Capson, Surface profile measurement using color fringe projection, *Machine Vision and Applications* 4 (1991) 193e203.

E. Horn, N. Kiryati, Toward optimal structured light patterns, *Image and Vision Computing* 17 (2) (1999) 87e97.

J. Salvi, J. Page`s, J. Batlle, Pattern codification strategies in structured light systems, *Pattern Recognition* 37 (4) (2004) 827e849.

S. Tosovic, R. Sablatnig, M. Kampel, On combining shape from silhouette and shape from structured light, in: H. Wildenauer, W. Kropatsch, (Eds.), *Proc. of 7th Computer Vision Winter Workshop, 2002*, pp. 108E118.

A. Laurentini, The visual hull concept for silhouette-based image understanding, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 16 (2) (1994) 150e162.

A. Baumberg, A. Lyons, R. Taylor, 3D S.O.M.dA commercial software solution to 3D scanning, *Vision, Video, and Graphics (2003)*, The Eurographics Association 2003. Eurographics Partner Event Vision, Video, and Graphics 2003. Bath UK.

M. Potmesil, Generating octree models of 3D objects from their silhouettes in a sequence of images, *CVGIP* 40 (1987) 1e29.

H. Noborio, S. Fukuda, S. Arimoto, Construction of the octree approximating three-dimensional objects by using multiple views, *IEEE Trans, on PAMI* 10 (1988) 769e782.

N. Ahuja, J. Veenstra, Generating octrees from object silhouettes in orthographic views, *IEEE Trans, Pattern Analysis and Machine Intelligence* (1989) 137e149.

H.P.A. Lensch, W. Wolfgang Heidrich, H.-P. Seidel, A silhouette-Based algorithm for texture registration and stitching, *Graphical Models* 63 (4) (2001) 245e262.

D. Scharstein, R. Szeliski, A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms, IJCV 2002.

M. Bertozzi, A. Broggi, G. Conte, A. Fascioli, Stereo-Vision System performance analysis, Enabling Technologies for the PRASSI Autonomous Robot, ENEA, Rome, Italy, January 2002, pp. 68e73, ISBN: 8882860248.

A. Chiuso, H. Jin, P. Favaro, S. Soatto, MFm: 3-D Motion and Structure from 2-D Motion Causally Integrated Over Time: Implementation, in: D. Vernon (Ed.), Lect. Notes in Computer Science 1843, Computer Vision and ECCV, 2000, pp. 734E750.

L. Van Gool, F. Defoot, M. Pollefeys, R. Koch, M. Proesmans, M. Vergauwen, Special Lecture: 3D Modeling for Communications, Computer Graphics International, Hannover, Germany, 22e26 June 1998, p. 482.

D.A. Forsyth, Shape from texture without boundaries, Proceedings of the 7<sup>th</sup> European Conference on Computer Vision Part III, 2002, pp. 225E239, ISBN: 3-540-43746-0.

C.-Y. Chen, R. Klette, C.-F. Chen, 3D Reconstruction Using Shape from Photometric Stereo and Contours, Image and Vision Computing, Palmerston North (November 2003).

R. Basri, D. Jacobs, Photometric Stereo with General, Unknown Lighting, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2001).

A. Hertzmann, S.M. Seitz, Shape and materials by example: a photometric stereo approach, Proceedings of CVPR 2003, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.

Y.Y. Schechner, Depth from defocus vs. stereo: how different really are they? International Journal of Computer Vision 89 (2000) 141e162.

P. Favaro, Shape from Focus/Defocus, Washington University, Department of Electrical Engineering, 2002.

M. Nashman, T. Hong, W. Rippey, M. Herman, An integrated vision touch-probe system for dimensional inspection tasks, in Proceedings of the SME Applied Machine Vision '96 Conference, Cincinnati, OH, June 3e6, 1996.

E. Livieratos, Empiric, topographic or photogrammetric recording? Answers to properly phrased questions, in Proceedings of the congress, "Terrestrial Photogrammetry and Geographic Information Systems for the documentation of the National Cultural Heritage", Thessaloniki, 1992.

E. Livieratos, Empiric, topographic or photogrammetric recording? Answers to properly phrased questions, in Proceedings of the congress, "Terrestrial Photogrammetry and Geographic Information Systems for the documentation of the National Cultural Heritage", Thessaloniki, 1992.

J.-Y. Bouguet, P. Perona, 3D Photography on your desk, in Proceedings of the International Conference on Computer Vision, Bombay, India, January 1998.

### **Enlaces web.**

[http://culturalheritageimaging.org/What\\_We\\_Offer/Downloads/rtiviewer/RTIViewer\\_Guide\\_v1\\_1.pdf](http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/rtiviewer/RTIViewer_Guide_v1_1.pdf)

*Guía para RTIViewer*

[http://culturalheritageimaging.org/What\\_We\\_Offer/Downloads/rtibuilder/RTI\\_hlt\\_Processing\\_Guide\\_v14\\_beta.pdf](http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/rtibuilder/RTI_hlt_Processing_Guide_v14_beta.pdf)

*Guía para el procesamiento de la imagen highlight*

[http://culturalheritageimaging.org/What\\_We\\_Offer/Downloads/RTI\\_Hlt\\_Capture\\_Guide\\_v2\\_0.pdf](http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/RTI_Hlt_Capture_Guide_v2_0.pdf)

*Guía para la captura de imagen highlight*

[http://culturalheritageimaging.org/What\\_We\\_Offer/Downloads/Capture/CHI-RTI-Glossary\\_v1.pdf](http://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/Capture/CHI-RTI-Glossary_v1.pdf)

*Glosario de términos fotográficos y técnicos para RTI*



## 6. Anexos

### 6.1 Anexo1: Código del Programa *Laboratoio Virtual*

#### 6.1.1 Menú Principal

```
Public Class Principal
```

```
    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As  
System.EventArgs) Handles Button1.Click  
        If Rad_Bas.Checked Then  
            Basic.Show()  
        ElseIf Rad_Avdo.Checked Then  
            Avz.Show()  
        Else  
            MsgBox("Seleccione Básico o Avanzado")  
        End If  
  
End Sub
```

#### 6.1.2 Uso Básico

```
Imports System.IO
```

```
Public Class Basic
```

```
    Dim radio As Double
```

```
    Dim dir As String
```

```
    Private Sub Basic_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)  
Handles MyBase.Load
```

```
        Dim alfa, alfa1, beta, altura As Double
```

```
        Dim dist As Double
```

```
        Dim X, Y, Z As String
```

```
        Dim i, j As Integer
```

```
        alfa = 360 / 12
```

```
        radio = 1
```

```
        beta = 15
```

```
        dgv_tabla1.Rows.Clear()
```

```
        dgv_tabla1.Rows.Add(FormatNumber(0, 6), FormatNumber(0, 6), FormatNumber(radio,  
6))
```

```
        For i = 1 To 3
```

```
            dist = Math.Cos(beta * Math.PI / 180) * radio
```

```

altura = Math.Sin(beta * Math.PI / 180) * radio
beta = beta + 30

For j = 1 To 12
    alfa1 = j * alfa

    X = FormatNumber(dist * Math.Sin(alfa1 * Math.PI / 180), 6)
    Y = FormatNumber(dist * Math.Cos(alfa1 * Math.PI / 180), 6)
    Z = FormatNumber(altura, 6)

    dgv_tabla1.Rows.Add(X, Y, Z)

Next
Next
End Sub

Private Sub TxtToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles TxtToolStripMenuItem.Click
    Dim i As Integer
    dir = TRuta2.Text
    SaveFileDialog1.Filter = "(*.lp)|*.lp"

    If SaveFileDialog1.ShowDialog() = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
        Dim linea As String
        Dim escribir As New StreamWriter(New FileStream(SaveFileDialog1.FileName,
FileMode.OpenOrCreate))
        For i = 1 To dgv_tabla1.RowCount - 2
            If i > 9 Then
                linea = dir & "\jpeg-exports\img0" & i & vbTab & dgv_tabla1.Item(2,
i).Value & vbTab & dgv_tabla1.Item(1, i).Value & vbTab & dgv_tabla1.Item(0, i).Value
                escribir.WriteLine(linea)
            Else
                linea = dir & "\jpeg-exports\img00" & i & vbTab &
dgv_tabla1.Item(2, i).Value & vbTab & dgv_tabla1.Item(1, i).Value & vbTab &
dgv_tabla1.Item(0, i).Value
                escribir.WriteLine(linea)
            End If
        Next
        escribir.Flush()
    End If
End Sub

```

```

        escribir.Close()
        escribir = Nothing
    End If
End Sub

Private Sub ToolStripMenuItem2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ToolStripMenuItem2.Click

    Dim i As Integer

    SaveFileDialog1.Filter = "(*.ms)|*.ms"

    If SaveFileDialog1.ShowDialog() = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
        Dim linea As String
        Dim escribir As New StreamWriter(New FileStream(SaveFileDialog1.FileName,
FileMode.OpenOrCreate))

        linea = "function GDLight unaposicion = (l1=omnilight(
l1.position=unaposicion)"
        escribir.WriteLine(linea)
        linea = "cam1=freecamera()"
        escribir.WriteLine(linea)
        linea = "cam1.position = [" & dgv_tabla1.Item(0, 0).Value & "," &
dgv_tabla1.Item(1, 0).Value & "," & dgv_tabla1.Item(2, 0).Value & "]"
        escribir.WriteLine(linea)

        For i = 1 To dgv_tabla1.RowCount - 2

            linea = "GDLight[" & dgv_tabla1.Item(0, i).Value & "," &
dgv_tabla1.Item(1, i).Value & "," & dgv_tabla1.Item(2, i).Value & "]"
            escribir.WriteLine(linea)
        Next
        linea = "$*.enabled=off"
        escribir.WriteLine(linea)

        escribir.Close()
        escribir = Nothing
    End If

```

```
End Sub
```

```
Private Sub ProcesadoEnMaxScripttxtToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
ProcesadoEnMaxScripttxtToolStripMenuItem.Click
    Dim i As Integer
    Dim dir As String

    dir = TRuta2.Text
    SaveFileDialog1.Filter = "(*.ms)|*.ms"

    If SaveFileDialog1.ShowDialog() = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
        Dim linea As String
        Dim escribir As New StreamWriter(New FileStream(SaveFileDialog1.FileName,
FileMode.OpenOrCreate))

        For i = 1 To 36
            If i > 9 Then
                linea = "$omni0" & i & ".enabled=on"
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "r=render camera:$camera01 outputwidth:1600
outputheight:1200"
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "r.filename=" & Chr(34) & dir & "\jpeg-exports\img0" & i &
".tif" & Chr(34)
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "save r"
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "$omni" & i & ".enabled=off"
                escribir.WriteLine(linea)
            Else
                linea = "$omni00" & i & ".enabled=on"
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "r=render camera:$camera01 outputwidth:1600
outputheight:1200"
```

```

        escribir.WriteLine(linea)
        linea = "r.filename=" & Chr(34) & dir & "\jpeg-exports\img00" & i &
".tif" & Chr(34)
        escribir.WriteLine(linea)
        linea = "save r"
        escribir.WriteLine(linea)
        linea = "$omni00" & i & ".enabled=off"
        escribir.WriteLine(linea)
    End If
Next

    escribir.Close()
    escribir = Nothing
End If
End Sub
End Class

```

### 6.1.3 *Uso Avanzado*

```
Imports System.IO
```

```
Public Class Avz
```

```
    Dim n, v, imhori, imverti As Integer
```

```
    Dim luzint As Double
```

```
    Dim dir As String
```

```
    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Button1.Click
```

```
        Dim i, j, ne, beta, angulo As Integer
```

```
        Dim a, b, x, y, z As String
```

```
        Dim r1, r2, alfa, alf, dist, altura As Double
```

```
        a = "Semi-Esfera"
```

```
        b = "Semi-Elipsoide"
```

```
        dir = TRuta1.Text
```

```
        While L_Box.Text = a
```

```

n = InputBox("Número de Fotos")
r1 = InputBox("Introducir Radio del Sujeto")
v = InputBox("Número de Elevaciones")
ne = n / v

alf = 360 / ne
dgv_tabla.Rows.Clear()
dgv_tabla.Rows.Add(0, 0, r1, 90.0)

For i = 1 To v
    beta = InputBox("Ángulo de la Elevación")
    dist = Math.Cos(beta * Math.PI / 180) * r1
    altura = Math.Sin(beta * Math.PI / 180) * r1

    For j = 1 To n / v
        alfa = j * alf

        x = FormatNumber(dist * Math.Sin(alfa * Math.PI / 180), 6)
        y = FormatNumber(dist * Math.Cos(alfa * Math.PI / 180), 6)
        z = FormatNumber(altura, 6)
        angulo = FormatNumber(beta, 2)
        dgv_tabla.Rows.Add(x, y, z, angulo)
        L_Box.ClearSelected()
    Next
Next

End While

While L_Box.Text = b
    n = InputBox("Número de Fotos")
    r1 = InputBox("Introducir Radio respecto a la planimetría")
    r2 = InputBox("Introducir Radio respecto a la altimetría")
    v = InputBox("Número de Elevaciones")

    ne = n / v

    alf = 360 / ne
    dgv_tabla.Rows.Clear()
    dgv_tabla.Rows.Add(0, 0, r1, 90.0)

```

```

    For i = 1 To v
        beta = InputBox("Ángulo de la Elevación")
        dist = Math.Cos(beta * Math.PI / 180) * r2
        altura = Math.Sin(beta * Math.PI / 180) * r1

        For j = 1 To n / v
            alfa = j * alf

            x = FormatNumber(dist * Math.Sin(alfa * Math.PI / 180), 6)
            y = FormatNumber(dist * Math.Cos(alfa * Math.PI / 180), 6)
            z = FormatNumber(altura, 6)
            angulo = FormatNumber(beta, 2)
            dgv_tabla.Rows.Add(x, y, z, angulo)
            L_Box.ClearSelected()
        Next
    Next
End While
End Sub

Private Sub TxtToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles TxtToolStripMenuItem.Click
    Dim i As Integer

    SaveFileDialog1.Filter = "(*.lp)|*.lp"

    If SaveFileDialog1.ShowDialog() = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
        Dim linea As String
        Dim escribir As New StreamWriter(New FileStream(SaveFileDialog1.FileName,
FileMode.OpenOrCreate))
        For i = 1 To dgv_tabla.RowCount - 2
            If i > 9 Then
                linea = dir & "\jpeg-exports\img0" & i & vbTab & dgv_tabla.Item(2,
i).Value & vbTab & dgv_tabla.Item(1, i).Value & vbTab & dgv_tabla.Item(0, i).Value
                escribir.WriteLine(linea)
            Else
                linea = dir & "\jpeg-exports\img00" & i & vbTab & dgv_tabla.Item(2,
i).Value & vbTab & dgv_tabla.Item(1, i).Value & vbTab & dgv_tabla.Item(0, i).Value
                escribir.WriteLine(linea)
            End If
        Next
        escribir.Close()
    End If
End Sub

```

```

        escribir = Nothing
    End If
End Sub

Private Sub ToolStripMenuItem2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles ToolStripMenuItem2.Click

    Dim i As Integer

    SaveFileDialog1.Filter = "(*.ms)|*.ms"

    If SaveFileDialog1.ShowDialog() = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
        Dim linea As String
        Dim escribir As New StreamWriter(New FileStream(SaveFileDialog1.FileName,
FileMode.OpenOrCreate))

        linea = "function GDLight unaposition = (l1=omnilight()
l1.position=unaposition)"
        escribir.WriteLine(linea)
        linea = "cam1=freecamera()"
        escribir.WriteLine(linea)
        linea = "cam1.position = [" & dgv_tabla.Item(0, 0).Value & "," &
dgv_tabla.Item(1, 0).Value & "," & dgv_tabla.Item(2, 0).Value & "]"
        escribir.WriteLine(linea)

        For i = 1 To dgv_tabla.RowCount - 2
            linea = "GDLight[" & dgv_tabla.Item(0, i).Value & "," &
dgv_tabla.Item(1, i).Value & "," & dgv_tabla.Item(2, i).Value & "]"
            escribir.WriteLine(linea)

        Next

        linea = "$*.enabled=off"
        escribir.WriteLine(linea)

        escribir.Close()
        escribir = Nothing
    End If
End Sub

```



```

    End If
End Sub

Private Sub ProcesadoParaMaxScripttxtToolStripMenuItem_Click(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
ProcesadoParaMaxScripttxtToolStripMenuItem.Click
    Dim i As Integer
    SaveFileDialog1.Filter = "(*.ms)|*.ms"

    If SaveFileDialog1.ShowDialog() = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
        Dim linea As String
        Dim escribir As New StreamWriter(New FileStream(SaveFileDialog1.FileName,
FileMode.OpenOrCreate))

        For i = 1 To n
            If i > 9 Then
                linea = "$omni0" & i & ".enabled=on"
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "r=render camera:$camera001 outputwidth:" & imhori & "
outputheight:" & imverti
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "r.filename=" & Chr(34) & dir & "\jpeg-exports\img0" & i &
".tif" & Chr(34)
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "save r"
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "$omni0" & i & ".enabled=off"
                escribir.WriteLine(linea)
            Else
                linea = "$omni00" & i & ".enabled=on"
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "r=render camera:$camera001 outputwidth:" & imhori & "
outputheight:" & imverti
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "r.filename=" & Chr(34) & dir & "\jpeg-exports\img00" & i &
".tif" & Chr(34)
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "save r"
                escribir.WriteLine(linea)
                linea = "$omni00" & i & ".enabled=off"
                escribir.WriteLine(linea)
            End If
        Next i
    End If
End Sub

```

```

        End If
    Next

    escribir.Close()
    escribir = Nothing
End If
End Sub

```

```

Private Sub TextBox1_TextChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

```

```

    imhori = CInt(TextBox1.Text)
    If RadioB1.Checked = True Then
        TextBox2.Text = imhori * 9 / 16
        imverti = CInt(TextBox2.Text)
    ElseIf RadioB2.Checked = True Then
        TextBox2.Text = imhori * 3 / 4
        imverti = CInt(TextBox2.Text)
    End If
End Sub

```

```

Private Sub RadioB1_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

```

```

    If RadioB2.Checked = True Then
        RadioB1.Checked = False
    Else
        RadioB1.Checked = True
    End If
End Sub

```

```

Private Sub RadioB2_CheckedChanged(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs)

```

```

    If RadioB1.Checked = True Then
        RadioB2.Checked = False
    Else
        RadioB2.Checked = True
    End If
End Sub

```

```

End Cla

```

## 6.2 Anexo2: Ejemplo Archivos Light Position (\*.lp) y MaxScript (\*.ms)

### 6.2.1 Light Position (\*.lp)

```
LP.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
B6
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img001 5.000000 7.500000 4.330127
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img002 5.000000 4.330127 7.500000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img003 5.000000 0.000000 8.660254
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img004 5.000000 -4.330127 7.500000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img005 5.000000 -7.500000 4.330127
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img006 5.000000 -8.660254 0.000000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img007 5.000000 -7.500000 -4.330127
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img008 5.000000 -4.330127 -7.500000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img009 5.000000 0.000000 -8.660254
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img010 5.000000 4.330127 -7.500000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img011 5.000000 7.500000 -4.330127
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img012 5.000000 8.660254 0.000000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img013 7.071068 6.123724 3.535534
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img014 7.071068 3.535534 6.123724
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img015 7.071068 0.000000 7.071068
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img016 7.071068 -3.535534 6.123724
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img017 7.071068 -6.123724 3.535534
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img018 7.071068 -7.071068 0.000000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img019 7.071068 -6.123724 -3.535534
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img020 7.071068 -3.535534 -6.123724
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img021 7.071068 0.000000 -7.071068
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img022 7.071068 3.535534 -6.123724
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img023 7.071068 6.123724 -3.535534
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img024 7.071068 7.071068 0.000000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img025 8.660254 4.330127 2.500000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img026 8.660254 2.500000 4.330127
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img027 8.660254 0.000000 5.000000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img028 8.660254 -2.500000 4.330127
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img029 8.660254 -4.330127 2.500000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img030 8.660254 -5.000000 0.000000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img031 8.660254 -4.330127 -2.500000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img032 8.660254 -2.500000 -4.330127
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img033 8.660254 0.000000 -5.000000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img034 8.660254 2.500000 -4.330127
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img035 8.660254 4.330127 -2.500000
D:\0000_Tesis_Artza\230514\2\peg-exports\img036 8.660254 5.000000 0.000000
```

### 6.2.2 Luces MaxScript (\*.ms)

```
Luz.ms: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
function GDLight unaposition = (l1=omnilight() l1.position=unaposition)
cam1=frecamara()
cam1.position = [0,0,10]
GDLight [4.330127,7.500000,5.000000]
GDLight [7.500000,4.330127,5.000000]
GDLight [8.660254,0.000000,5.000000]
GDLight [7.500000,-4.330127,5.000000]
GDLight [4.330127,-7.500000,5.000000]
GDLight [0.000000,-8.660254,5.000000]
GDLight [-4.330127,-7.500000,5.000000]
GDLight [-7.500000,-4.330127,5.000000]
GDLight [-8.660254,0.000000,5.000000]
GDLight [-7.500000,4.330127,5.000000]
GDLight [-4.330127,7.500000,5.000000]
GDLight [0.000000,8.660254,5.000000]
GDLight [3.535534,6.123724,7.071068]
GDLight [6.123724,3.535534,7.071068]
GDLight [7.071068,0.000000,7.071068]
GDLight [6.123724,-3.535534,7.071068]
GDLight [3.535534,-6.123724,7.071068]
GDLight [0.000000,-7.071068,7.071068]
GDLight [-3.535534,-6.123724,7.071068]
GDLight [-6.123724,-3.535534,7.071068]
GDLight [-7.071068,0.000000,7.071068]
GDLight [-6.123724,3.535534,7.071068]
GDLight [-3.535534,6.123724,7.071068]
GDLight [0.000000,7.071068,7.071068]
GDLight [2.500000,4.330127,8.660254]
GDLight [4.330127,2.500000,8.660254]
GDLight [5.000000,0.000000,8.660254]
GDLight [4.330127,-2.500000,8.660254]
GDLight [2.500000,-4.330127,8.660254]
GDLight [0.000000,-5.000000,8.660254]
GDLight [-2.500000,-4.330127,8.660254]
GDLight [-4.330127,-2.500000,8.660254]
GDLight [-5.000000,0.000000,8.660254]
GDLight [-4.330127,2.500000,8.660254]
GDLight [-2.500000,4.330127,8.660254]
GDLight [0.000000,5.000000,8.660254]
$*.enabled=off
```

### 6.2.3 Procesado MaxScript (\*.ms)

```
Proc.ms: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
$omni001.enabled=on
r=render camera:$camera001 outputwidth:3200 outputheight:2400
r.filename="d:/0000_Tesis_Artzai/230514/2/jpeg-exports\img001.tif"
save r
$omni001.enabled=off
$omni002.enabled=on
r=render camera:$camera001 outputwidth:3200 outputheight:2400
r.filename="d:/0000_Tesis_Artzai/230514/2/jpeg-exports\img002.tif"
save r
$omni002.enabled=off
$omni003.enabled=on
r=render camera:$camera001 outputwidth:3200 outputheight:2400
r.filename="d:/0000_Tesis_Artzai/230514/2/jpeg-exports\img003.tif"
save r
$omni003.enabled=off
$omni004.enabled=on
r=render camera:$camera001 outputwidth:3200 outputheight:2400
r.filename="d:/0000_Tesis_Artzai/230514/2/jpeg-exports\img004.tif"
save r
$omni004.enabled=off
$omni005.enabled=on
r=render camera:$camera001 outputwidth:3200 outputheight:2400
r.filename="d:/0000_Tesis_Artzai/230514/2/jpeg-exports\img005.tif"
save r
$omni005.enabled=off
$omni006.enabled=on
r=render camera:$camera001 outputwidth:3200 outputheight:2400
r.filename="d:/0000_Tesis_Artzai/230514/2/jpeg-exports\img006.tif"
save r
$omni006.enabled=off
$omni007.enabled=on
r=render camera:$camera001 outputwidth:3200 outputheight:2400
r.filename="d:/0000_Tesis_Artzai/230514/2/jpeg-exports\img007.tif"
save r
$omni007.enabled=off
$omni008.enabled=on
r=render camera:$camera001 outputwidth:3200 outputheight:2400
r.filename="d:/0000_Tesis_Artzai/230514/2/jpeg-exports\img008.tif"
save r
$omni008.enabled=off
$omni009.enabled=on
r=render camera:$camera001 outputwidth:3200 outputheight:2400
r.filename="d:/0000_Tesis_Artzai/230514/2/jpeg-exports\img009.tif"
save r
$omni009.enabled=off
$omni010.enabled=on
r=render camera:$camera001 outputwidth:3200 outputheight:2400
```

### 6.3 Anexo3: Tabla Datos y Gráficos (3.2 Comparativa del LP y reconocimiento HighLight)

#### Datos de Posición de Luces Real

REAL				
Luz_Real				
	$\Sigma$			
		0.00000000	0.00000000	
1.Real Anillo	30	0.48296300	0.83651600	0.25881900
	60	0.83651600	0.48296300	0.25881900
	90	0.96592600	0.00000000	0.25881900
	120	0.83651600	-0.48296300	0.25881900
	150	0.48296300	-0.83651600	0.25881900
	180	0.00000000	-0.96592600	0.25881900
	210	-0.48296300	-0.83651600	0.25881900
	240	-0.83651600	-0.48296300	0.25881900
	270	-0.96592600	0.00000000	0.25881900
	300	-0.83651600	0.48296300	0.25881900
	330	-0.48296300	0.83651600	0.25881900
	360	0.00000000	0.96592600	0.25881900
		$\Sigma$	0.00000000	0.00000000
2.Real Anillo	30	0.35355300	0.61237200	0.70710700
	60	0.61237200	0.35355300	0.70710700
	90	0.70710700	0.00000000	0.70710700
	120	0.61237200	-0.35355300	0.70710700
	150	0.35355300	-0.61237200	0.70710700
	180	0.00000000	-0.70710700	0.70710700
	210	-0.35355300	-0.61237200	0.70710700
	240	-0.61237200	-0.35355300	0.70710700
	270	-0.70710700	0.00000000	0.70710700
	300	-0.61237200	0.35355300	0.70710700
	330	-0.35355300	0.61237200	0.70710700
	360	0.00000000	0.70710700	0.70710700
		$\Sigma$	0.00000000	0.00000000
3.Real Anillo	30	0.12941000	0.22414400	0.96592600
	60	0.22414400	0.12941000	0.96592600
	90	0.25881900	0.00000000	0.96592600
	120	0.22414400	-0.12941000	0.96592600
	150	0.12941000	-0.22414400	0.96592600
	180	0.00000000	-0.25881900	0.96592600
	210	-0.12941000	-0.22414400	0.96592600
	240	-0.22414400	-0.12941000	0.96592600
	270	-0.25881900	0.00000000	0.96592600
	300	-0.22414400	0.12941000	0.96592600
	330	-0.12941000	0.22414400	0.96592600
	360	0.00000000	0.25881900	0.96592600

**Datos de Posición de Caso Bola Central**

<b>Bola1_Central</b>				
	<b>Σ</b>	<u>-0.06670935</u>	<u>0.19929915</u>	<u>3.53063289</u>
1.Central Anillo	30	0.46462682	0.84291726	0.27131614
	60	0.81626240	0.49996918	0.28938990
	90	0.95327800	0.02388579	0.30114868
	120	0.82968616	-0.45739900	0.32001096
	150	0.47769296	-0.81366250	0.33130455
	180	-0.00703661	-0.94602300	0.32402316
	210	-0.48852444	-0.81186690	0.31971243
	240	-0.83695310	-0.45604098	0.30254940
	270	-0.95930300	0.02091328	0.28160313
	300	-0.82698380	0.49311492	0.27006558
	330	-0.47993120	0.83721370	0.26218176
	360	-0.00952354	0.96627740	0.25732720
	<b>Σ</b>	<u>-0.09881289</u>	<u>0.29247970</u>	
2.Central Anillo	30	0.33051220	0.61756670	0.71370375
	60	0.58478516	0.37055972	0.72160363
	90	0.68084380	0.02515109	0.73199670
	120	0.58835655	-0.31972012	0.74270830
	150	0.33620837	-0.57084690	0.74906456
	180	-0.00743467	-0.66401520	0.74768215
	210	-0.35387078	-0.57006450	0.74148630
	240	-0.60377090	-0.31585863	0.73191120
	270	-0.69503780	0.02563816	0.71851593
	300	-0.59928030	0.36858842	0.71063750
	330	-0.35078645	0.61578550	0.70551900
	360	-0.00933807	0.70969546	0.70444673
	<b>Σ</b>	<u>-0.10944550</u>	<u>0.33013570</u>	
3.Central Anillo	30	0.11410611	0.24187236	0.96357540
	60	0.20523824	0.15274382	0.96671950
	90	0.23862855	0.02766901	0.97071666
	120	0.20600078	-0.09672073	0.97376010
	150	0.11505564	-0.18668778	0.97565866
	180	-0.01018806	-0.22089364	0.97524470
	210	-0.13330781	-0.18623026	0.97342044
	240	-0.22375390	-0.09747610	0.96975905
	270	-0.25597113	0.02741333	0.96629566
	300	-0.22335374	0.15258843	0.96272004
	330	-0.13274980	0.24088646	0.96143186
	360	-0.00915037	0.27497080	0.96140903

**Datos de Posición de Caso 2 Bolas**

<b>Bola1</b>				
<b><math>\Sigma</math> [1.1-1.1]</b>		<b>-0.02530190</b>	<b>-0.12116604</b>	
2.1.1 Anillo	30	0.65532340	0.68941057	0.30864915
	60	0.86328804	0.29946520	0.40626880
	90	0.87974740	-0.10100391	0.46458882
	120	0.74747620	-0.45068645	0.48801747
	150	0.49527287	-0.72499470	0.47863075
	180	0.14699954	-0.88693976	0.43786874
	210	-0.27630785	-0.88817805	0.36714270
	240	-0.70017153	-0.67002430	0.24663183
	270	-0.98133653	-0.17901461	0.07023048
	300	-0.87837550	0.46335214	0.11730859
	330	-0.38784647	0.92070970	0.04322818
	360	0.21624456	0.96184130	0.16762936
<b><math>\Sigma</math> [1.2-2.2]</b>		<b>-0.54174817</b>	<b>0.69857612</b>	
2.1.2 Anillo	30	0.37704890	0.55914070	0.73837376
	60	0.56278217	0.28276014	0.77673864
	90	0.60159343	-0.02205769	0.79849786
	120	0.50896496	-0.29553258	0.80846470
	150	0.31199420	-0.50481164	0.80487570
	180	0.03580333	-0.61081105	0.79096650
	210	-0.28260544	-0.58052710	0.76362455
	240	-0.58348244	-0.38951576	0.71261895
	270	-0.75162107	-0.03584922	0.65862024
	300	-0.68376964	0.38777292	0.61813533
	330	-0.36047855	0.68012530	0.63834536
	360	0.04526989	0.73147050	0.68036866
<b><math>\Sigma</math> [3.1-3.2]</b>		<b>-0.71138359</b>	<b>0.51529328</b>	
2.1.3 Anillo	30	0.08126862	0.24335055	0.96652776
	60	0.16439478	0.14829720	0.97518320
	90	0.18648113	0.03030127	0.98199120
	120	0.15576977	-0.08169249	0.98440950
	150	0.07432210	-0.16378099	0.98369306
	180	-0.03864740	-0.19794312	0.97945130
	210	-0.15854535	-0.17279881	0.97211313
	240	-0.25277010	-0.09219157	0.96312410
	270	-0.29216665	0.03060048	0.95587770
	300	-0.26197195	0.16129556	0.95150113
	330	-0.16634652	0.25427923	0.95271766
	360	-0.03869688	0.28218734	0.95857860

	<b>Bola2</b>	0.80561603	0.44489683	
2.2.1 Anillo	30	0.50455370	0.71780455	0.47977307
	60	0.75631350	0.43738917	0.48649836
	90	0.88503650	0.08567207	0.45757030
	120	0.86275023	-0.30991015	0.39952183
	150	0.64891905	-0.69598490	0.30742335
	180	0.21398840	-0.96052283	0.17777762
	210	-0.38107320	-0.92452693	0.00575496
	240	-0.87265724	-0.48255370	0.07490841
	270	-0.98298347	0.15537485	0.09799069
	300	-0.70457363	0.65723870	0.26760653
	330	-0.27603470	0.88232100	0.38120136
	360	0.15137689	0.88259500	0.44509673
2.2.2 Anillo	30	0.32324790	0.49641160	0.80565894
	60	0.51725113	0.28799587	0.80592160
	90	0.60991883	0.01346376	0.79234950
	120	0.56875014	-0.28872237	0.77017050
	150	0.38269200	-0.56109130	0.73397774
	180	0.05211073	-0.73239820	0.67887950
	210	-0.34613377	-0.68258965	0.64363250
	240	-0.66837454	-0.39494142	0.63031477
	270	-0.73750280	0.02393438	0.67491980
	300	-0.57915880	0.37995050	0.72125775
	330	-0.27642542	0.57551533	0.76965650
	360	0.04164831	0.60538226	0.79484445
2.2.3 Anillo	30	0.08569960	0.15542960	0.98412260
	60	0.16447514	0.07338864	0.98364730
	90	0.20060283	-0.03700210	0.97897360
	120	0.17526014	-0.15361892	0.97246340
	150	0.09382927	-0.24559607	0.96482050
	180	-0.02728313	-0.28617588	0.95778860
	210	-0.15432754	-0.25852013	0.95359860
	240	-0.24652971	-0.16879520	0.95432240
	270	-0.27865165	-0.04094113	0.95951920
	300	-0.23973523	0.08454207	0.96715030
	330	-0.14497957	0.16843714	0.97499220
	360	-0.02800703	0.19001837	0.98138100



**Datos de Posición de Caso 4 Bolas**

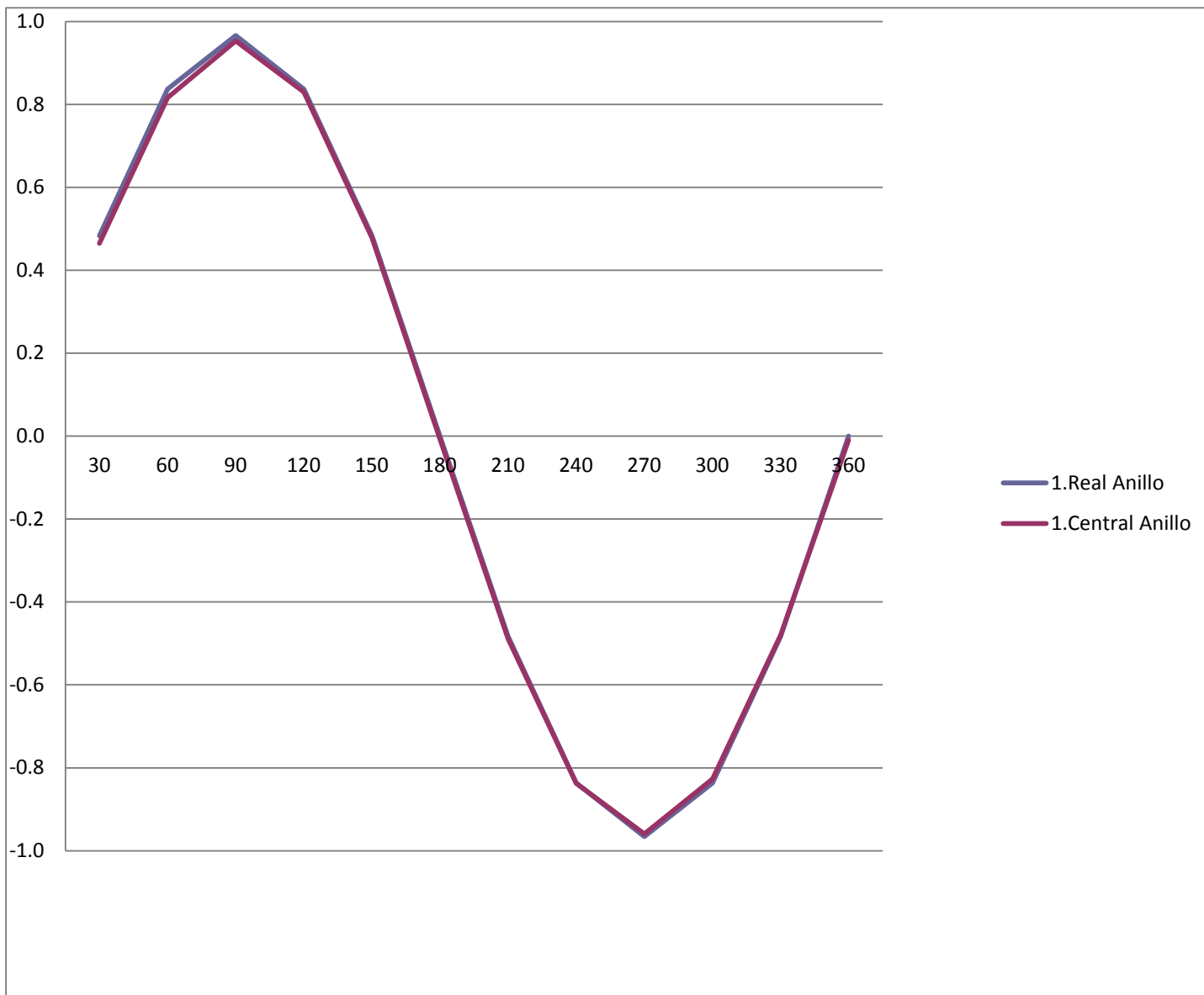
<b>4_BOLA</b>				
<b>Bola1</b>				
<b><math>\Sigma [(1.1-1.2)+(1.3-1.4)]</math></b>		<b>0.78031413</b>	<b>-0.56606287</b>	
4.1.1 Anillo	30	0.65532340	0.68941057	0.30864915
	60	0.86328804	0.29946520	0.40626880
	90	0.87974740	-0.10100391	0.46458882
	120	0.74747620	-0.45068645	0.48801747
	150	0.49527287	-0.72499470	0.47863075
	180	0.14699954	-0.88693976	0.43786874
	210	-0.27630785	-0.88817805	0.36714270
	240	-0.70017153	-0.67002430	0.24663183
	270	-0.98133653	-0.17901461	0.07023048
	300	-0.87837550	0.46335214	0.11730859
	330	-0.38784647	0.92070970	0.04322818
	360	0.21624456	0.96184130	0.16762936
<b><math>\Sigma [(2.1-2.2)+(2.3-2.4)]</math></b>				
4.1.2 Anillo	30	0.37704890	0.55914070	0.73837376
	60	0.56278217	0.28276014	0.77673864
	90	0.60159343	-0.02205769	0.79849786
	120	0.50896496	-0.29553258	0.80846470
	150	0.31199420	-0.50481164	0.80487570
	180	0.03580333	-0.61081105	0.79096650
	210	-0.28260544	-0.58052710	0.76362455
	240	-0.58348244	-0.38951576	0.71261895
	270	-0.75162107	-0.03584922	0.65862024
	300	-0.68376964	0.38777292	0.61813533
	330	-0.36047855	0.68012530	0.63834536
	360	0.04526989	0.73147050	0.68036866
<b><math>\Sigma [(3.1-3.2)+(3.3-3.4)]</math></b>				
4.1.3 Anillo	30	0.08126862	0.24335055	0.96652776
	60	0.16439478	0.14829720	0.97518320
	90	0.18648113	0.03030127	0.98199120
	120	0.15576977	-0.08169249	0.98440950
	150	0.07432210	-0.16378099	0.98369306
	180	-0.03864740	-0.19794312	0.97945130
	210	-0.15854535	-0.17279881	0.97211313
	240	-0.25277010	-0.09219157	0.96312410
	270	-0.29216665	0.03060048	0.95587770
	300	-0.26197195	0.16129556	0.95150113
	330	-0.16634652	0.25427923	0.95271766
	360	-0.03869688	0.28218734	0.95857860

	<b>Bola2</b>	0.80561603	0.44489683	
4.2.1 Anillo	30	0.50455370	0.71780455	0.47977307
	60	0.75631350	0.43738917	0.48649836
	90	0.88503650	0.08567207	0.45757030
	120	0.86275023	-0.30991015	0.39952183
	150	0.64891905	-0.69598490	0.30742335
	180	0.21398840	-0.96052283	0.17777762
	210	-0.38107320	-0.92452693	0.00575496
	240	-0.87265724	-0.48255370	0.07490841
	270	-0.98298347	0.15537485	0.09799069
	300	-0.70457363	0.65723870	0.26760653
	330	-0.27603470	0.88232100	0.38120136
	360	0.15137689	0.88259500	0.44509673
4.2.2 Anillo	30	0.32324790	0.49641160	0.80565894
	60	0.51725113	0.28799587	0.80592160
	90	0.60991883	0.01346376	0.79234950
	120	0.56875014	-0.28872237	0.77017050
	150	0.38269200	-0.56109130	0.73397774
	180	0.05211073	-0.73239820	0.67887950
	210	-0.34613377	-0.68258965	0.64363250
	240	-0.66837454	-0.39494142	0.63031477
	270	-0.73750280	0.02393438	0.67491980
	300	-0.57915880	0.37995050	0.72125775
	330	-0.27642542	0.57551533	0.76965650
	360	0.04164831	0.60538226	0.79484445
4.2.3 Anillo	30	0.08569960	0.15542960	0.98412260
	60	0.16447514	0.07338864	0.98364730
	90	0.20060283	-0.03700210	0.97897360
	120	0.17526014	-0.15361892	0.97246340
	150	0.09382927	-0.24559607	0.96482050
	180	-0.02728313	-0.28617588	0.95778860
	210	-0.15432754	-0.25852013	0.95359860
	240	-0.24652971	-0.16879520	0.95432240
	270	-0.27865165	-0.04094113	0.95951920
	300	-0.23973523	0.08454207	0.96715030
	330	-0.14497957	0.16843714	0.97499220
	360	-0.02800703	0.19001837	0.98138100

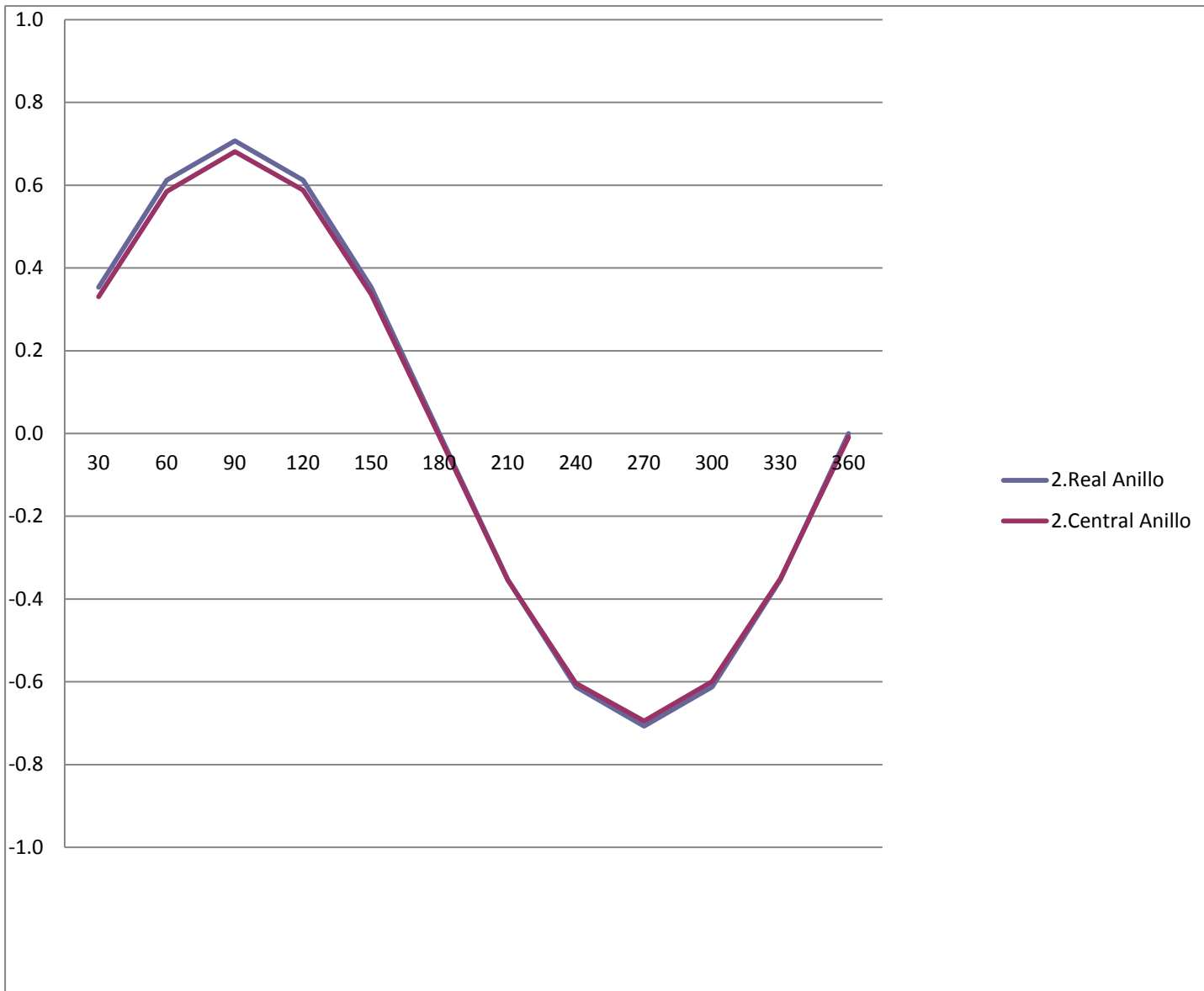
	<b>Bola3</b>	-0.81109633	-0.45544380	
4.3.1 Anillo	30	0.38288370	0.92361450	0.01834014
	60	0.87731830	0.47594965	0.06151848
	90	0.98136836	-0.16697475	0.09505589
	120	0.70056460	-0.66697450	0.25368130
	150	0.27474856	-0.89038420	0.36294523
	180	-0.15126100	-0.89139010	0.42725146
	210	-0.50379930	-0.72843470	0.46429425
	240	-0.75328606	-0.45001320	0.47963345
	270	-0.88514775	-0.09718456	0.45504788
	300	-0.86480620	0.29777926	0.40427446
	330	-0.65485704	0.68528384	0.31866640
	360	-0.21482250	0.95610040	0.19930705
4.3.2 Anillo	30	0.34669933	0.66901120	0.65743715
	60	0.66951317	0.38171253	0.63721870
	90	0.73690900	-0.03896892	0.67486780
	120	0.57687354	-0.39333674	0.71589320
	150	0.27453020	-0.58769820	0.76108080
	180	-0.04300306	-0.61906940	0.78415805
	210	-0.32385737	-0.51095720	0.79626570
	240	-0.51671076	-0.30162580	0.80126890
	270	-0.60906590	-0.02825855	0.79261607
	300	-0.56983100	0.27324830	0.77500190
	330	-0.38273466	0.54943630	0.74272066
	360	-0.05197845	0.71926940	0.69278410
4.3.3 Anillo	30	0.15389295	0.24247804	0.95787334
	60	0.24572176	0.15197435	0.95735294
	90	0.27644360	0.02456262	0.96071620
	120	0.23866062	-0.10055883	0.96588254
	150	0.14203462	-0.18468578	0.97248000
	180	0.02487706	-0.20914432	0.97756830
	210	-0.08722466	-0.17331836	0.98099570
	240	-0.16508129	-0.09063739	0.98210645
	270	-0.20142895	0.02164980	0.97926384
	300	-0.17437348	0.13723198	0.97506990
	330	-0.09413219	0.22812751	0.96907014
	360	0.02555365	0.26894876	0.96281546

<b>Bola4</b>		-1.93498790	1.44127329	
4.4.1 Anillo	30	0.13460600	0.97095346	0.19781440
	60	0.58145810	0.78498930	0.21377146
	90	0.93614453	0.28601864	0.20451601
	120	0.88220910	-0.44325050	0.15885850
	150	0.30138132	-0.93397340	0.19199748
	180	-0.35915700	-0.90301420	0.23573625
	210	-0.78345380	-0.58060440	0.22158235
	240	-0.96235603	-0.18163636	0.20218588
	270	-0.96230460	0.19483565	0.18976021
	300	-0.83169556	0.52265096	0.18739940
	330	-0.59943366	0.77996880	0.17979985
	360	-0.27238630	0.94433534	0.18448982
4.4.2 Anillo	30	0.12076597	0.71931200	0.68410945
	60	0.44193155	0.53301710	0.72151875
	90	0.62552730	0.16785446	0.76193210
	120	0.56350595	-0.28395364	0.77577794
	150	0.21211107	-0.59300710	0.77675706
	180	-0.21307760	-0.63027040	0.74656355
	210	-0.55062290	-0.44193894	0.70816976
	240	-0.72865987	-0.15629219	0.66680400
	270	-0.75783780	0.14718354	0.63562480
	300	-0.66360160	0.41557342	0.62203830
	330	-0.47366154	0.62325420	0.62225320
	360	-0.19992190	0.73605370	0.64672726
4.4.3 Anillo	30	-0.02022899	0.32100960	0.94685990
	60	0.08131869	0.23536447	0.96849924
	90	0.12199526	0.10714297	0.98673075
	120	0.08641605	-0.02555806	0.99593127
	150	-0.00981176	-0.12154351	0.99253760
	180	-0.14069696	-0.14558650	0.97929000
	210	-0.26657760	-0.10436391	0.95814640
	240	-0.34669325	-0.01076006	0.93791690
	270	-0.37288140	0.10740965	0.92164123
	300	-0.33435234	0.22257546	0.91578853
	330	-0.25530100	0.30610140	0.91712770
	360	-0.13910058	0.34437707	0.92846940

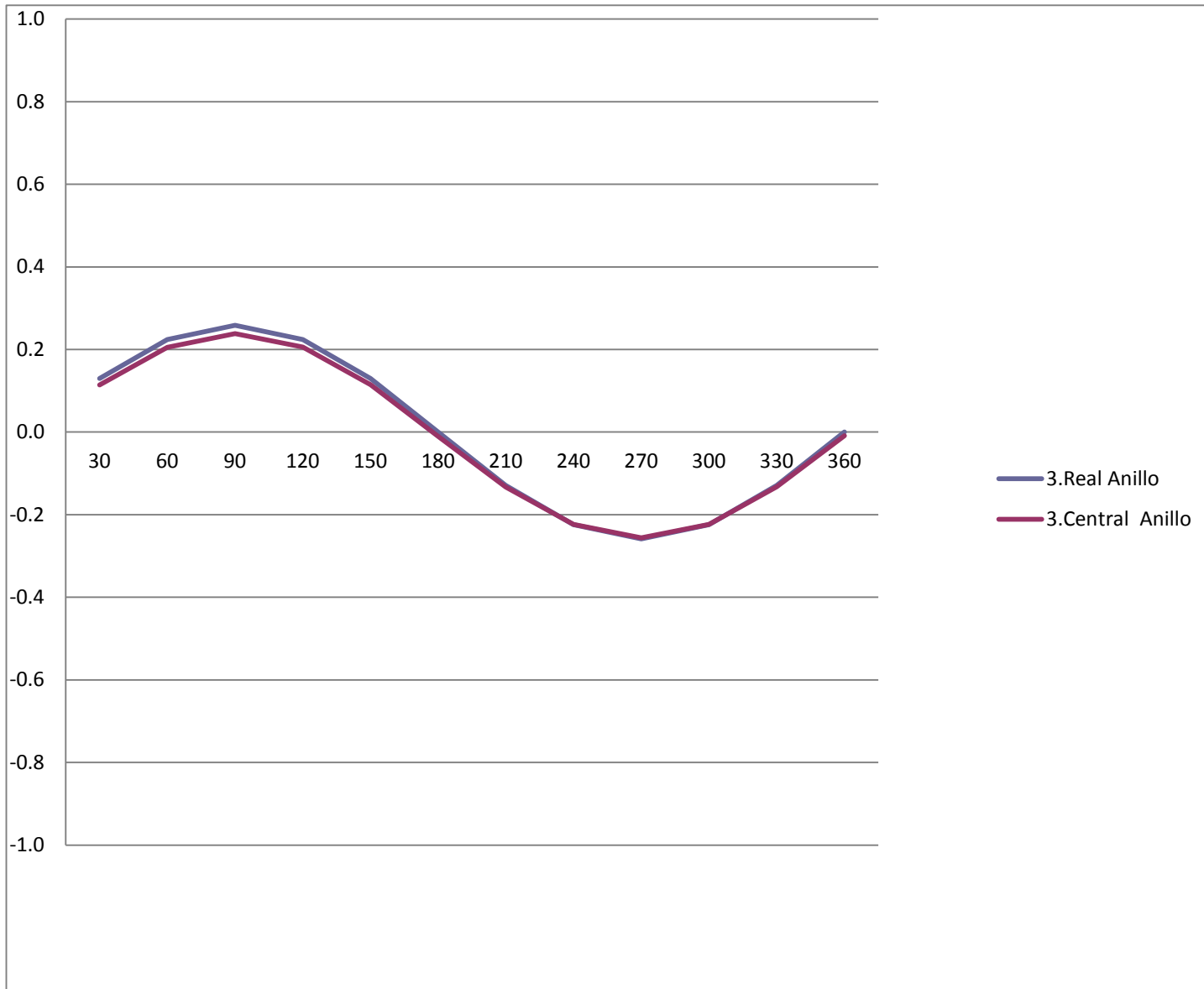
**Gráfico X1.1:**



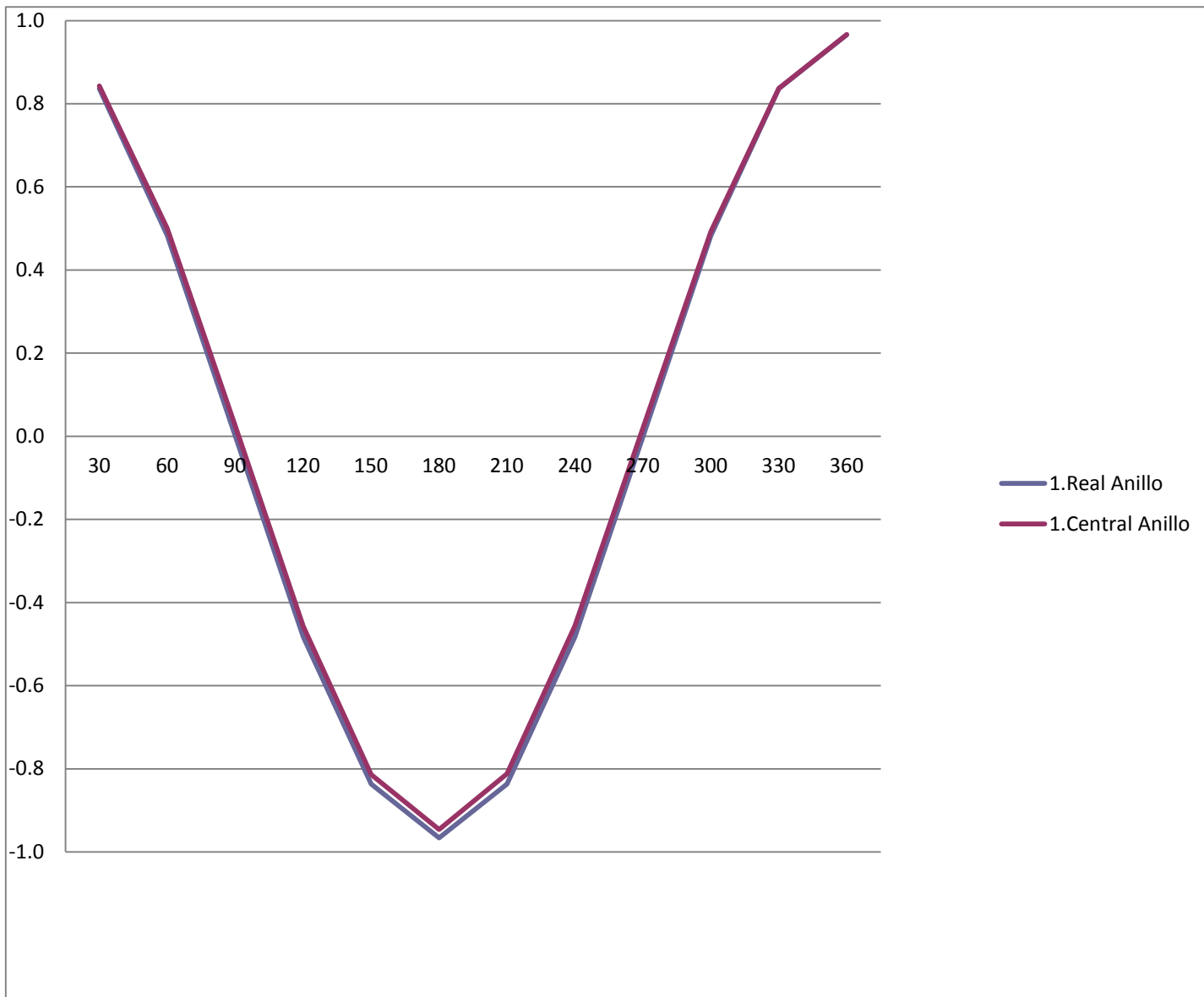
**Gráfico X1.2:**



**Gráfico X1.3:**

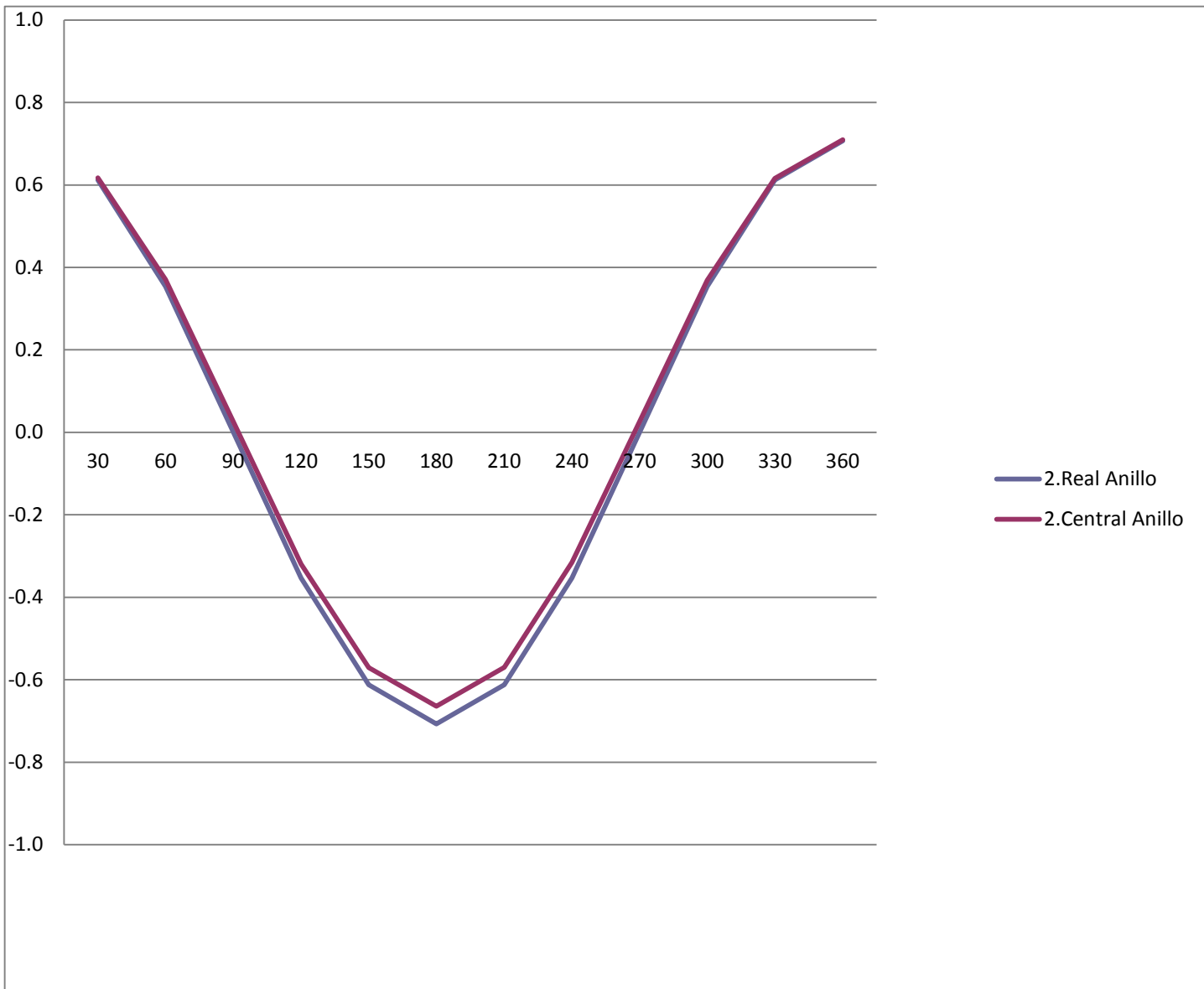


**Gráfico Y1.1:**

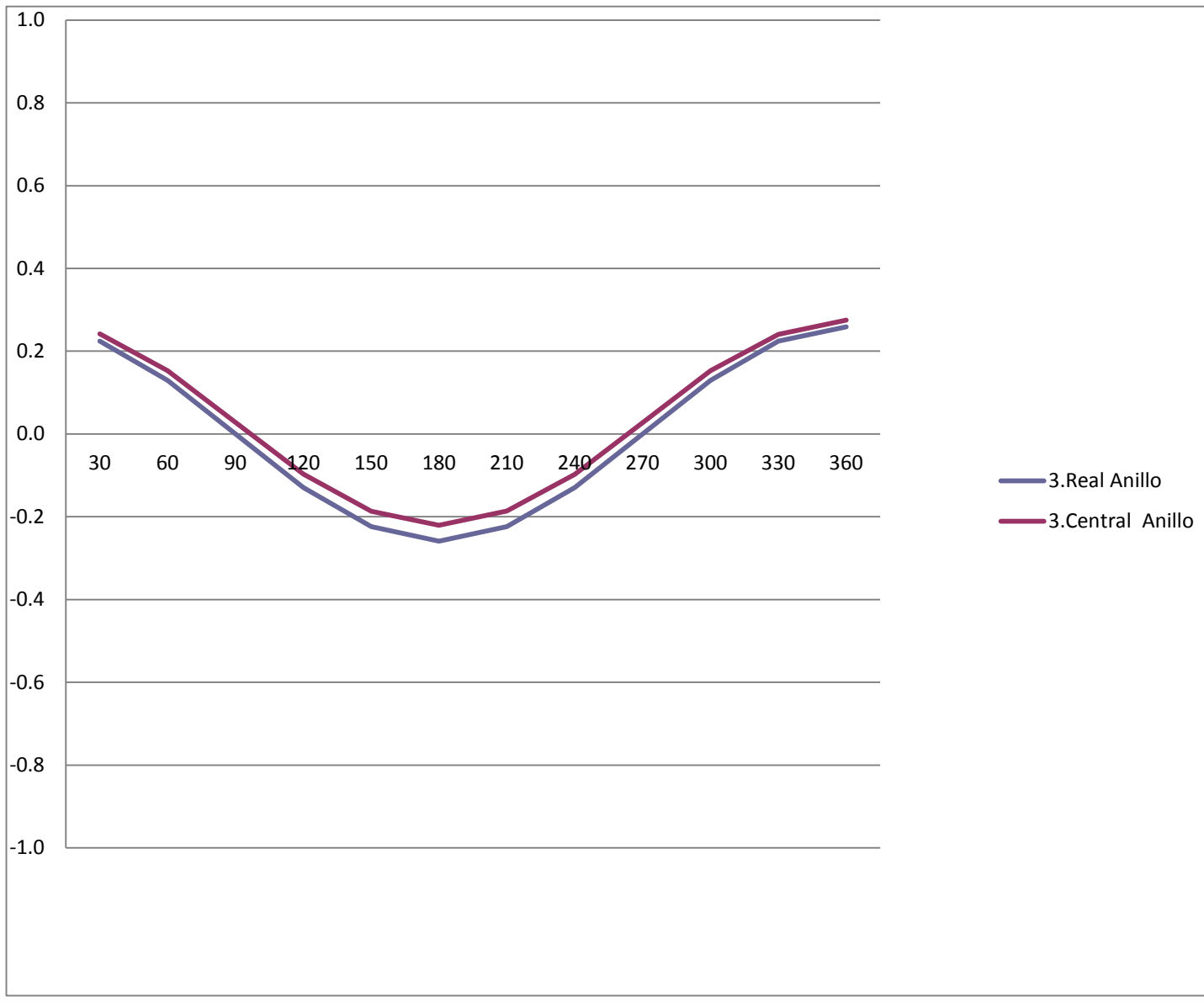




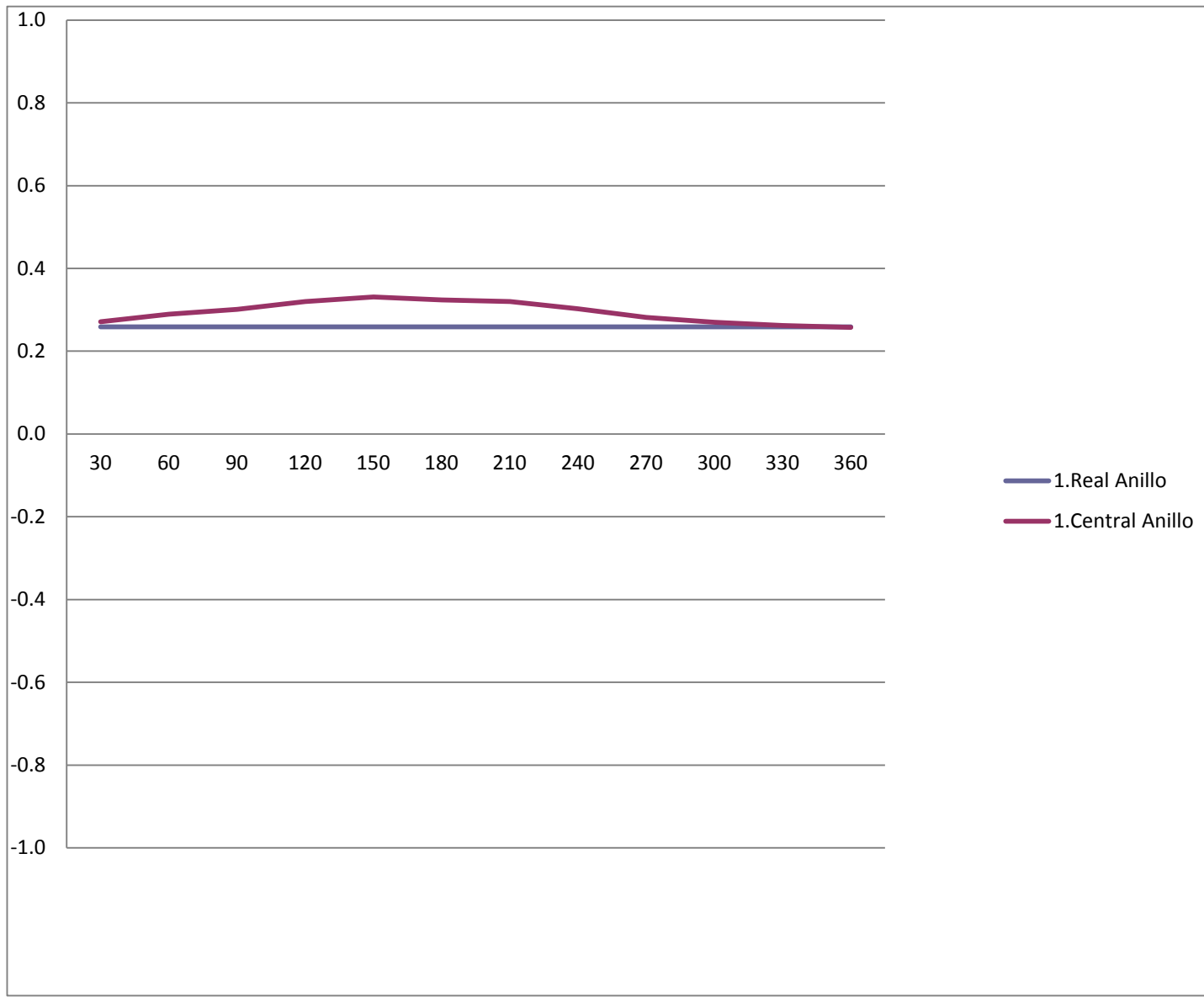
**Gráfico Y1.2:**



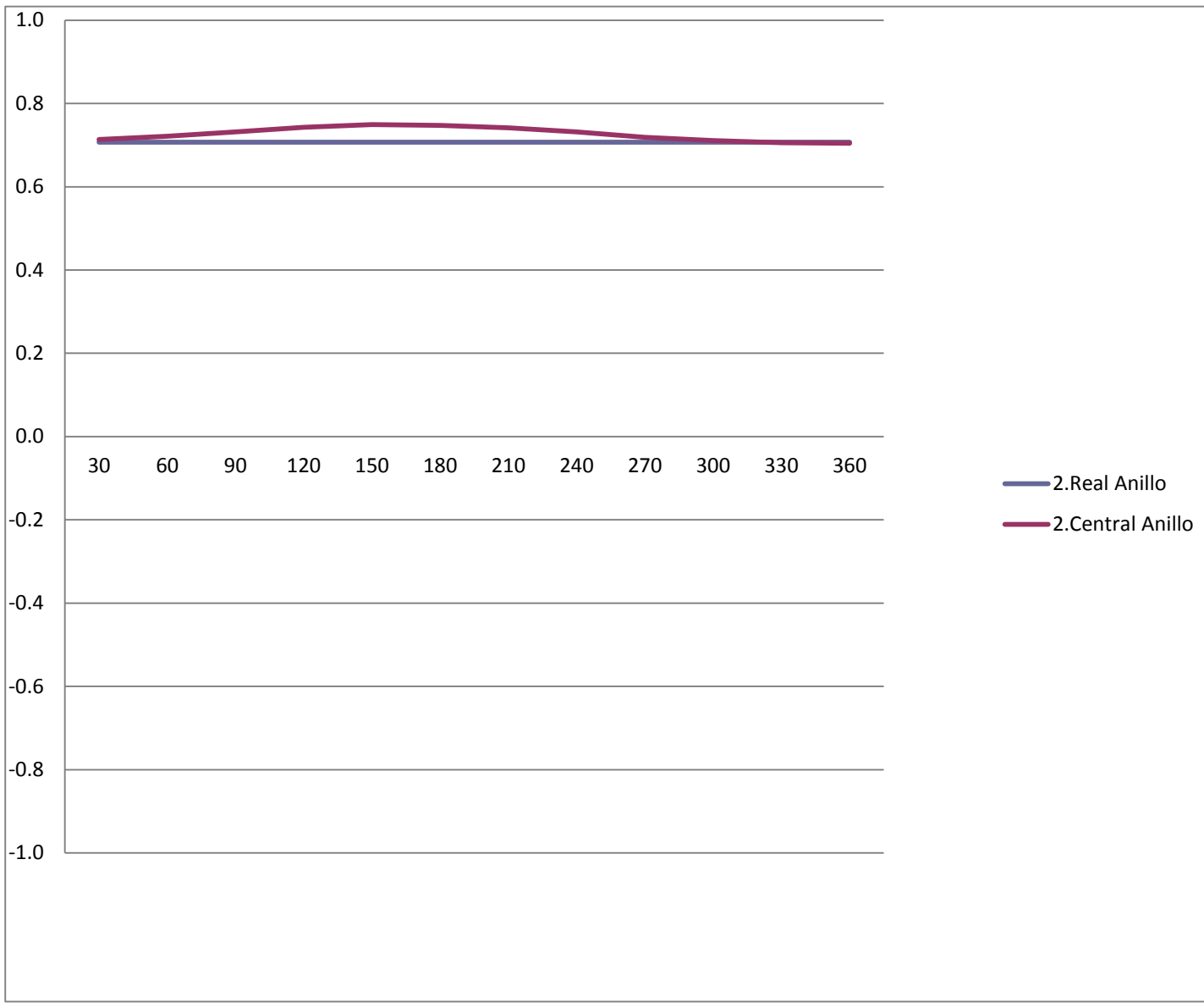
**Gráfico Y1.3:**



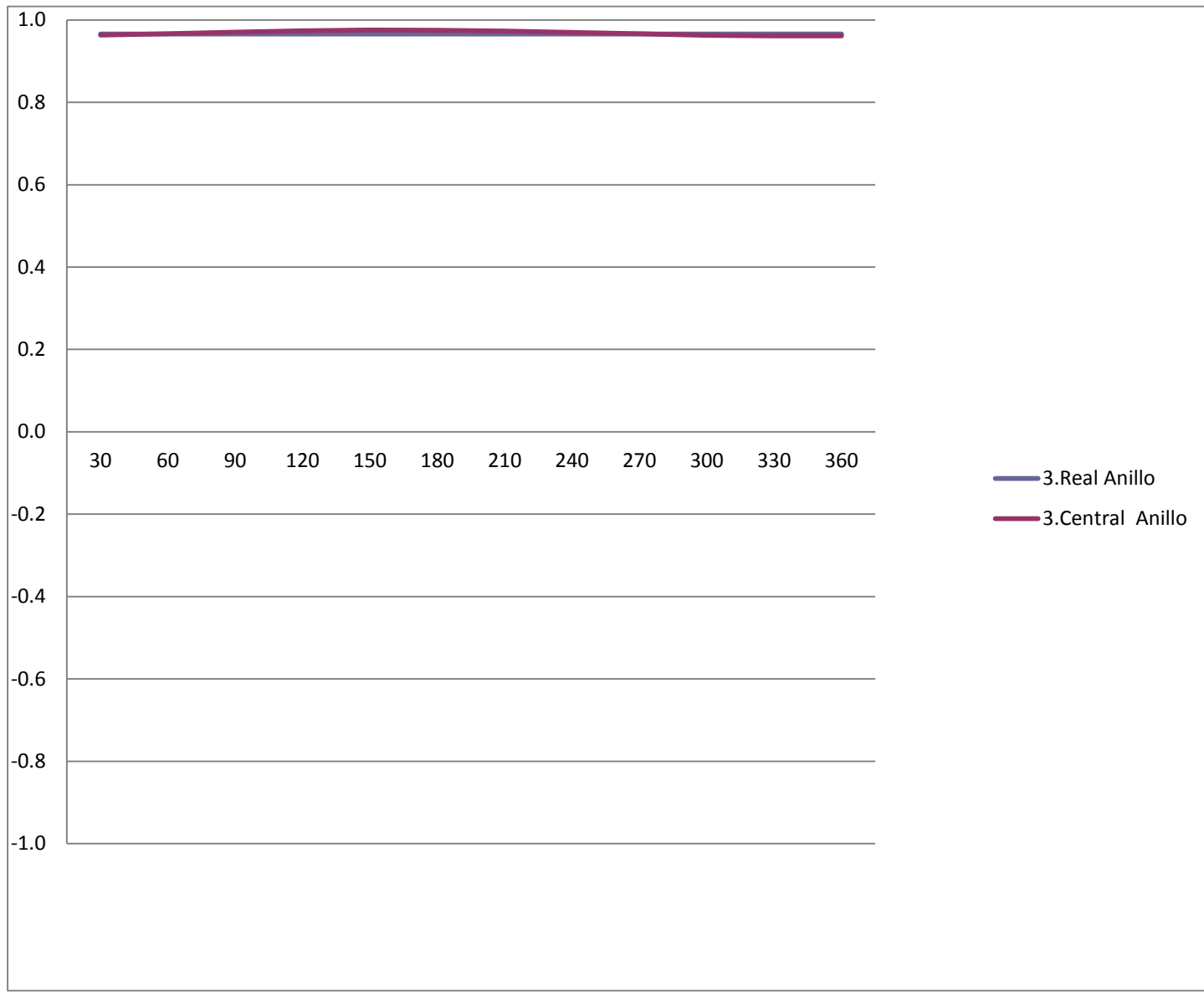
**Gráfico Z1.1:**



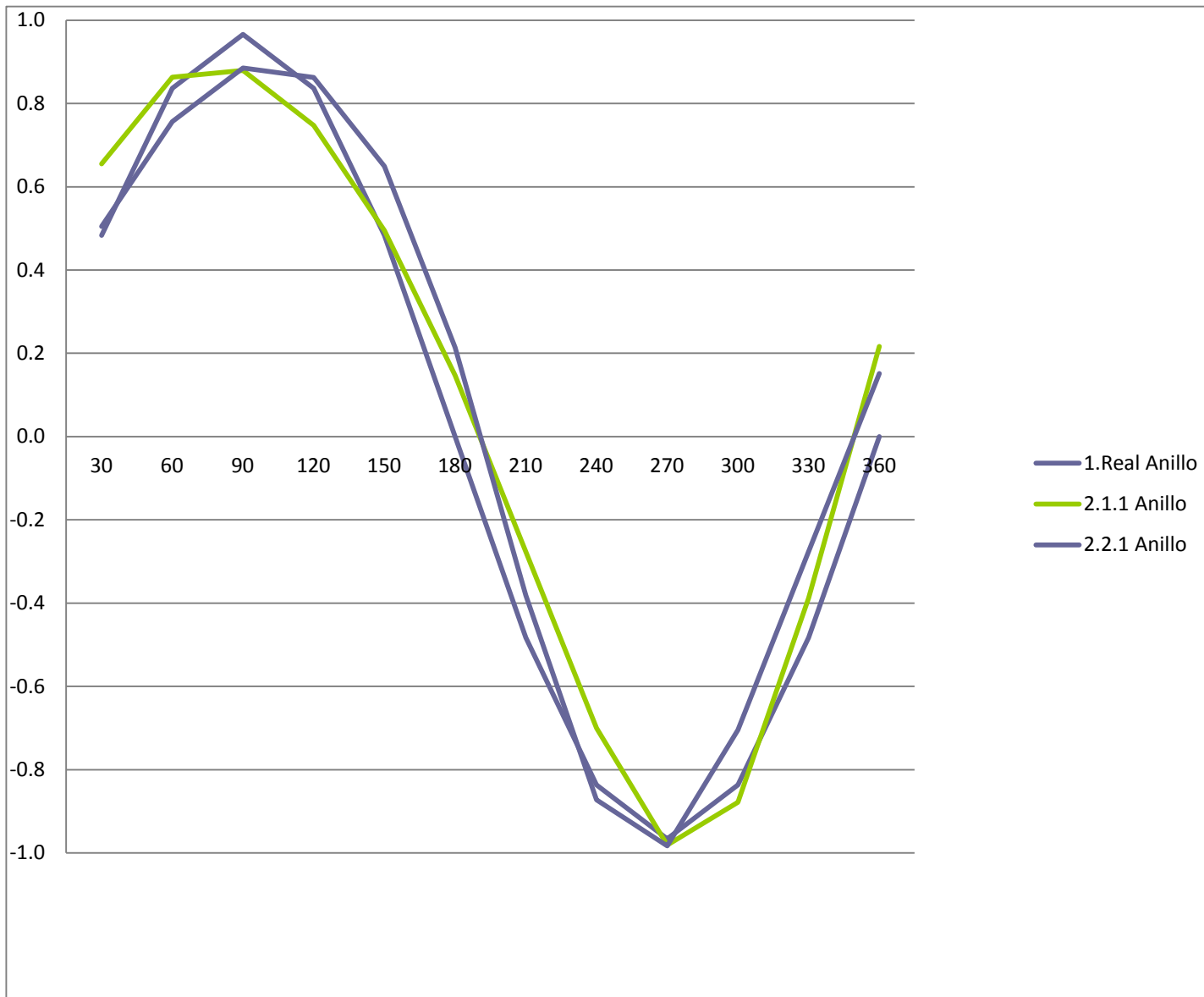
**Gráfico Z1.2:**



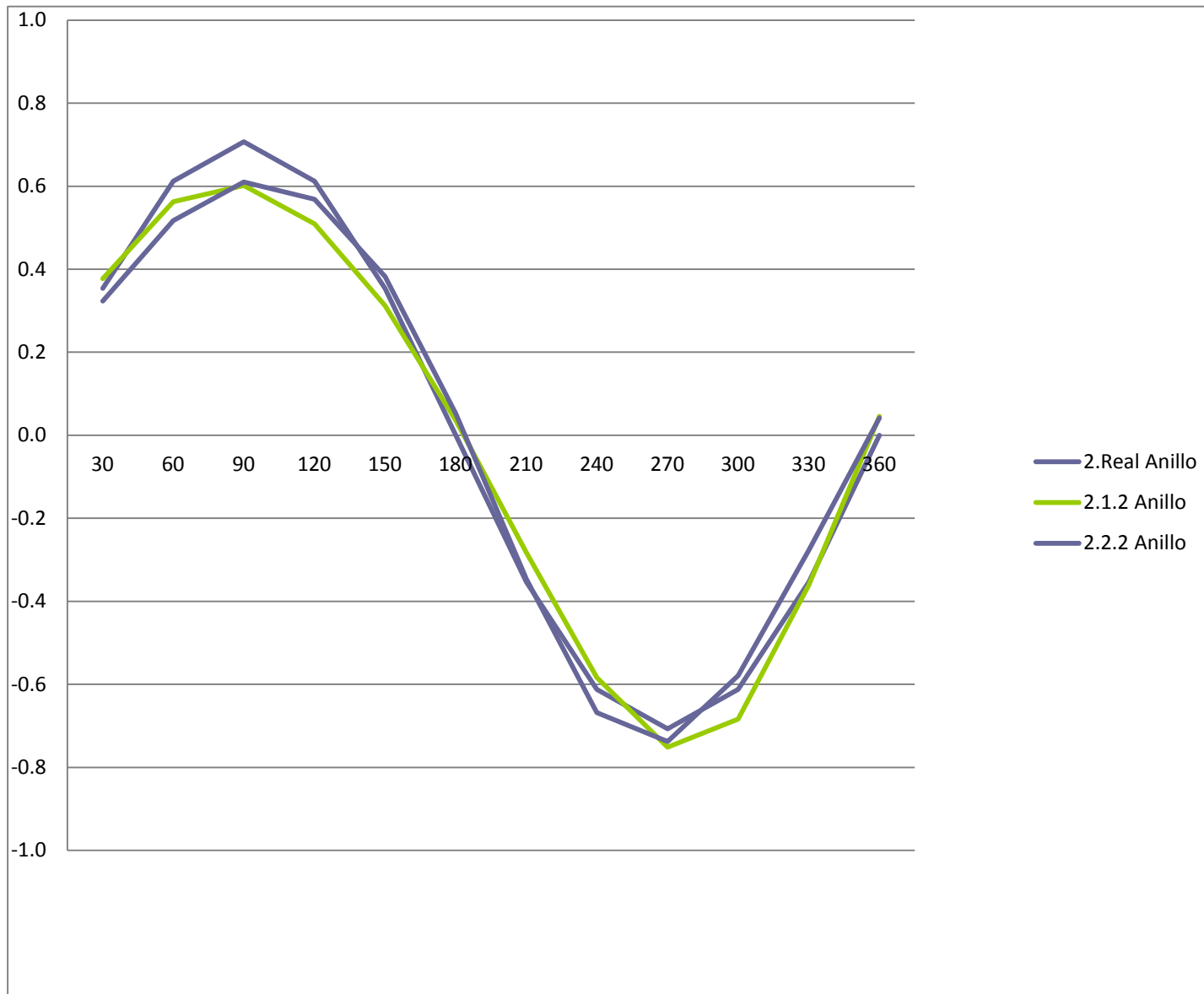
**Gráfico Z1.3:**



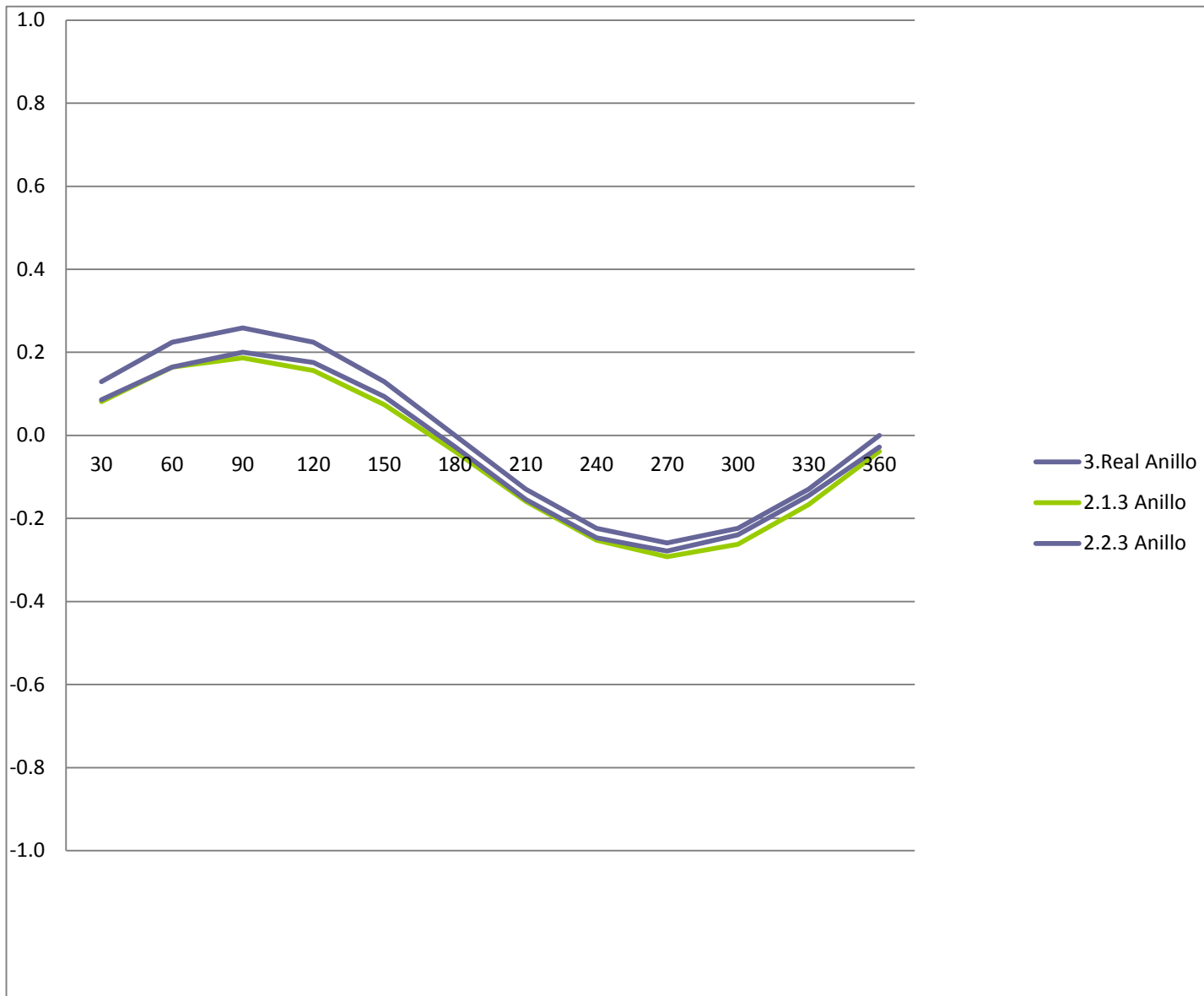
**Gráfico X2.1:**



**Gráfico X2.2:**

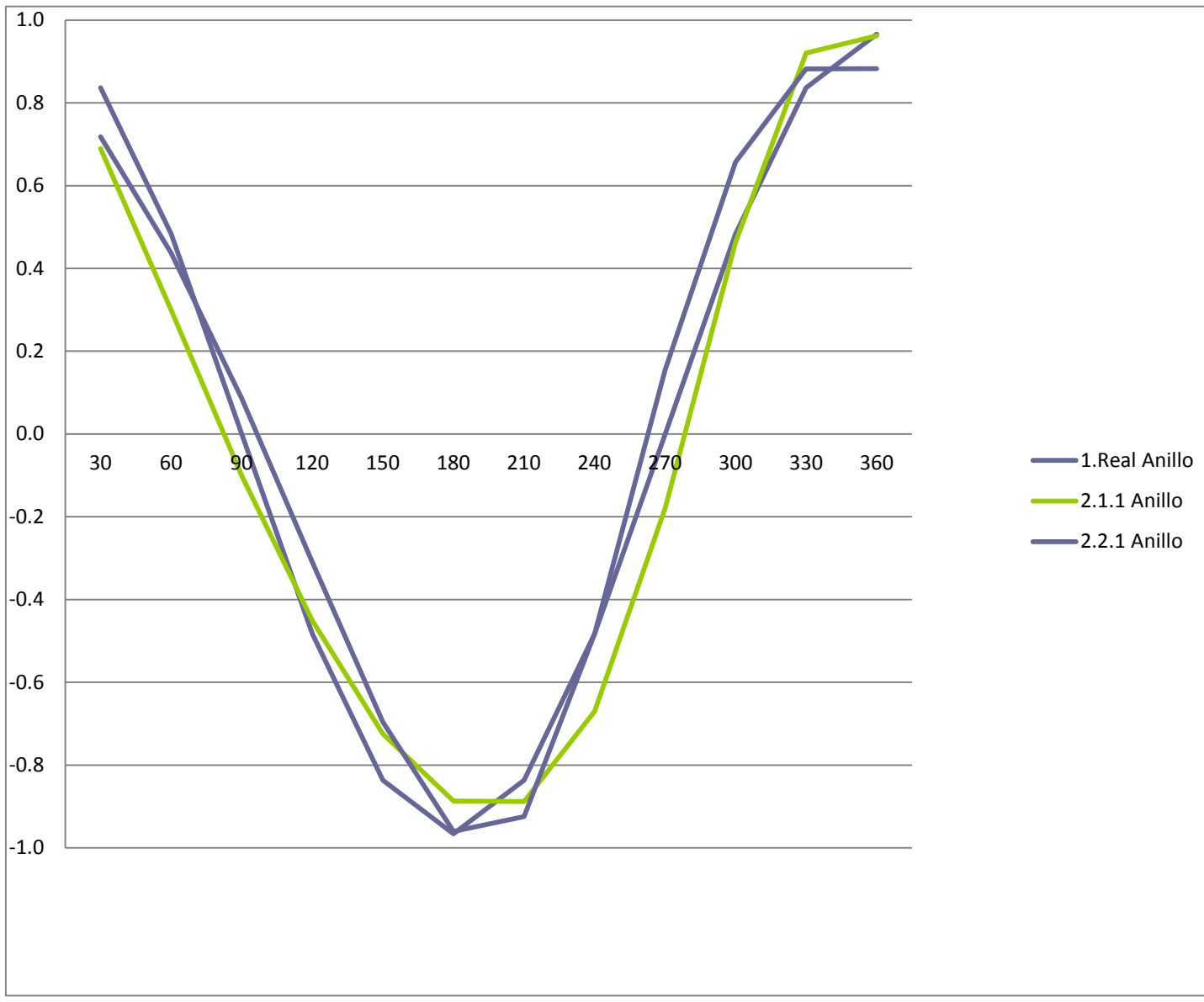


**Gráfico X2.3:**

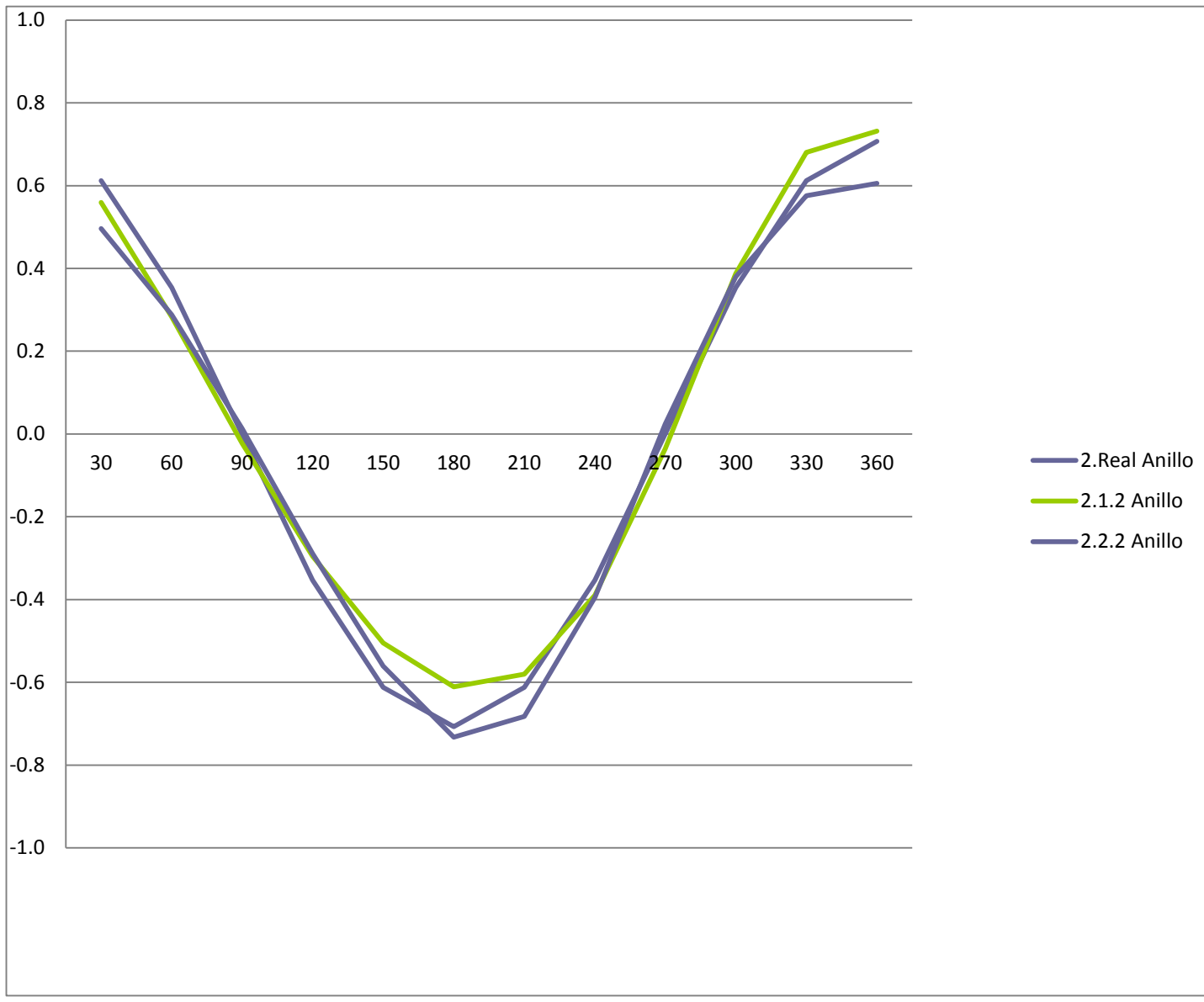




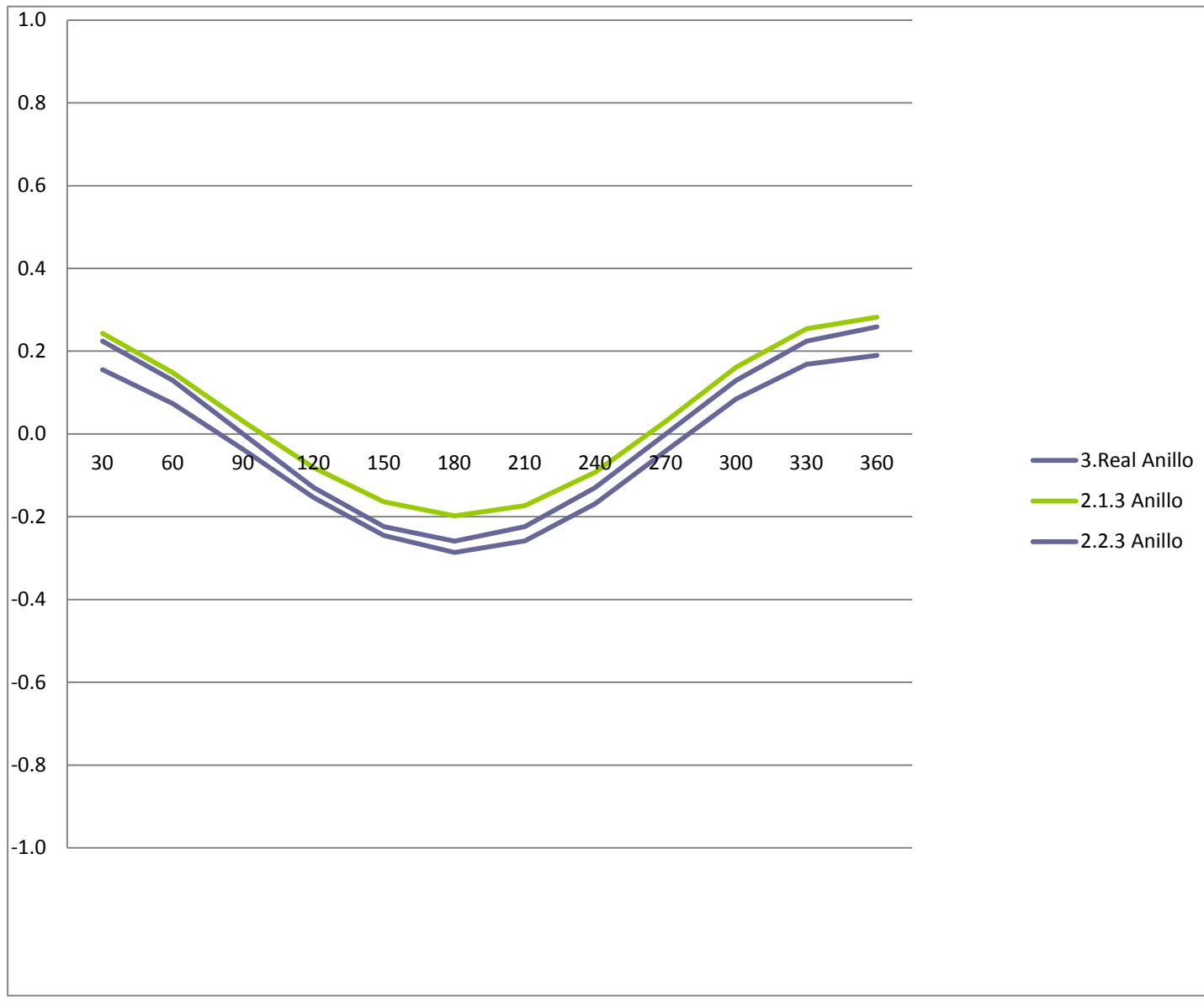
**Gráfico Y2.1:**



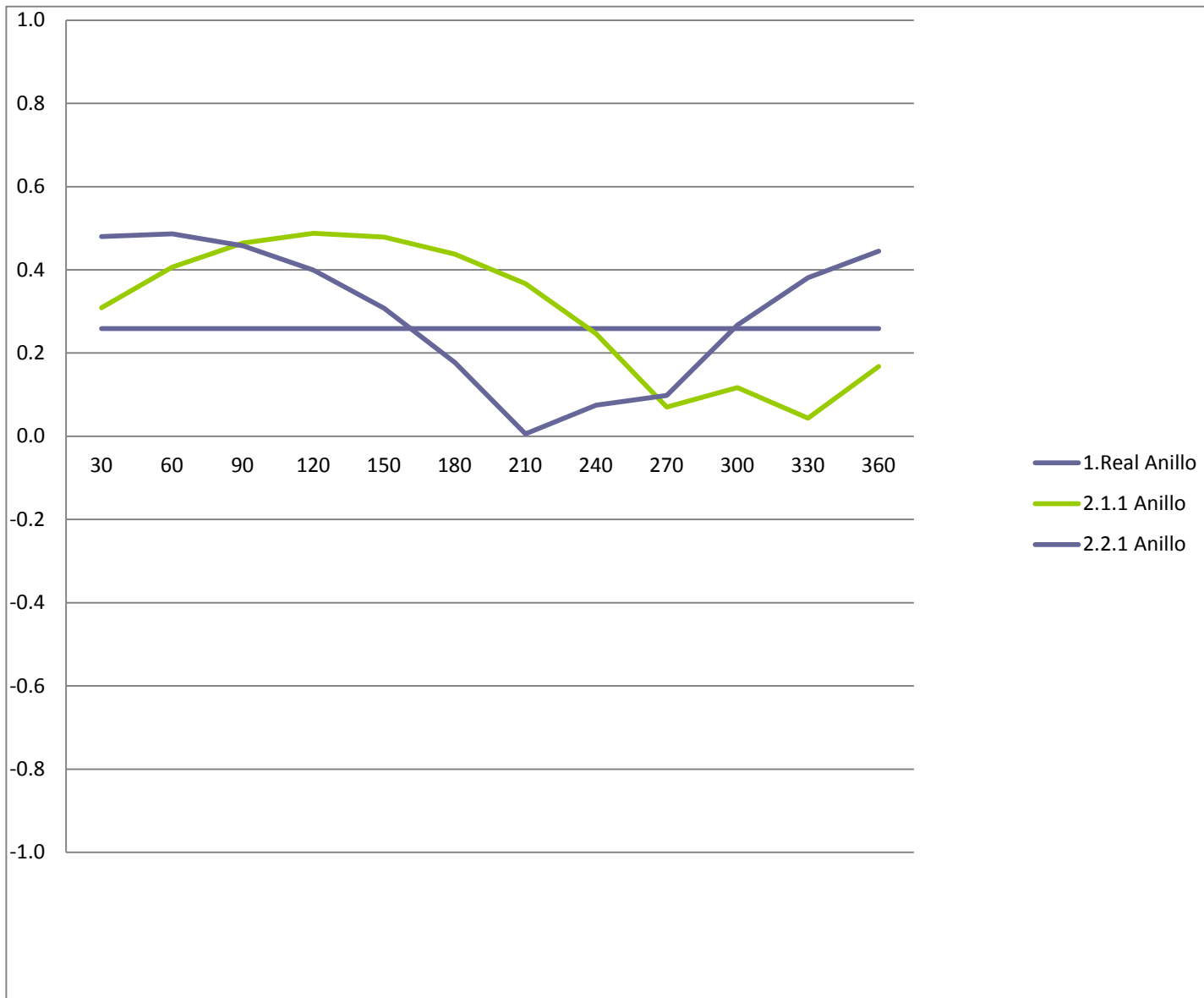
**Gráfico Y2.2:**



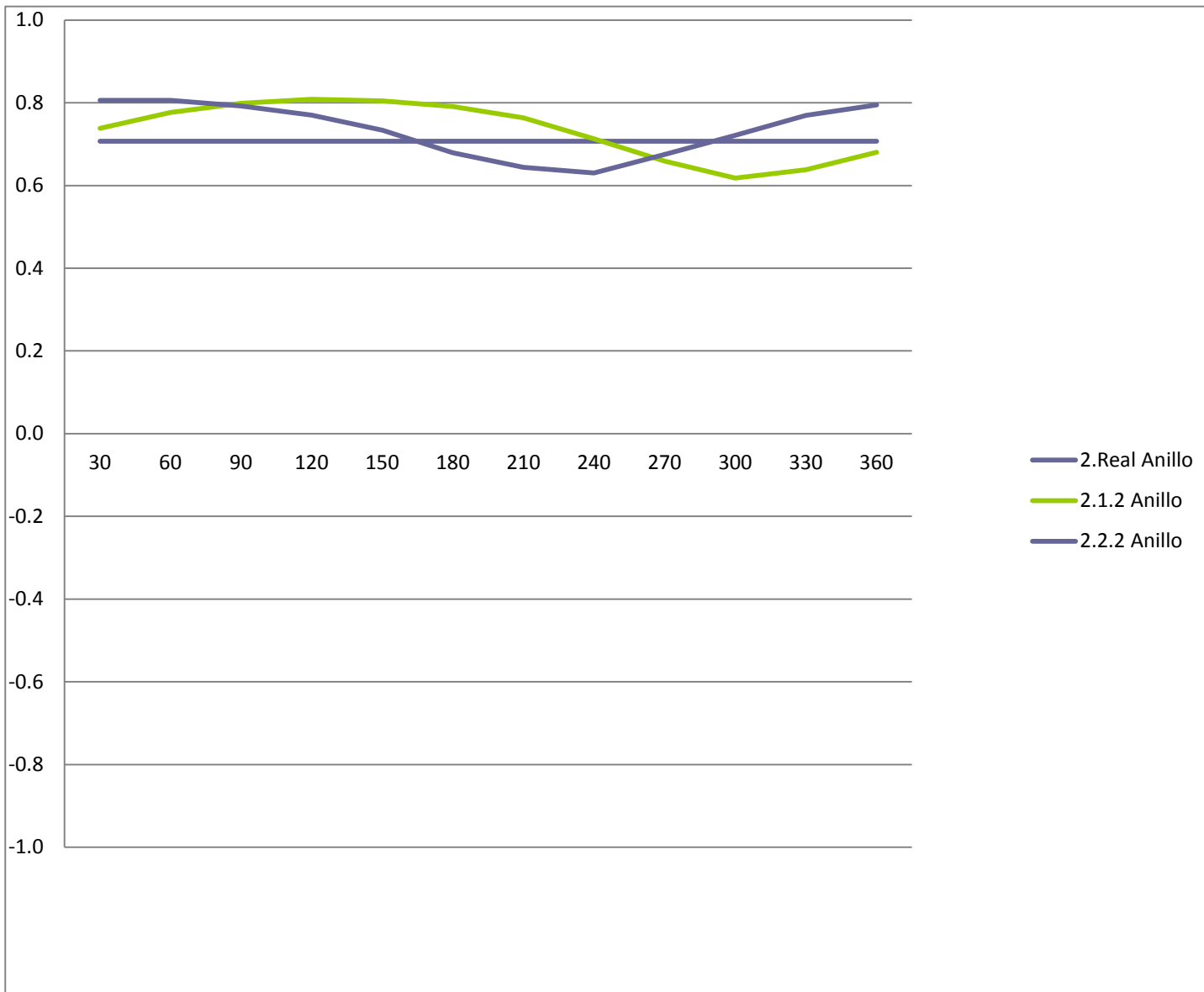
**Gráfico Y2.3:**



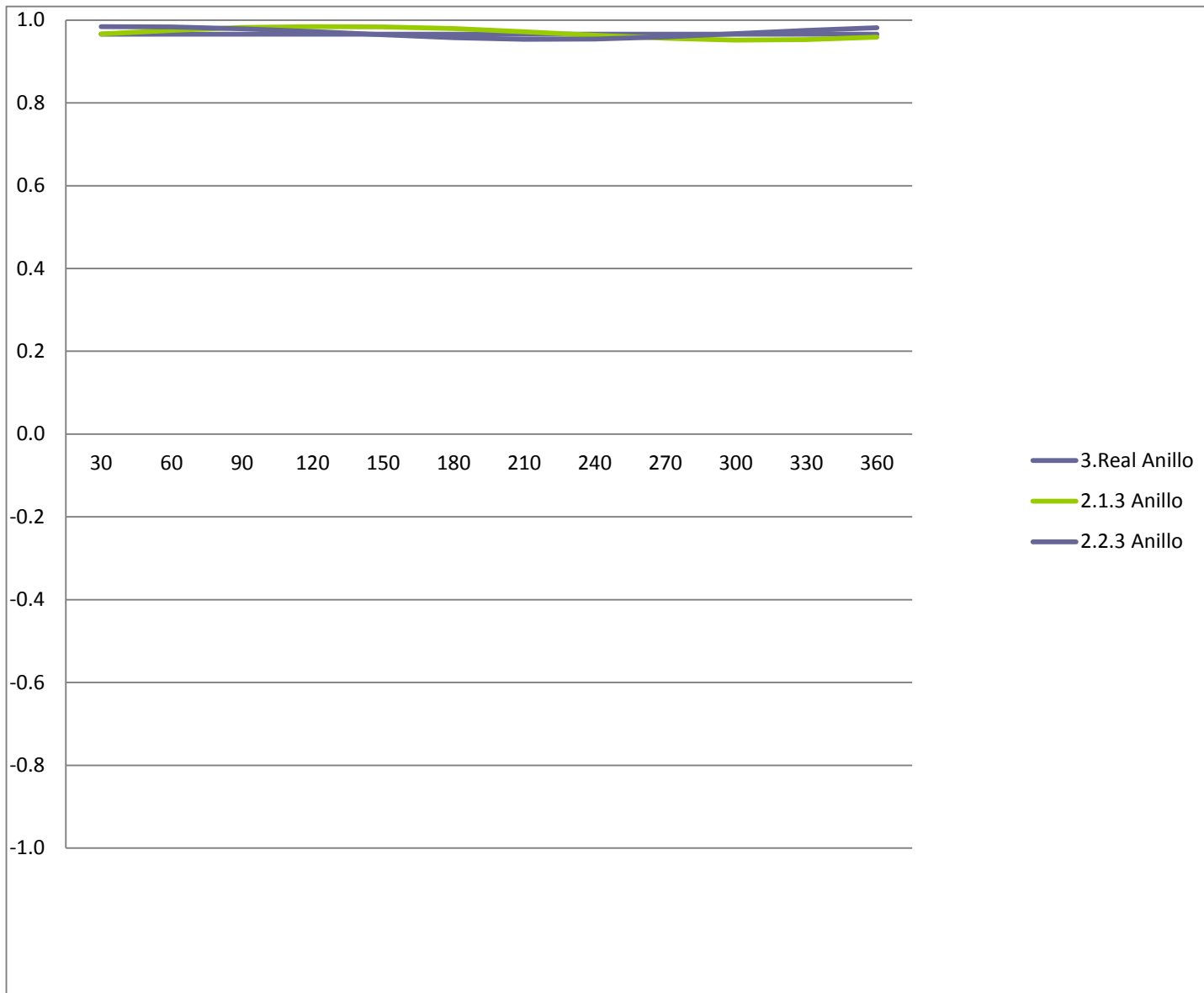
**Gráfico Z2.1:**



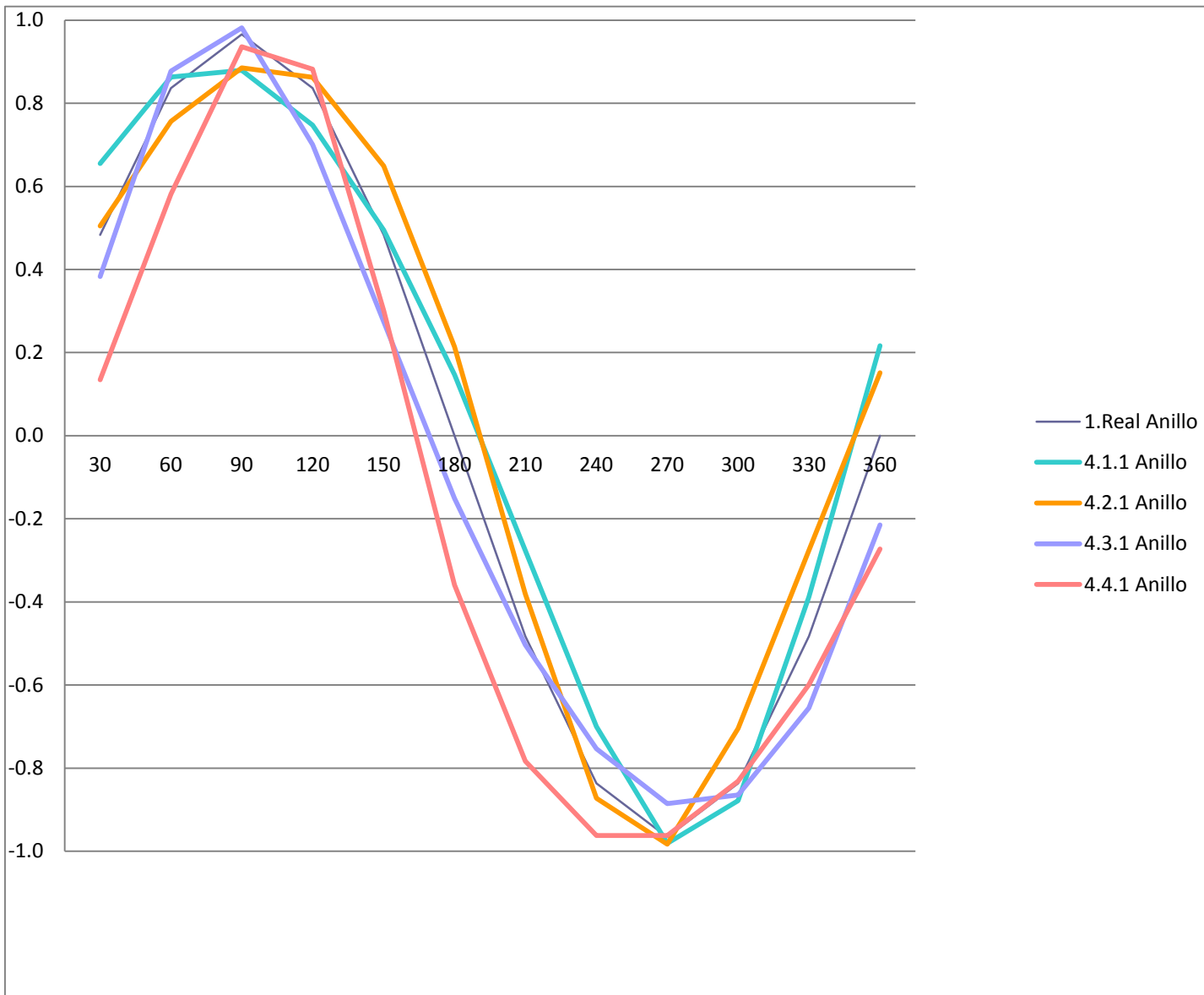
**Gráfico Z2.2:**



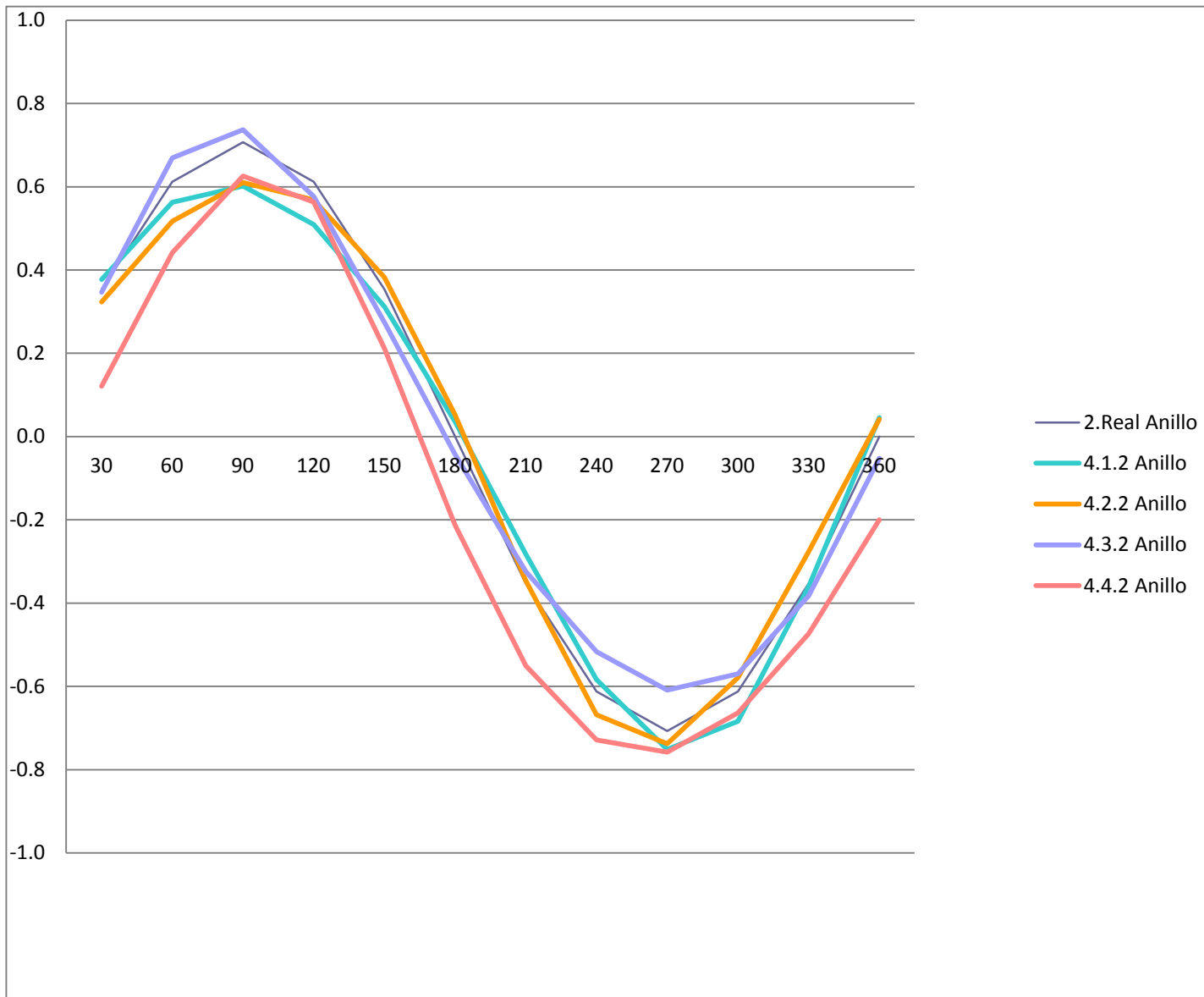
**Gráfico Z2.3:**



**Gráfico X3.1:**

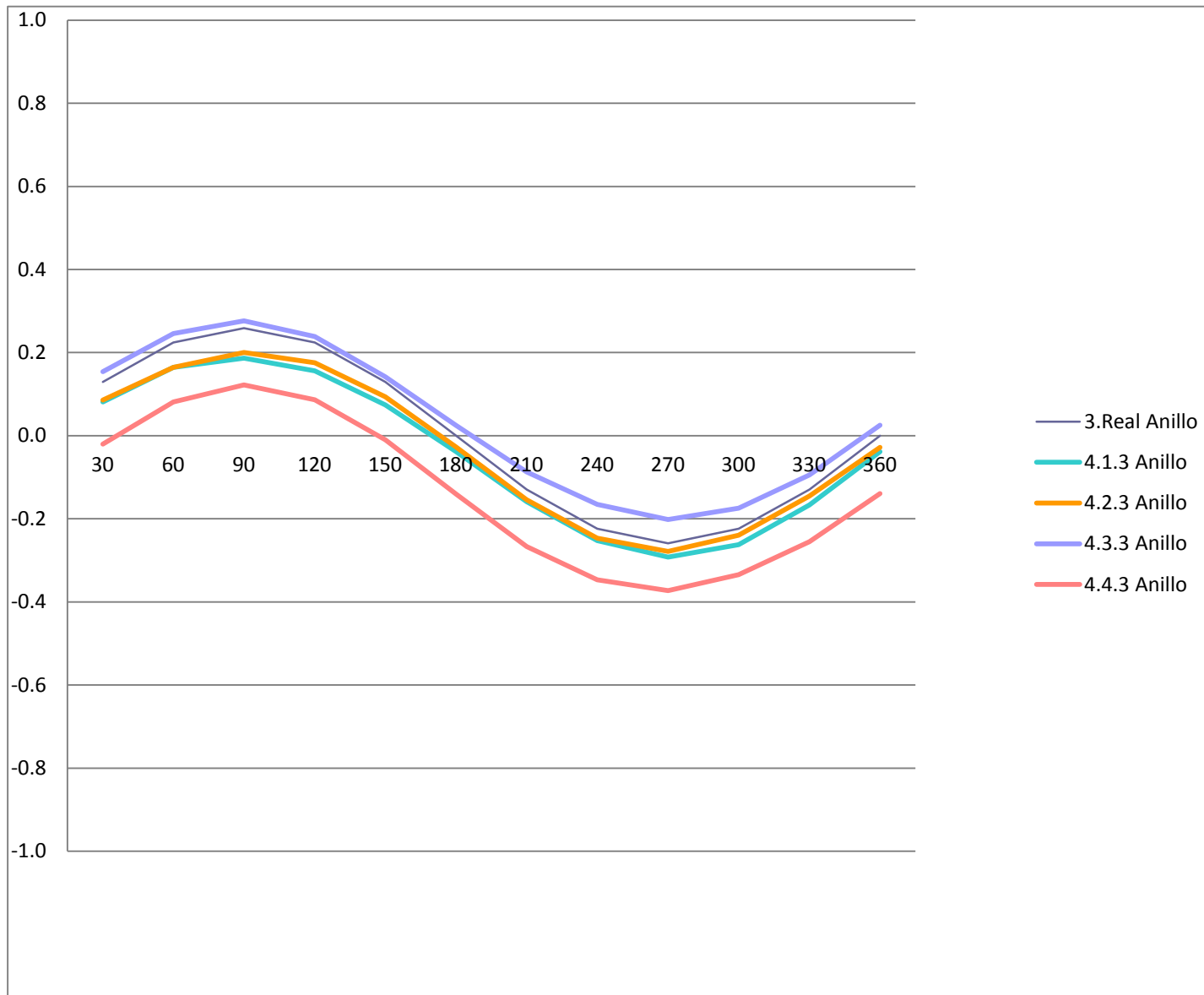


**Gráfico X3.2:**

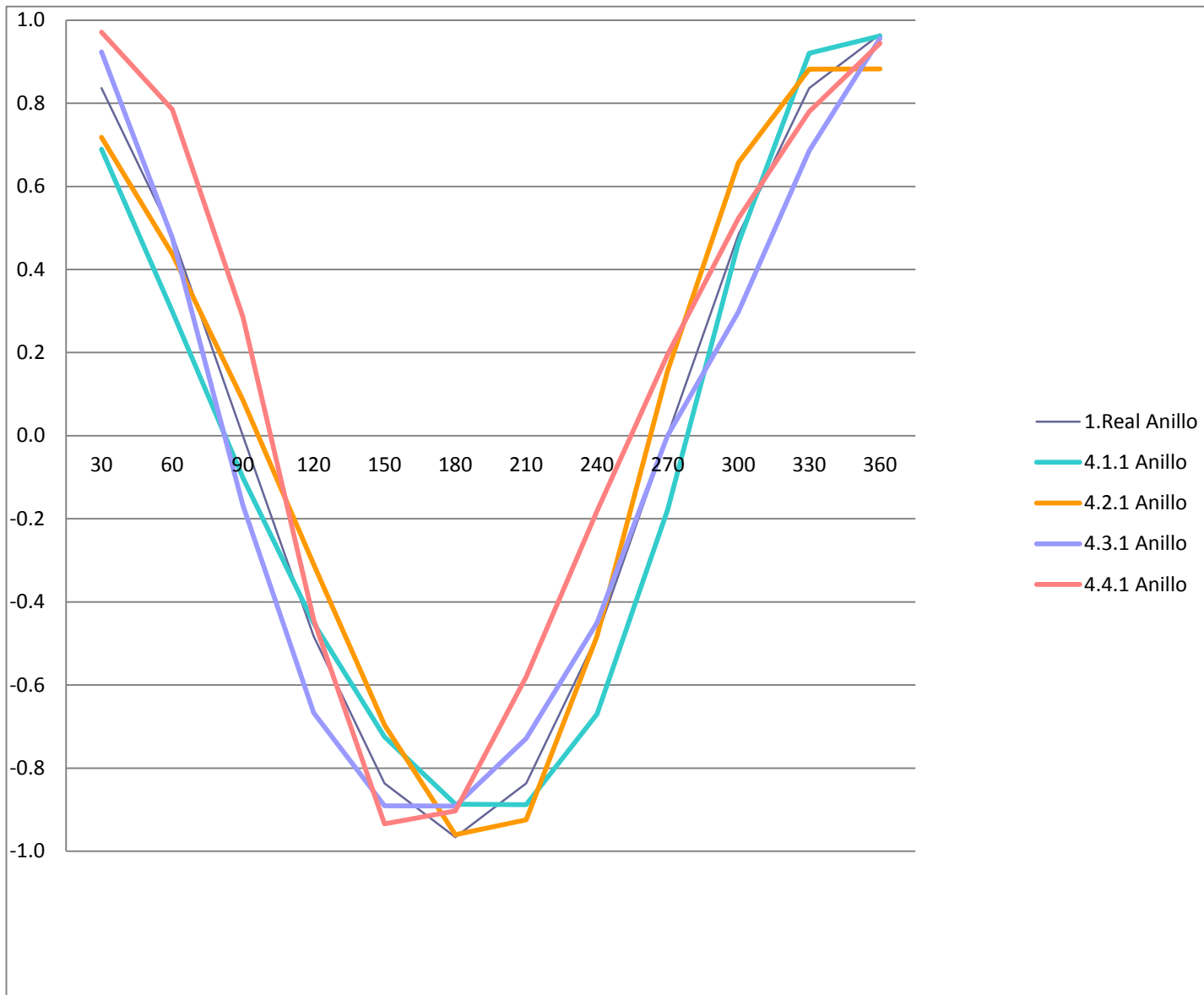




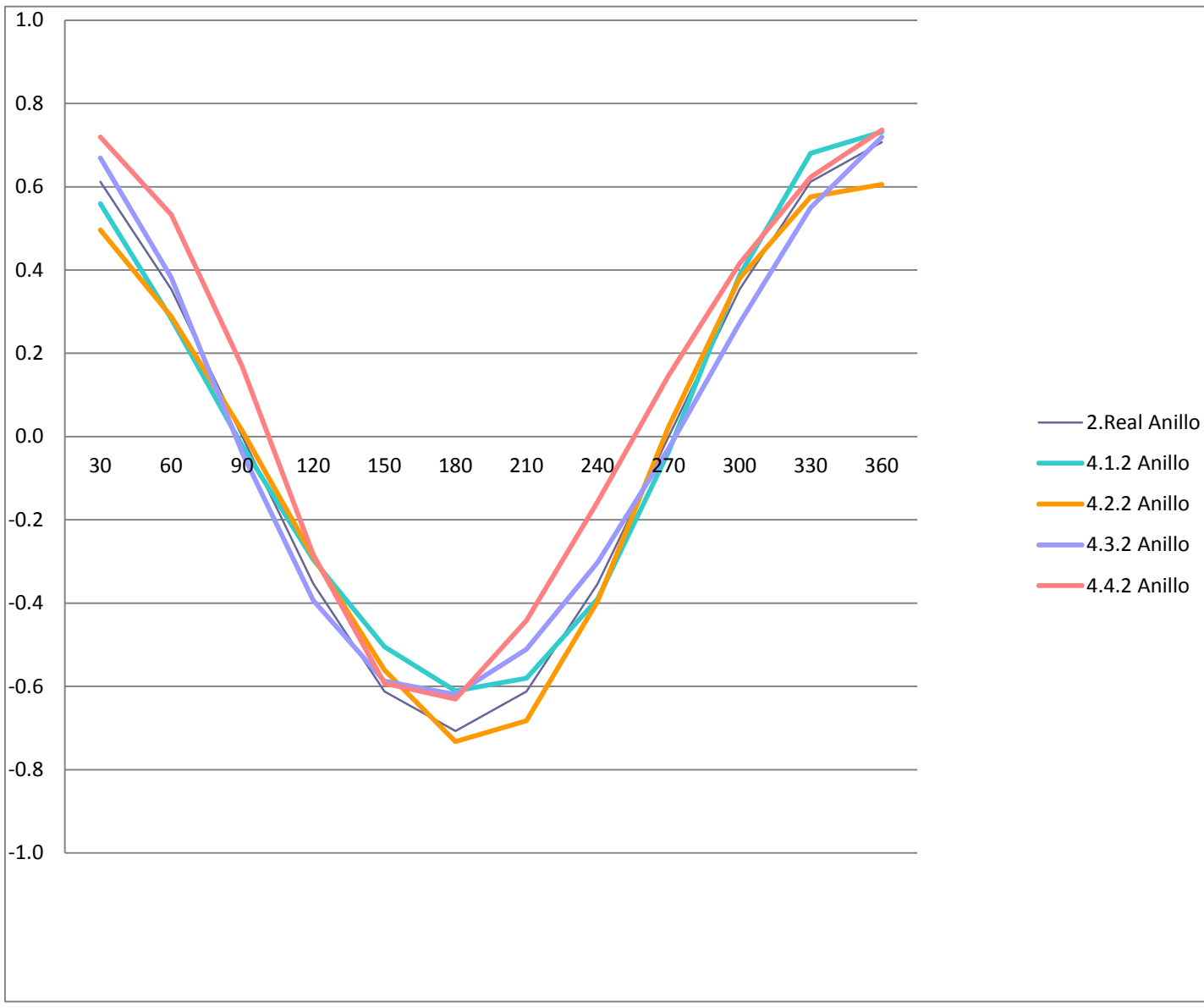
**Gráfico X3.3:**



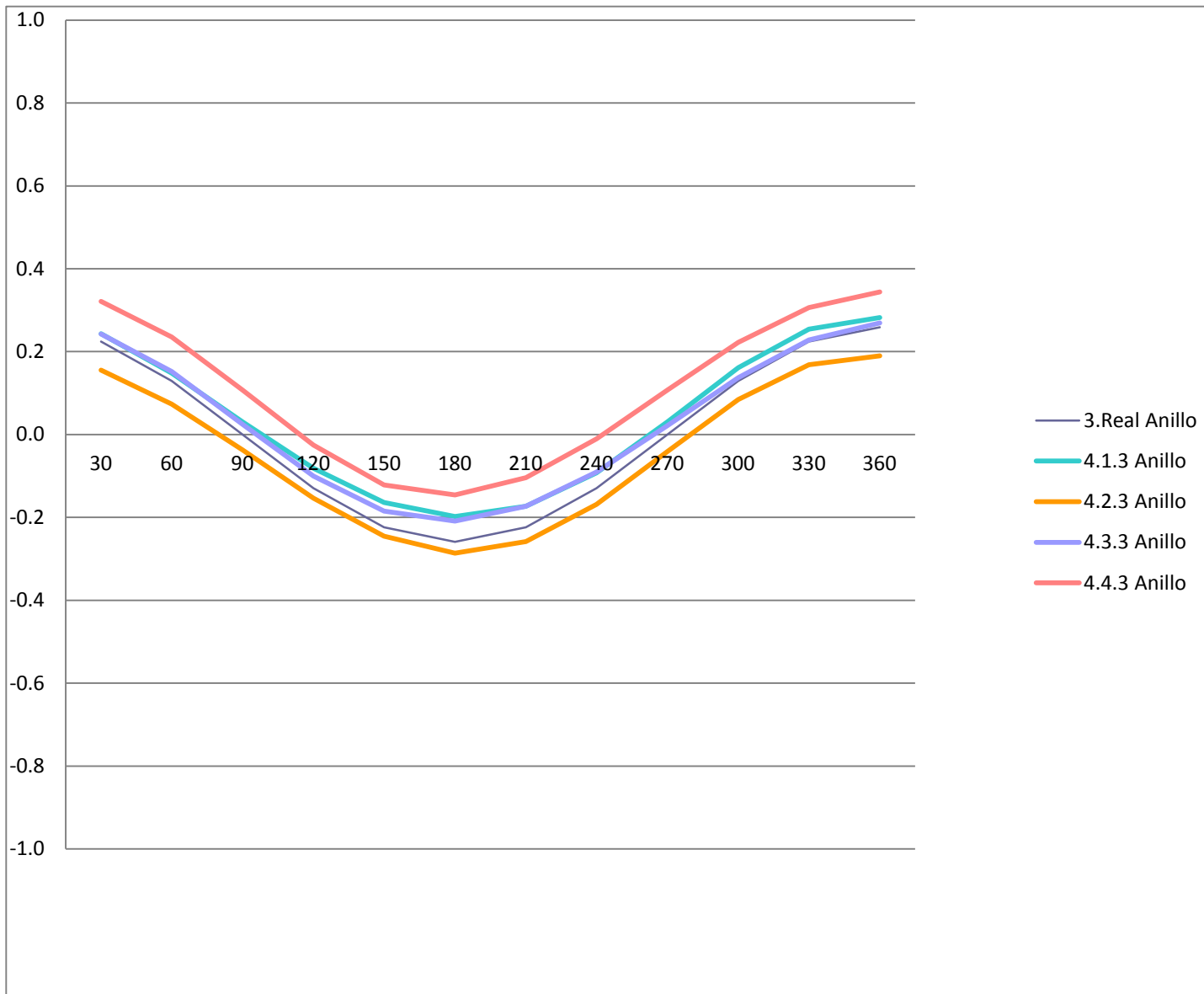
**Gráfico Y3.1:**



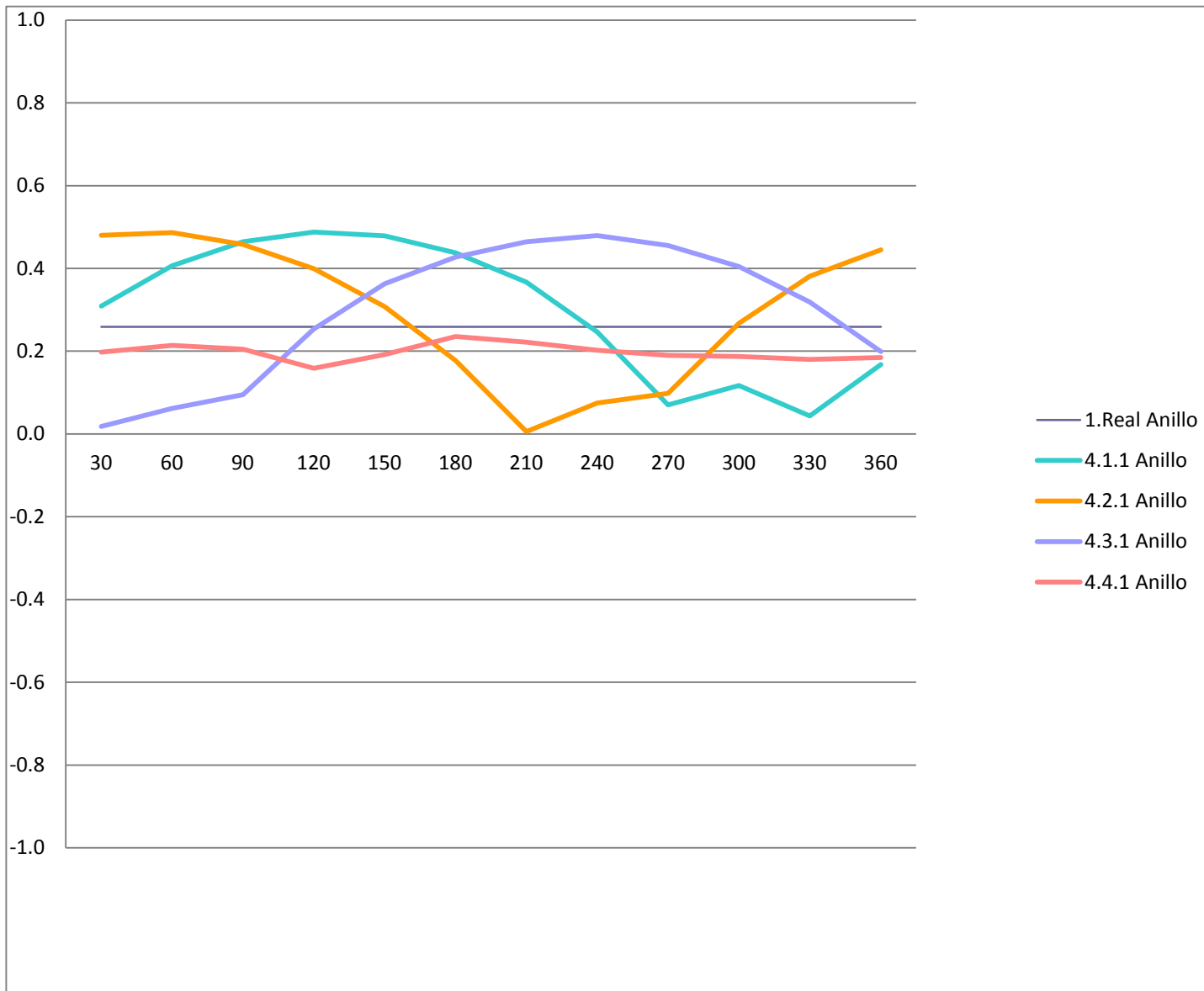
**Gráfico Y3.2:**



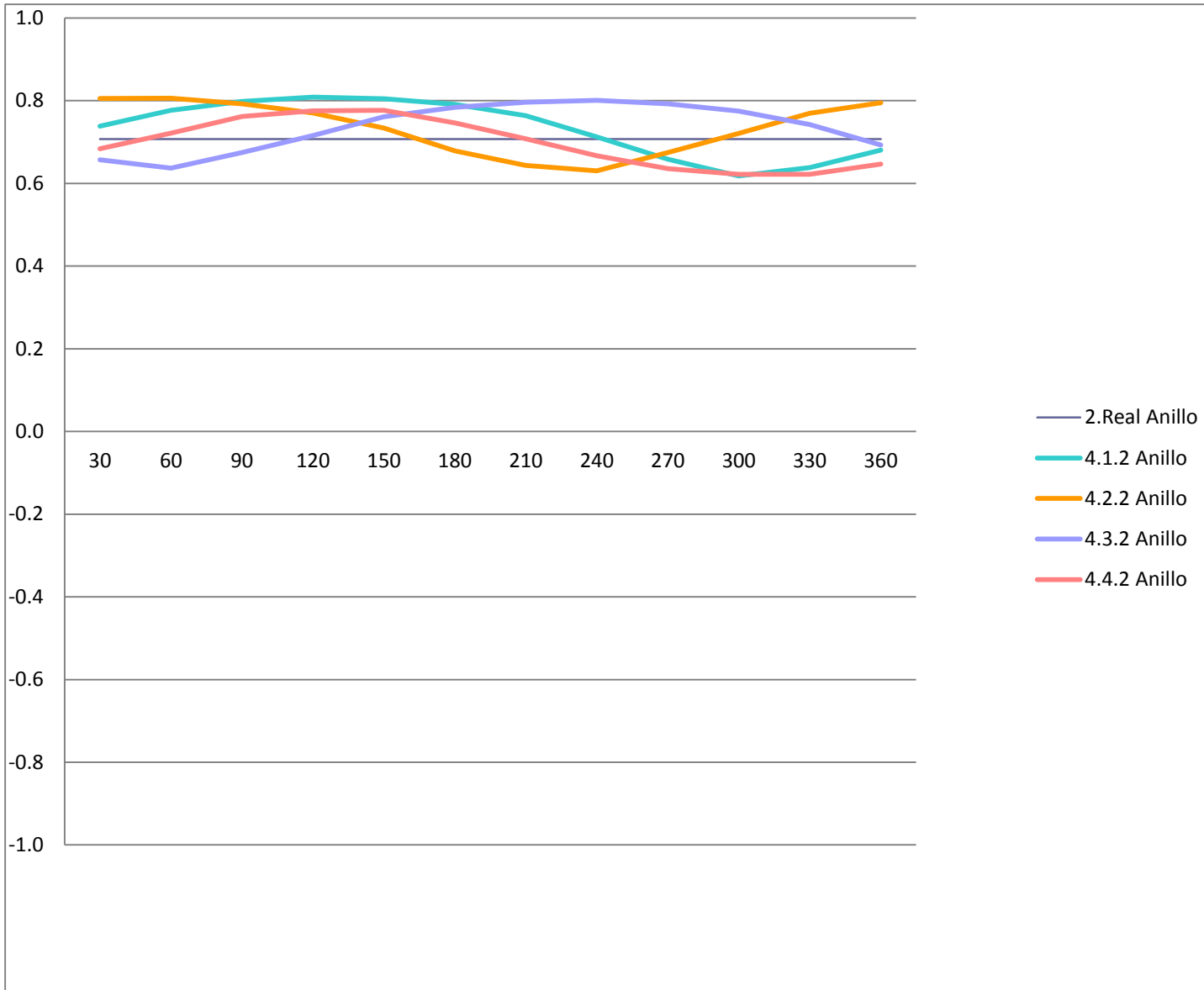
**Gráfico Y3.3:**



**Gráfico Z3.1:**



**Gráfico Z3.2:**



**Gráfico Z3.3:**

