

Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 5



**TRATAMIENTO GEOMÉTRICO Y ESTADÍSTICO DE LA CAPTURA DEL
DESTELLO LASÉR EN EL SIMULADOR DE TIRO.**

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE:
INGENIERO EN CIENCIAS INFORMÁTICAS.

AUTOR:

Héctor Curbelo Barrios

TUTOR:

Isidro Viera Enseñat, Profesor Titular

La Habana, junio 2007

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaramos ser autores de la presente tesis y reconocemos a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo.

Para que así conste firmo la presente a los ____ días del mes de ____ del año _____.

Autor: Héctor Curbelo Barrios

Tutor: Isidro Viera Enseñat, Profesor Titular.

Firma del Autor

Firma del Tutor

Síntesis del Tutor:

- a. Ingeniería Eléctrica, Especialidad Electrónica. UCLV 1966.
- b. Doctor en Ciencias Técnicas, Comisión Nacional de Grados Científicos 1984.
- c. Profesor Titular, Ministro de Educación Superior 1983.
- d. Investigador Titular, Comisión Nacional para el Otorgamiento de las Categorías de los Trabajadores de Investigación Científica 1988.

Contactar en:

isidro@simpro.reduim.cu

oriad@infomed.sld.cu

AGRADECIMIENTOS

Agradecer de manera especial a la revolución y al comandante por esta oportunidad.

Agradecer a mi tutor por su colaboración indispensable.

Agradecer a mis amigos por su apoyo.

Agradecer a nuestra decana por su confianza.

Agradecer a Minardo por su apoyo.

DEDICATORIA

A mi madre de manera especial, por su dedicación, confianza y cariño.

A mi novia por todo su amor.

A mi familia por su preocupación y apoyo.

RESUMEN

El tratamiento geométrico y estadístico en la captura del destello láser en el Simulador de Tiro, pretende mejorar el funcionamiento de Un simulador de tiro de infantería que se basa en la proyección de imágenes pertenecientes a un entorno virtual, las cuales se emplean como blancos. El tirador apunta con un arma convenientemente adaptada, dotada de un diodo emisor de luz láser. Una cámara deberá captar la emisión del diodo, y las coordenadas del punto capturado deberán ser transformadas a coordenadas del mundo virtual para poder realizar la evaluación de los resultados del tiro. Como se menciona anteriormente este trabajo va encaminado a mejorar el funcionamiento del simulador, pues actualmente se introducen errores por la distorsión que introduce la cámara en la captura del destello láser, de aquí la necesidad de su mejora en cuanto a este aspecto se refiere. Actualmente el Tratamiento geométrico de la imagen capturada por cámaras o calibración, es usado principalmente con fines cartográficos para la representación gráfica del terreno y mapas cartográficos, también se usa en simuladores de vuelo, y en la reconstrucción de fachadas arquitectónicas y monumentos arqueológicos. Los objetivos fundamentales de este trabajo son entre otros: proponer la elaboración de procedimientos o métodos que permitan minimizar los errores geométricos introducidos por la cámara en la captura del destello láser.

PALABRAS CLAVES

Calibración

Distorsión

Coordenadas

INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO 1	18
1.1- Los simuladores de Tiro.	19
1.2- Los proyectores en el Simulador de Tiro.	21
1.3- La cámara digital.	23
1.4- Fotogrametría.	24
1.4.1- La fotogrametría Digital.	26
1.4.1.1- Fotogrametría terrestre.	27
1.4.1.2- Fotogrametría aérea.	27
1.4.1.3- Fotogrametría espacial.	27
1.2- Rectificación de imágenes digitales u ortofotografía.	28
1.5.1- Métodos de rectificación de imágenes digitales.	29
1.5.1.1- Rectificación polinómica.	29
1.5.1.2- Rectificación proyectiva.	30
1.6- Distorsión.	32
1.6.1- Tipos de distorsión por la geometría interna de la cámara	33
1.6.2- Tipos de distorsión por la geometría externa de la cámara.	34
1.7- Calibración de cámaras.	34
1.7.1 Modelo Pin-hole.	35
1.7.2- Método de Tsai [Tsai, 1987].	36
1.7.4- Método de Batista.	36
1.8- Estadística.....	37
1.9. Metodologías y herramientas de desarrollo:	37
10. Consideraciones del Capítulo:	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 2	40
Descripción del Problema	40
2.1- Parámetros de calibración.	41
2.1.1- Los parámetros definidos como intrínsecos en el proceso de calibración generalmente son:	41
2.1.1.1- Distancia focal.	41
2.1.1.2- Factores de Escala.	41
2.1.1.3- Punto Principal.....	43
2.1.1.3- Coeficientes de Distorsión.	44
2.1.2- Los parámetros definidos como extrínsecos en el proceso de calibración generalmente son:	45
2.1.2.1- Vector de traslación.	45
2.1.2.1- Matriz de rotación.	46
2.2- Transformación de coordenadas en el Simulador de Tiro.	46

2.3- Correspondencia entre los marcos de coordenadas .	47
2.4- Calculo de los parámetros M.	51
2.5- Enunciado de la solución propuesta.	54
2.6 Modelo de Dominio:	55
2.6.1- Glosario de Términos.	55
2.6.2- Captura de requisitos.	56
2.6.2.1 Requerimientos Funcionales:	56
2.6.2.2 Requerimientos no Funcionales:	57
2.6.3 Modelo de Casos de Uso:	58
2.6.3.1 Casos de Uso del Sistema:	59
2.6.5 Descripción Textual De los Casos de Uso:	60

CAPITULO 3 66

Descripción de la solución propuesta	66
3.1- Encuadre semiautomático.	67
3.2-Tratamiento matemático del problema del ajuste de curvas.	69
3.2.1- Mínimos Cuadrados.	69
3.2.1.1- Polinomio aproximador.	69
3.3- El Ajuste de Curva en el Simulador de Tiro.	73
3.4- Cambio de Coordenadas:	76
3.5- Propuesta de patrón para la calibración semiautomática.	76
3.5- Verificación de calibración:	77
3.6 EL error y su tratamiento estadístico.	79
3.6.1- Fuentes del Error.	79
3.6.1.1- Error de calibración	79
3.6.2- Tratamiento estadístico de datos.	80
3.6.2.1- Valor medio de la medición	80
3.7 Modelo de Análisis	81
3.6.1 Caso de uso: "Calcular Coeficientes"	81
3.6.2 Caso de uso: "Cambio Automático"	82
3.6.3 Caso de uso: "Cambio de Coordenadas"	82
3.6.4 Caso de uso: "Cambio Manual"	83
3.6.5 Caso de uso: "Encuadre Semiautomático"	83
3.6.6 Caso de uso: "Verificar Calibración"	84
3.7 Modelo de Diseño:	84
3.7.1 Diagrama de Clases de Diseño	85
3.7.2 Caso de uso: "Cálculo de Coeficientes"	86
3.7.3 Caso de uso: "Encuadre Semi-Automático"	88
3.7.4 Caso de uso: "Verificar Calibración"	90
3.7.5 Caso de uso: "Cambio de coordenada"	91
3.7.6 Caso de uso: "Cambio Manual"	91
3.7.7 Caso de uso: "Cambio Automático"	92
3.1- Implementación del Sistema.	93
3.8.1 Diagrama de Componentes:	93
Fig.39: Diagrama de Componentes "Sistema de Calibración"	93
3.8.2 Modelo de Despliegue	94

CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
BIBLIOGRAFIA	98
Fuente electrónica:	98
Tesis:.....	99
Otros documentos:	100
ANEXOS	101
GLOSARIO	105

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

CAPÍTULO 1	18
FIG.:1. SIMULACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE UN PROYECTOR CYCLOPS.	21
FIG.:2. ALTERNATIVA TOMADA EN AUSENCIA DE LA ANTIGUA TECNOLOGÍA.	22
FIG.:3. WEBCAM 300	23
FIG.4: MODELO PIN-HOLE	35
CAPÍTULO 2	40
FIG.5: EL FOCO F Y LA DISTANCIA FOCAL F DE UNALENTE POSITIVA.	41
FIG.6: ESCALADO.	42
FIG.7: REPRESENTACIÓN DEL LA INTERSECCIÓN ENTRE EL EJE ÓPTICO DE LA CÁMARA Y EL PLANO IMAGEN.	43
FIG.8: REPRESENTACIÓN DEL FENÓMENO DE DISTORSIÓN RADIAL EN SUS DOS VARIANTES.	44
FIG.9: ESQUEMA QUE REPRESENTA LA TRASLACIÓN.	45
FIG.10: REPRESENTACIÓN DE LA ROTACIÓN CON RESPECTO AL ORIGEN.	46
FIG.11: COORDENADAS DE PANTALLA FIG.12: COORDENADAS DE LA CÁMARA.	47
FIG.13: REPRESENTACIÓN DE UN ENCUADRE SIN ROTACIÓN.	48
FIG.14: REPRESENTACIÓN DE UN ENCUADRE SIN ESCALADO.	48
FIG.15: REPRESENTACIÓN DE UN ENCUADRE CON ROTACIÓN Y ESCALADO.	50

FIG.16: REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE FAVORABLE DE LOS PUNTOS.....	51
FIG.17: REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DESFAVORABLE DE LOS PUNTOS.	51
FIG.18: REPRESENTACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DESFAVORABLE DE LOS PUNTOS.	52
FIG.19: DIAGRAMA DE CLASE DEL DOMINIO.....	55
FIG.20: DIAGRAMA DE CASO DE USO DEL SISTEMA.....	60
CAPITULO 3	66
FIG.21: REPRESENTACIÓN DE LA ZONA DE CAPTURA DE LA CÁMARA.....	67
FIG.22: REPRESENTACIÓN DE UNA VISTA DE LA CAPTURA DE LA CÁMARA.....	68
FIG.23: ESQUEMA QUE REPRESENTA LA DISTRIBUCIÓN DE LOS PUNTOS DE CAPTURA PARA EL CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CAMBIO DE COORDENADAS.....	77
FIG.24: ESQUEMA QUE MUESTRA EL PRINCIPIO DE LA VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN.....	78
FIG.25: DIAGRAMA DE CLASES" CALCULAR COEFICIENTES"	81
FIG.26: DIAGRAMA DE CLASES" CAMBIO AUTOMÁTICO".....	82
FIG.27: DIAGRAMA DE CLASES" CAMBIO DE COORDENADAS"	82
FIG.27: DIAGRAMA DE CLASES" CAMBIO MANUAL".....	83
FIG.29: DIAGRAMA DE CLASES" VERIFICAR CALIBRACIÓN.....	84
FIG.30: DIAGRAMA DE CLASES DE DISEÑO: "SISTEMA DE CALIBRACIÓN"	85
FIG.31: DIAGRAMA DE SECUENCIA" CÁLCULO COEFICIENTES".....	86
FIG.32: CÁLCULO COEFICIENTES.....	87

FIG.32: DIAGRAMA DE SECUENCIA" ENCUADRE SEMI-AUTOMÁTICO"	88
FIG.31: ENCUADRE SEMI-AUTOMÁTICO	89
FIG.33: DIAGRAMA DE SECUENCIA" VERIFICAR CALIBRACIÓN"	90
FIG.34: VERIFICAR CALIBRACIÓN	90
FIG.35: DIAGRAMA DE SECUENCIA" CAMBIO DE COORDENADA"	91
FIG.36: DIAGRAMA DE SECUENCIA" CAMBIO MANUAL"	91
FIG.37: DIAGRAMA DE SECUENCIA" CAMBIO AUTOMÁTICO"	92
FIG.38: CAMBIO DE COORDENADAS	92
FIG.39: DIAGRAMA DE COMPONENTES "SISTEMA DE CALIBRACIÓN"	93
FIG.40: MODELO DE DESPLIEGUE:"SISTEMA DE CALIBRACIÓN"	94

INTRODUCCIÓN

Un simulador de tiro típico, destinado para entrenar las tropas con armas de infantería, requiere de la proyección de imágenes pertenecientes a un entorno, las cuales se emplean como blancos virtuales. El tirador dispone de un arma adaptada dotada de un diodo emisor de luz láser, convenientemente alineado con los órganos de puntería del arma. El “disparo”, entre otros efectos, provoca la emisión de un destello de la luz láser por un breve intervalo de tiempo, y esta luz incide sobre la pantalla donde es proyectado el entorno virtual que contiene los blancos. El mecanismo para la evaluación de los resultados del tiro, por lo general, hace uso de una cámara digital para captar la emisión del diodo, y las coordenadas del punto de incidencia del láser deberán ser transformadas matemáticamente de coordenadas de cámara a coordenadas del mencionado mundo virtual. Dicha captura introduce errores de distorsión por la mala geometría interna y externa de la cámara, los cuales afectan significativamente la evaluación del ejercicio de disparo.

Actualmente el simulador de tiro cuenta con un procedimiento simple de evaluación de los resultados del tiro que desprecia los errores de la proyección, la distorsión del lente y la digitalización.

Para ciertos tipos de cámara, ubicadas a bastante distancia de la pantalla y con su centro de simetría coincidiendo con el centro del lente, los resultados actuales pueden ser aceptables, con errores máximos del orden de unos 3 píxel, lo que es aceptable para ciertos tipos de ejercicios de tiro. Sin embargo, no siempre se dispone del mismo tipo de cámara, ni la geometría de la solución permite siempre su ubicación favorable con respecto a la pantalla. Por otra parte, aún en tales condiciones favorable no queremos renunciar a la posibilidad de reducir los errores para aumentar el rigor de la evaluación sobre blancos distantes o pequeños por lo que resulta conveniente obtener una solución más general y rigurosa que tenga en cuenta todos los

pormenores de la geometría de la captura, las características del lente y la estadística para reducir el error de digitalización. Tal es el objetivo que nos proponemos en el presente trabajo.

Actualidad e Importancia.

El tratamiento geométrico tanto interno como externo en la captura de cámaras se conoce como Calibración de Cámaras, esta técnica se aplica fundamentalmente con fines cartográficos para la elaboración de mapas del terreno donde la captura es realizada desde aviones; que es lo que se conoce como Fotogrametría Aérea, también es utilizada en la Fotogrametría Espacial, realizándose la captura desde el espacio principalmente por satélites, y por último es utilizada además en la Fotogrametría Terrestre donde la captura es sobre la tierra y a menos de 300 metros de distancia al objeto fotografiado. Esta última se emplea en la reconstrucción de fachadas arquitectónicas y en monumentos arqueológicos, resaltando entre otras de sus aplicaciones.

La importancia del trabajo radica en que, usando los principios de las distintas ramas de la Fotogrametría y especialmente de la Terrestre, y además el uso de los principios de las técnicas de Calibración de Cámaras, se puede encontrar un procedimiento que se adapte más a las características y requerimientos de los Simuladores de Tiro, aportando una nueva filosofía en los modelos matemáticos de cambio de coordenadas usados actualmente por dicho Simulador, como es la introducción en este modelo matemático del fenómeno de la distorsión, así como la propuesta de una nueva alternativa para la calibración de la cámara, desde el punto de vista de la geometría interna. Otra arista de la importancia de este trabajo es que permite efectuar el ejercicio en condiciones económicas mínimas, pues con el uso de estos modelos matemáticos le permite al simulador usar cámaras baratas para la captura, siendo estas tan eficientes en cuanto a la calidad de la captura que requiere el Simulador, como otras más caras. La importancia que más se manifiesta, y precisamente por la que se trabaja en el Simulador es el entrenamiento de las tropas para la defensa del país. Es muy importante que las mejoras sobre el Simulador sean válidas, pues de estas depende la calidad con la que se ejercitan las tropas, ya que este Simulador está funcionando en numerosas unidades militares en el país y se prevé

ampliar su uso a otras, por tanto mientras más real y preciso sea el ejercicio, mejor sería el resultado del entrenamiento y en consecuencia la preparación de las tropas para la defensa de la Revolución.

Problema Científico:

¿Cómo minimizar los errores introducidos por la geometría en la captura de la cámara, así como el tratamiento estadístico de estos?

Objeto de Estudio:

Sistema de calibración de cámara del Simulador de Tiro de SIMPRO.

Campo de Acción:

Tratamiento geométrico y estadístico de la captura de la cámara.

Objetivo General:

Proponer un procedimiento que permita minimizar y cuantificar los errores que se introducen en la captura del destello láser.

Ideas a defender:

Se desarrolla una propuesta de un procedimiento que sea capaz tratar estadística y geoméricamente los errores introducidos por la cámara durante la captura de destello láser, el funcionamiento del simulador será mucho más eficiente y con ello se elevará la calidad del mismo, dando lugar a que el ejercicio práctico sea más eficiente.

Tareas a desarrollar:

- Estudio de los distintos métodos utilizados en la calibración de cámaras.
- Estudio de los modelos de la distorsión existentes.
- Proponer un procedimiento que permita alcanzar los objetivos trazados.

Métodos de investigación:

Métodos teóricos:

Fueron utilizados para profundizar, descubrir, analizar y sistematizar los resultados obtenidos, y llegar a conclusiones confiables que permitan resolver el problema.

- El **Analítico – sintético** permitió extraer los elementos más importantes de cada documento que se analizó.

La **inducción-deducción** se utilizó durante toda la investigación, para llegar a conclusiones y hacer generalizaciones.

- El **histórico-lógico** se utilizó al estructurar la trayectoria del objeto de estudio en el transcurso de su historia.

La **Modelación** Analógica se utilizó para la elaboración tanto de proceso actual, como propuestas de solución.

Métodos Empíricos:

Fueron utilizados en el transcurso de la investigación para descubrir y acumular un conjunto de datos, que sirven de base para dar respuesta a las preguntas científicas.

La **observación** del valor de los coeficientes de cambio al realizar el ajuste de curvas.

La **medición** para comparar el coeficiente de error del objeto con respecto al existente.

Métodos Matemáticos:

Métodos estadísticos:

Posibilitaron el análisis y procesamiento de toda la información para determinar el comportamiento estadístico del error.

Elementos de la **estadística descriptiva** en muestras de cantidad de disparos tomadas y el uso de tablas que ayudasen a la comparación de los datos iniciales con los datos resultantes.

Organización del documento.

Este trabajo ha sido organizado de la siguiente manera:

El capítulo 1 Fundamentación Teórica

Presenta una introducción a los Simuladores de Tiro, mostrándose los principales conceptos utilizados e incluyendo diferentes técnicas, herramientas y procedimientos actuales.

El Capítulo 2 Descripción del problema.

Describe los principales parámetros que caracterizan una cámara digital, además se enuncia y especifica el funcionamiento actual del Simulador de Tiro.

El capítulo 3 Descripción de la solución propuesta.

Propone el modelo matemático a utilizar para dar solución al problema científico, así como otras metodologías que persiguen este mismo fin.

Capítulo 1

Fundamentación Teórica

El presente capítulo presenta en un orden de pasos lógicos y organizados un análisis de conceptos que van desde los Simuladores de Tiro hasta la calibración de cámaras. En el recorrido por los distintos conceptos, empezamos viendo como se comportan los Simuladores en el mundo; ya adentrándonos más en el tema que nos compete nos referimos exactamente al Simulador de Tiro de SIMPRO, sus inicios, y su geometría externa que entre otros aspectos dan al traste con la realización de este trabajo.

1.1- Los simuladores de Tiro.

Un Simulador es un aparato que permite la simulación de un sistema, reproduciendo su comportamiento. Los simuladores reproducen sensaciones que en realidad no están sucediendo [Re.1-1].

De manera particular el Simulador de Tiro de SIMPRO, es un artefacto diseñado para la simulación de un sistema de entrenamiento de tiro para las tropas de infantería.

A continuación se describen algunos productos similares desarrollados por empresas extranjeras y que se pueden localizar sin gran esfuerzo en la red, a fin de dar una idea de lo que existe en el mundo y la competencia que tiene lugar para mejorar el desempeño y obtener el mercado de los simuladores de tiro.

En primer lugar pudimos apreciar que la empresa Noptel [Re.1-2].fue una de las primeras en el mundo (desde 1984) en introducir un sistema óptico avanzado para análisis y simulación del tiro que puede ser utilizado a diario por militares, fuerzas y cuerpos de seguridad y deportistas. En la actualidad continúa siendo uno de los principales proveedores mundiales de simuladores de tiro.

Noptel fue la primera empresa en introducir un sistema óptico avanzado de análisis y simulación de tiro que puede ser utilizado a diario por militares, fuerzas y cuerpos de seguridad y deportistas desde 1984. En la actualidad es el primer proveedor mundial de simuladores de tiro. Noptel ocupa una posición privilegiada en muchos países, con grandes clientes que confían en los productos de dicha empresa. Además de la tecnología de medición avanzada, en Noptel son expertos en tecnologías para condiciones medioambientales extremas y análisis técnico de disparos [Re.1-2].

En el mundo se han desarrollado varios simuladores de tiro como:

El Instituto de Investigaciones Científicas de Maquinaria de Precisión, ubicado en la ciudad de Klimovsk (provincia de Moscú), ha presentado en la Feria MVSV-2006 su último desarrollo: el Simulador unificado 1U35, el cual representa un sistema mecánico-electrónico para practicar la puntería y ensayar distintas armas de tiro, tanto de fabricación rusa como extranjera. No se

necesitan municiones, y el grado de realidad alcanzado es notable. Casi el cien por ciento [Re.1-3].

Se han desarrollado otros simuladores de tiro con armas portátiles que permiten entrenar a varios tiradores, simultáneamente. La práctica de puntería puede realizarse sobre blancos fijos o proyecciones de distintas situaciones de combate. Generalmente, ofrece la posibilidad de entrenar un número no mayor a diez participantes. Como: DINAMIT—Novel—Alemania, SIMRA--Argentina. FATS ----- - EE.UU. por citar algunos ejemplos [Re.1-4].

Existen otros como “Eurosimulator”, el cual consiste en un entrenamiento online como una especie de juego y tiene varias formas y armas con distintos órganos de puntería. Es en esencia un ejercicio de tiro al blanco.

Por otra parte, se implementan no sólo con fines militares aunque esta sea su área principal de empleo, son también usados para la caza, como por ejemplo los expuestos en la feria de FECIEX (“Feria de Caza, Pesca y Naturaleza Ibérica de Extremadura”).

Entre los productos similares encontramos también el Láser Shot, un Simulador de tiro que sus fabricantes describen de la siguiente forma: “es un producto con el que uno puede poner a prueba su puntería disparando con una escopeta láser a una pantalla en la que se proyectan las imágenes de los animales que hay que abatir”.

En esta decimosexta edición de FECIEX se ha duplicado el número de simuladores de tiro. En años anteriores había cuatro, mientras que en esta edición el número asciende a ocho, ya que cada vez son más los que quieren probar como anda de puntería y competir con amigos o en familia. El visitante puede elegir si prefiere ir de caza mayor con venados, jabalís o incluso búfalos, o bien puede optar por la caza menor y disparar a perdices, patos o palomas. Este año se ofrece la novedad de poder optar por la Caza Mixta, en este recorrido te salen todo tipo de animales, por lo que hay que estar preparado para todo tipo de tiro. Los animales reproducen los sonidos propios de su especie haciendo la experiencia más real. [Re.1-5].

1.2- Los proyectores en el Simulador de Tiro.

El Simulador de Tiro de SIMPRO hace algunos años usaba proyectores **CYCLOPS** con cámara incorporada para la realización del ejercicio de tiro. Estos proyectores se fabricaban para ser empleados en video-conferencia. Las ventajas de los mismos, y lo cual le daba la usabilidad para el Simulador son; contaban con una cámara la cual estaba alineada internamente con el proyector, además de esto, el cambio de coordenadas se hacía también de forma interna, y por este motivo se simplificaba la realización del ejercicio. Esto no quiere decir que no se introdujeran errores en la realización de la captación de la cámara. Seguidamente se representa una figura para comprender mejor lo anteriormente expresado.

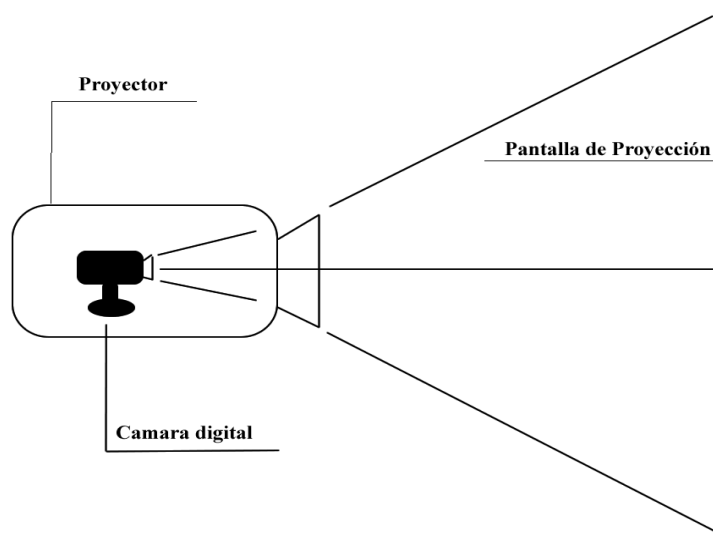


Fig.:1. Simulación de la tecnología de un proyector CYCLOPS.

En una versión inicial del Simulador usaba este tipo de proyectores, a medida que se fue desarrollando, se fueron añadiendo otras usabilidades que involucraban una nueva proyección de la geometría Cámara-Proyector. La deficiencia de los proyectores **CYCLOPS**, es que cuando el tirador realizaba el disparo, el driver hacía que el sistema operativo lo atendiera como un cursor.

Esta característica que podía ser ventajosa en casos sencillos, por ejemplo para un único tirador, encerraba sin embargo una importante limitación, cuando se realizaba más de un disparo ya no era lo mismo, el sistema sólo atendía un impacto y en algunos casos se podían dejar de detectar impactos simultáneos. A esto hay que sumarle que la compañía que fabricaba estos proyectores dejó de fabricarlos, y para obtener un equipo de este tipo se realizaba mediante una solicitud directa a la compañía, de esta forma por ser un pedido específico se convertía en un producto muy caro.

Ante las necesidades del Simulador y la deficiencia de los proyectores CYCLOPS, para resolverlas se han buscado nuevas alternativas que resuelvan estas necesidades de manera eficiente y económica. El Simulador cuenta con una cámara externa coordinada geoméricamente con el proyector de forma manual.

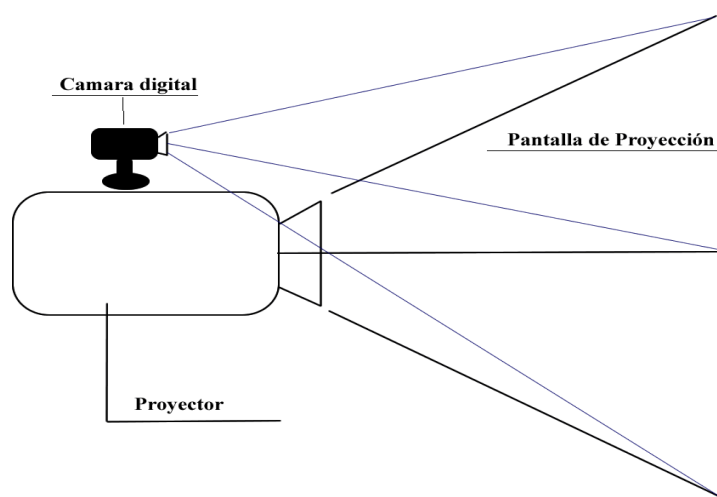


Fig.:2. Alternativa tomada en ausencia de la antigua tecnología.

Esta geometría por ser ajustada de forma manual, no siempre resulta óptima y por otra parte da la facilidad de incluir varios tiradores de forma simultánea en el ejercicio, además se conocen los

parámetros internos de la cámara lo cual nos da la ventaja de poder tratar con efectividad los errores introducidos por la geometría no deseada.

1.3- La cámara digital.

Debido a la geometría cámara - proyector usada por el Simulador, existió la necesidad de buscar una cámara que se adaptara a los requerimientos del este modelo, lo ideal sería contar con una cámara métrica que está especialmente diseñada para minimizar los errores de digitalización, de forma que se sabe de antemano todos los parámetros internos y externos de la cámara. Estas cámaras por su funcionalidad y cualidades, son muy caras en el mercado. En este caso se emplean cámaras no métricas, esto implica que si se utiliza con fines métricos hay que determinar previamente sus datos internos y externos mediante calibración.

Los parámetros internos y externos que definen el comportamiento de una cámara de forma general son:

Parámetros intrínsecos:

Son aquellos que definen el modelo de cámara utilizado, estableciendo sus características geométricas y ópticas.

Parámetros extrínsecos:

Son aquellos que definen la orientación y la posición de la cámara, respecto a un Sistema de Coordenadas conocido, al que se llamará Sistema de Coordenadas de Pantalla.

La cámara utilizada por el Simulador de Tiro es:



Fig.:3. WebCam 300

Estas cámaras no métricas, no son las más deseadas dentro de este grupo, pero por ser baratas y contar con los requerimientos del Simulador son las que se utilizan.

1.4- Fotogrametría.

La Fotogrametría es el arte, ciencia y tecnología de obtener información fidedigna de los objetos físicos y del medio ambiente mediante los procesos de registro, medición e interpretación de las imágenes fotográficas [Re.1-6].

El concepto de fotogrametría ha ido evolucionando paralelamente con los avances tecnológicos a lo largo de la historia. Ya a finales del Siglo XV, Leonardo da Vinci trabajó con perspectiva y proyección central. Más tarde se desarrolla el teorema geométrico que Johan Heinrich Lambert publica en 1759 como «Perspectiva Libre». Este libro desarrolla los principios matemáticos de transformación de una imagen perspectiva y se realizan aplicaciones aisladas tales como levantamientos de cartas de costas. En 1816, Nicéphore Niépce logra la primera imagen sobre papel mediante la cámara oscura [Re.1-6].

El francés físico y astrónomo Dominique Francois Jean Aragón hace público el 7 de enero de 1839 el invento de la fotografía e inmediatamente se piensa en utilizar el descubrimiento en los levantamientos topográficos [Re.1-6].

A partir del año 1850, la fotogrametría ha seguido ciclos de desarrollo que se pueden agrupar en las siguientes etapas:

- a) Fotogrametría Gráfica (1850 a 1900) (Albertz & Wiedemann, 1996).
- b) Fotogrametría Analógica (1900a1960).
- c) Fotogrametría Analítica (1960 hasta la actualidad) y
- d) Fotogrametría Digital (1990 hasta la actualidad).

En el primer ciclo Aimé Laussedat, considerado como fundador de la Fotogrametría, anuncia el primer uso con éxito de la medición mediante fotografías, creando el primer instrumento para los levantamientos fotogramétricos y el primer método de restitución. Todos estos procesos se denominaron con el término Iconometría. En 1858 el arquitecto alemán Albecht Meydenbauer

utiliza la fotogrametría para la documentación de edificios, creando el primer instituto fotogramétrico en 1885. Antonio Terrero publica en 1862 un artículo en el que descubre uno de los teoremas fundamentales de la base matemática de la Fotogrametría, el principio de los planos nucleares. En 1886, Torres Quevedo con un fotogrametro de su invención, realiza el primer levantamiento fotogramétrico español del barranco de Vista Hermosa (Madrid) a escala 1:1.000. En 1899 se presenta la primera obra teórica sobre Fotogrametría en español: «Topografía Fotográfica», de Iriarte y Navarro, elogiada por Laussedat [Re.1-6].

En el segundo período destaca en 1901, Pulfrich quien construye el estereocomparador con el que se inicia una nueva era en el campo de la fotogrametría. La primera tesis doctoral sobre Fotogrametría: Fototopografía teórica y práctica» de José María Torroja es en 1907. La Fotogrametría terrestre alcanza su plenitud en 1909 gracias al teniente austriaco Von Orel, inventor del estereoautógrafo, aparato de restitución automática. En 1913, se construye el fototaquímetro de Torroja en el Instituto Geográfico. En 1930, el Instituto Geográfico comienza a utilizar la Fotogrametría aérea. En Norteamérica Earl Church (1890-1956) contribuyó a la teoría de la fotogrametría analítica. Church trabajó como profesor en la Universidad de Syracuse y fue uno de los miembros fundadores de la Sociedad Americana de Fotogrametría (ASPAS) [Re.1-6].

El tercer período, introduce el cálculo electrónico que significó un gran avance en el desarrollo de la Fotogrametría. En 1953, Hellmut Schmid, desarrolla los principios de la fotogrametría analítica moderna usando notaciones matriciales y utiliza soluciones mínimo cuadráticas y un completo estudio de la propagación de los errores. En 1957, Uki Helava inventa el estereoploter analítico. En España, se introduce la fotogrametría analítica en 1966 con el método de Brucklacher para compensación de bandas analógicas [Re.1-6].

El comienzo del cuarto período, fotogrametría digital, es muy difícil de ubicar. Conceptualmente en 1955 Rosenberg ya habla de la automatización electrónica de la elaboración de mapas. En 1965, Sharp describe el «Digital Automatic Map Compilation» que es un sistema de compilación

digital automatizado de mapas desde imágenes digitalizadas. Pero hasta 1988, no se presenta la primera estación estereofotogramétrica digital comercial, KERN DSP1 en el Congreso de ISPRS en Kyoto. Desde los años 90 hasta la actualidad el progreso en la fotogrametría digital es tan rápido y paralelo como los avances informáticos [Re.1-6].

1.4.1- La fotogrametría Digital.

La Fotogrametría Digital se caracteriza por utilizar información (imágenes) en formato digital.

El inicio de la Historia de la Fotogrametría Digital se puede situar en 1955 con la publicación por parte de Rosenberg de un artículo, acerca de la Teoría de la Información y la Fotogrametría Electrónica [Re.1-6].

Actualmente la Fotogrametría Digital se está implantando en todos los ámbitos de la cartografía, como en los sistemas de CAD y Sistemas de Información Geográfica, siendo sin duda el presente y futuro de la Fotogrametría. Las estaciones fotogramétricas digitales tienen múltiples ventajas con respecto a los restituidores analógicos o analíticos tradicionales, ya que son herramientas semiautomáticas o automáticas de extracción de datos para la producción cartográfica, permitiendo la realización de aéreo triangulaciones, modelos digitales de elevaciones (MDE), ortoimágenes y mosaicos [Re.1-6].

La tendencia en las líneas de investigación se centra en la extracción automática de entidades y elementos cartográficos (como carreteras y edificios) y la optimización del proceso de aérotiangulación mediante la incorporación de datos de sistemas de navegación como DGPS (su variante diferencial), GLONASS, GALILEO o INS [Re.1-6].

Por otro lado, las aplicaciones de fotogrametría digital que ofrece el mercado son muy variables, desde las más específicas hasta los programas de tratamiento de imágenes que incorporan algún módulo para realizar ortoimágenes con más o menos limitaciones. Bohnenstiehl (2001) estudia la

exactitud de las ortoimágenes generadas por fotogrametría digital y realiza una discusión sobre los procesos fotogramétricos y como se aplican en SIG y cartografía [Re.1-6].

La toma fotográfica tiene un gran abanico de posibilidades ya que los datos se pueden obtener desde distintas posiciones de la cámara, por lo que en cada caso se tendrá una determinada geometría y unos errores diferentes a considerar. En función de la posición del centro de proyección surge la siguiente clasificación [Re.1-6].

1.4.1.1- Fotogrametría terrestre.

En la fotogrametría terrestre la cámara está situada en la superficie terrestre y la distancia al objeto no supera los 300 metros, por tanto, no se tienen en cuenta los errores de esfericidad de la tierra ni de refracción en la atmósfera. Una clasificación según la distancia al objeto es: fotogrametría de objeto cercano, en la que la distancia al objeto varía entre 10 cm y 300 metros, macro fotogrametría donde dicha distancia es de 1 cm a 10 cm y micro fotogrametría en la cual es menor de 1 cm. Entre las aplicaciones de la fotogrametría terrestres destacan la fotogrametría arqueológica, médica, industrial y arquitectónica, esta última para la restauración y conservación de edificios históricos o artísticos. Obtención de ortoimágenes [Re.1-6].

1.4.1.2- Fotogrametría aérea.

En fotogrametría aérea la toma de los datos generalmente se realiza desde un avión cuya altura depende de la escala a la que se requieran los fotogramas, y viene condicionada por la escala y calidad del producto final que se quiera obtener. Las aplicaciones principales son la generación de productos cartográficos como modelos digitales de elevaciones, ortofotos y cartografía básica [Re.1-6].

1.4.1.3- Fotogrametría espacial.

En la fotogrametría espacial las imágenes se obtienen desde sensores remotos aerotransportados en satélites. Hasta ahora este tipo de datos han sido utilizados en teledetección para clasificaciones y análisis, y actualmente también se emplean en fotogrametría digital debido a la buena resolución espacial que ofrecen y a las posibilidades estereoscópicas.

Las aplicaciones que se están realizando son principalmente actualización de cartografía, generaciones automáticas de modelos digitales de elevaciones y ortoimágenes [Re.1-6].

1.2- Rectificación de imágenes digitales u ortofotografía.

EL proceso de ortorectificación se basa en la aplicación de un modelo de transformación geométrica que corrige la distorsión de la imagen debido a diferentes fuentes de error en el momento de su adquisición y posterior transformación a formato digital, como son la posición de la cámara, la óptica de la cámara, el relieve y los errores en el proceso de digitalización [Re.1-7].

Los principios en los que se basa el desarrollo de la ortofotografía, fueron enunciados por Lacmann en el año 1931 y más tarde por Ferber (1933), pero hasta la construcción del Orthophotoscope, en 1955 por Bean, se puede decir que no empezó el desarrollo y aplicaciones de esta técnica cartográfica [Re.1-7].

La rectificación digital presenta importantes ventajas respecto a los procedimientos ópticos mecánicos. La calidad de la imagen, al no estar en estos procedimientos supeditada a complejos dispositivos de enfoque que afecten a la nitidez fotográfica en el plano de reproducción, no constituyen ninguna restricción al sistema, tampoco imponen condicionantes importantes al sistema. Podemos diferenciar dos tipos de ortofotografías:

Ortofotografía óptica:

A partir de la diapositiva de la fotografía original se transmite la imagen ópticamente, en pequeñas unidades geométricas, al negativo final. El producto final es una imagen fotográfica [Re.1-7].

Ortofotografía digital:

Se parte de imágenes generadas en forma digital, o imágenes fotográficas que previamente se han escaneado, o imágenes captadas por cámaras digitales. Estas imágenes están divididas en elementos rectangulares denominados píxeles. La corrección de los errores debidos al relieve y a la falta de verticalidad del eje de torna, hasta obtener una nueva imagen digital se realiza

analíticamente. El resultado es una nueva imagen digital corregida, que puede ser reproducida fotográficamente. Nos centraremos en la ortofotografía digital por ser el método actualmente más extendido y el que se usa en estos casos [Re.1-7].

1.5.1- Métodos de rectificación de imágenes digitales.

1.5.1.1- Rectificación polinómica.

La transformación entre la imagen original y la rectificada se realiza mediante el empleo de polinomios.

$$\begin{aligned}x &= x'^T A y' \\ y &= x'^T B y'\end{aligned}$$

Donde:

x, y son las coordenadas de la imagen original.

x', y' son las coordenadas de la imagen rectificada.

$$x'^T = (1, x', x'^2, x'^3, \dots); y'^T = (1, y', y'^2, y'^3, \dots)$$

A, B son las matrices de los coeficientes de los polinomios:

$$A = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & \dots \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & \dots \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} b_{00} & b_{01} & b_{02} & \dots \\ b_{10} & b_{11} & b_{12} & \dots \\ b_{20} & b_{21} & b_{22} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

Este método corrige las distorsiones de la imagen en base a una red de puntos de control. El orden del polinomio utilizado depende del número de puntos de control disponible, siendo mayor

la precisión al aumentar el número de éstos. Este método es completamente independiente de la geometría del sensor, por lo que puede ser empleado tanto para fotografías aéreas como para imágenes satelitales. Debido a la transformación polinómica es posible el cambio de escala y la rotación de la imagen de la forma que mejor se ajuste a los puntos de referencia [Re.1-7].

1.5.1.2- Rectificación proyectiva.

La transformación proyectiva plantea la relación existente entre dos planos. Esta relación es definida por 8 parámetros que pueden calcularse a partir de cuatro puntos de control y sus correspondientes coordenadas de imagen. No es necesario el cálculo de los elementos de orientación interna y externa, pues están incluidos implícitamente en los coeficientes de la transformación. Este método es de uso frecuente para rectificación de fotografías aéreas de zonas llanas o de imágenes de fachadas de edificios [Re.1-7].

$$x = \frac{a_1 x' + b_1 y' + c_1}{a_3 x' + b_3 y' + 1}$$
$$y = \frac{a_2 x' + b_2 y' + c_2}{a_3 x' + b_3 y' + 1}$$

La utilización de este método en el tratamiento de imágenes satelitales es compleja ya que debido a la curvatura terrestre, el definir la superficie terrestre como un plano lleva a producir errores en la imagen rectificadas, incluso para terrenos llanos. No obstante, este método es válido para la rectificación de imágenes de sensores aerotransportados [Re.1-7].

Esta transformación sólo representa la proyección matemática de un punto x' , y' situado en un plano con cualquier nivel de inclinación respecto al plano ideal de visión con las correspondientes coordenadas X , Y , sin tener en cuenta la distancia entre los planos. No se tiene en cuenta las deformaciones producto de la perspectiva, dada por la distancia de un elemento al lente y su inclinación respecto al mismo, ni tampoco por la distorsión del lente.

1.5.1.3- Rectificación diferencial.

La imagen digital se compone de una matriz de elementos rectangulares de pequeño tamaño, denominados píxeles. De cada uno de estos píxeles conocemos su tamaño, su posición en la imagen y el valor en la escala de grises asociado. En imágenes digitales está claro que el elemento diferencial a rectificar es el píxel, puesto que es la unidad mínima de que se compone [Re.1-7].

Para la realización de un proceso de rectificación diferencial es necesario disponer de un modelo digital de elevaciones almacenado de la misma forma que la imagen, es decir, con estructura raster de una matriz de elevaciones. Este modelo debe estar referido a un sistema de proyección de coordenadas que será en el que se obtenga la imagen rectificada, y se calcula de la siguiente forma:

$$x = -c \frac{m_{11}(X - X_o) + m_{12}(Y - Y_o) + m_{13}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)}$$
$$y = -c \frac{m_{21}(X - X_o) + m_{22}(Y - Y_o) + m_{23}(Z - Z_o)}{m_{31}(X - X_o) + m_{32}(Y - Y_o) + m_{33}(Z - Z_o)}$$

Estas ecuaciones expresan las coordenadas (x, y) en la imagen en función de las coordenadas (X, Y, Z) y los parámetros de orientación exterior (X0, Y0, Z0, ω, φ, κ). Si realizamos la orientación interna y exterior de la fotografía y además conocemos la Z del punto, podemos realizar las anteriores transformaciones [Re.1-7].

Para realizar la transformación es necesario disponer de los siguientes parámetros:

Orientación interna de la cámara: coordenadas del punto principal de la cámara, distancia principal, marcas fiduciales y distorsión de la lente.

- Orientación interna de la cámara: coordenadas del punto principal de la cámara, distancia principal, marcas fiduciales y distorsión de la lente.
- Orientación externa: posición de la cámara en el espacio; coordenadas de la posición del centro de proyección (X_0, Y_0, Z_0) y los tres giros de la cámara (ω, ϕ, κ) [Re.1-7].

Por lo que son muy complejas las transformaciones con este modelo.

1.6- Distorsión.

La distorsión es una alteración de la vista de una imagen capturada, por un lente, y se manifiesta por el cambio de la forma de dicha imagen. El efecto de la distorsiones se produce porque el objetivo de la cámara está compuesto por una serie de lentes que no están libres de aberraciones, aunque se intenta minimizarlas o compensarlas unas con otras.

El comportamiento no ideal de las lentes se comenzó a analizar a partir de los años 60. En [Brown, 1966] se ha estudiado, de forma teórica, el problema de la distorsión no centrada de las lentes. Estos problemas en la distorsión de la imagen captada han sido analizados en [Lázaro et al., 2000b] y [Lázaro et al., 2000c] con un sistema de ecuaciones que resuelve cualquier tipo de aberración que pueda incluir cierta lente, considerando que dichas deformaciones en la imagen se producen como consecuencia de la variación de forma no-lineal del módulo y la fase de los píxeles de la imagen a partir del punto principal, y siendo todo ello posteriormente aplicado al guiado de robots industriales, equipados con hasta cuatro cámaras [Lázaro et al., 2000d].

El problema de la distorsión se ha analizado también en sistemas de lentes cuasi-lineales (distancia focal superior a la decena de milímetros), considerando la influencia que tiene el efecto de la dispersión geométrica. Dicha dispersión geométrica viene producida por la distribución aleatoria de la energía, una atenuación debida a la expansión del frente de onda [Hecht et al., 1974]. Esta consideración tiene la ventaja de que en principio se puede calibrar el sistema de focal elevado, suponiéndolo lineal para posteriormente corregir las desviaciones de dicho comportamiento no-lineal.

La novedad introducida por [Weng, 1992] es un nuevo término de distorsión prismático que se complementa con los términos de corrección radial y tangencial. En Stein, 1997 se realiza una búsqueda de los parámetros de calibración mediante la minimización del error en múltiples imágenes donde existen correspondencias de un conjunto de puntos de la misma escena. Se hace notar que utilizando únicamente el modelo pin-hole no proporciona resultados correctos, debido a fenómenos de distorsión de las lentes diferentes en función del ángulo de incidencia de la proyección del punto sobre el plano sensor. La optimización de los términos de la distorsión es independiente del modelo paramétrico elegido, minimizando los errores de reproyección de las correspondencias de dos imágenes en una tercera imagen (mediante tensor trilineal). Utiliza la técnica de ajuste de rayos y reproyección para minimizar los errores de la reconstrucción final sin perder en ningún momento el sentido físico de la optimización de los diferentes parámetros de distorsión.

1.6.1- Tipos de distorsión por la geometría interna de la cámara .

1. Distorsión Radial.

La Distorsión Radial se considera como el desplazamiento medido a lo largo del plano imagen, entre la posición de un punto en la imagen y su posición ideal. Y depende de la distancia radial del punto respecto del punto principal, y se define por un polinomio de grado impar.

2. Distorsión Tangencial.

A pesar de que cuando se fabrica una cámara se procura que los centros de las lentes sean colineales con el eje óptico, siempre existe, aunque de pequeña magnitud, un descentramiento que va a producir distorsión, en este caso Tangencial.

Están son las distorsiones principales que existen introducidas por la aberración de los lentes, la distorsión Tangencial es muy pequeña en relación con la Radial, por eso la más importante es la radial, y es la que se toma en cuenta además de otras para la calibración de la cámara del Simulador.

1.6.2- Tipos de distorsión por la geometría externa de la cámara.

1. Distorsión Trapezoidal

Cuando la cámara forma un ángulo con un objeto rectangular, un lado del objeto puede aparecer más largo que su opuesto en la imagen grabada. Esto se denomina "distorsión trapezoidal" y se produce por la diferencia de distancia entre el objetivo de la cámara y cada uno de los lados del objeto. La parte del objeto que está más cerca de la cámara parece más larga y, la que está más lejos, más corta.

2. Distorsión Proyectiva:

Es un efecto natural, no tiene nada que ver con problemas del objetivo o la cámara. Se produce por la convergencia natural de líneas cuando miramos algo que no está paralelo al plano de visión.

Existen otros tipos de distorsiones que afectan la imagen capturada, uno de los más significativos es el introducido por los errores de digitalización durante el proceso de captura, a esta distorsión se le denomina ruido de digitalización. La cual en caso del Simulador de Tiro, puede ser significativa.

1.7- Calibración de cámaras.

La calibración de una cámara es el proceso que permite, dentro del campo de la visión artificial, la obtención de los parámetros que definen las condiciones de formación de la imagen, incluyendo la geometría interna y la óptica de la cámara, así como su posición y orientación respecto a un objeto de referencia o patrón de calibración [Re.1-8].

A lo largo de los años se ha generado una multitud de soluciones para resolver el problema de la calibración. Las primeras vienen dadas por los métodos clásicos de calibración, los cuales se basan en el uso de patrones de puntos conocidos [Tsai, 1987] [Faugeras, 1993] [Batista et al., 1998] [Zhang, 2000]. El problema de este tipo de métodos es que necesitan un patrón como referencia, lo que implica un proceso manual de selección de puntos y la dependencia de la cámara a un objeto externo a ella[Re.1-8].

En los últimos años ha aparecido una nueva tipología de métodos que no necesitan un patrón como referencia, denominados métodos de autocalibración [Maybank and Faugeras, 1992] [Luong et al., 1992] [Hartley, 1994b]. Estos métodos necesitan obtener una secuencia de imágenes y realizan la calibración en base a la correspondencia de los puntos en las distintas vistas. El problema que presenta este tipo de métodos es que suelen utilizar modelos más simples de cámara, dejando sin parametrizar, en la mayoría de los casos, factores como la distorsión. Estos métodos están definidos por dos tipos de parámetros: intrínsecos y extrínsecos [Re.1-8].

Existen varios métodos definidos para la calibración de cámaras como son:

1.7.1 Modelo Pin-hole.

La gran mayoría de los procedimientos de calibración se basan en el modelo de cámara de agujero o pin-hole, que es el modelo más simple que se puede obtener de una cámara. Es el modelo más simple y, por tanto, el que necesita un menor número de parámetros para ser representado. Se basa en que la proyección de un punto de la escena se obtiene de la intersección de una línea que pasa por este punto y el centro de proyección (foco) con el plano imagen [Re.1-8].

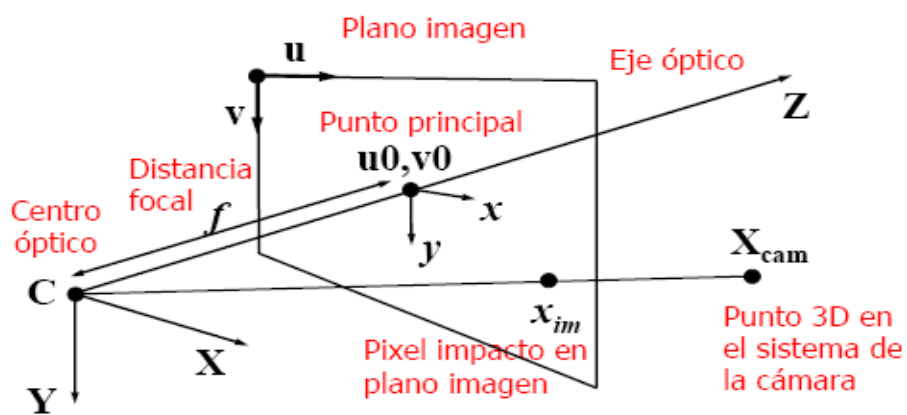


Fig.4: Modelo Pin-hole

1.7.2- Método de Tsai [Tsai, 1987].

Es el método más referenciado en la literatura y probablemente el primero en incluir la distorsión en el modelo. Se basa en el modelo pin-hole y para corregir la distorsión utiliza un único coeficiente, que sólo corrige la distorsión radial. El sistema que plantea tiene 9 incógnitas que se obtienen de forma explícita: 2 extrínsecas (rotación y traslación del patrón) y 3 intrínsecas (distancia focal, coeficiente de distorsión, factor de escala) [Re.1-8].

1.7.3- Método de Faugeras [Faugeras, 1993]

Es otro de los métodos que con más frecuencia es referenciado en la literatura sobre este tema. Se basa en la resolución de un sistema de ecuaciones en forma matricial. Los parámetros se obtienen de forma implícita, ya que el resultado de la calibración es una matriz de transformación de 3x4 en la que se incluyen todos los parámetros, y en algunos casos no se puede extraer un parámetro en concreto sino una combinación de los mismos. Sólo necesita una imagen del patrón y no modela la distorsión [Re.1-8].

1.7.4- Método de Batista.

Es un método de calibración basado en la detección de puntos en un plano y sólo necesita la adquisición de una imagen. Los parámetros intrínsecos y extrínsecos se obtienen de forma explícita. El método es iterativo y se resuelve en varias fases usando computación lineal. Es necesaria una aproximación inicial para la mayoría de los pasos. Por ejemplo, al inicio se supone que la distorsión es nula, la ortogonalidad perfecta, el factor de proporción igual a uno, el centro óptico coincide con el centro de la imagen y los factores de conversión son obtenidos de los datos ofrecidos por el fabricante. La distorsión se modela con un coeficiente (k_1) y la asimetría con dos (Ω_1 y Ω_2) [Re.1-8].

Estos entre otros son los principales métodos utilizados en el mundo para la calibración de cámaras. Los parámetros extrínsecos e intrínsecos definidos durante la calibración se comportan de forma semejante generalmente en la mayoría de los métodos de calibración, no teniendo que ser iguales en cada una de ellos [Re.1-8].

1.8- Estadística.

La Estadística se ocupa de los métodos y procedimientos para recoger, clasificar, resumir, hallar regularidades y analizar los *datos*, siempre y cuando la *variabilidad* e *incertidumbre* sea una causa intrínseca de los mismos; así como de realizar *inferencias* a partir de ellos, con la finalidad de ayudar a la toma de *decisiones* y en su caso formular *predicciones*. Podríamos por tanto clasificar la Estadística en descriptiva, cuando los resultados del análisis no pretenden ir más allá del conjunto de datos, e inferencial cuando el objetivo del estudio es derivar las conclusiones obtenidas a un conjunto de datos más amplio.

El error que se introduce durante la digitalización en la captura de la cámara no esta solamente generado por la distorsión, existen otras fuentes que generan el error como el ruido y que se recogen en una misma medida durante el experimento, por tanto los datos introducidos para el experimento no están solamente influenciados por la distorsión por lo que no se puede afirmar que al sacar la conclusiones de las medidas realizadas estas pertenecen únicamente al fenómeno de la distorsión, sino que es una composición de influencias. Por eso en este caso cuando hablamos del error se habla de forma general.

1.9. Metodologías y herramientas de desarrollo:

1.9.1 Metodología:

RUP (Proceso Unificado de Desarrollo) se usó en esta tesis para realizar el análisis y diseño de la aplicación, porque es una metodología efectiva y probada durante años en el desarrollo del software.

A continuación se muestran las características que más influyeron en la selección de esta metodología:

Guiado por casos de uso: Los casos de uso reflejan lo que los usuarios futuros necesitan y desean, constituyen la guía fundamental establecida para las actividades a realizar durante todo el proceso de desarrollo del sistema.

- Centrado en arquitectura: La arquitectura muestra la visión común del sistema completo.

- Iterativo e Incremental: RUP divide el proyecto en fases de desarrollo, propone además que cada una de ellas se desarrolle en iteraciones, las cuales aportan un incremento en el proceso de desarrollo y terminan con el cumplimiento del punto de control trazado en la fase.
- Utilización de un único lenguaje de modelado: UML.

1.9.2- Herramientas:

(Rational Rose Enterprise Edition) se usó como herramienta de modelado pues brinda una interfaz sencilla y cómoda para trabajar. Incluye todo lo que se necesita para modelar el análisis y diseño de una aplicación.

Microsoft Visual Studio 2005, como herramienta de desarrollo Contiene muchas librerías con códigos pre-escritos que ayudan en la escritura del código de la aplicación. Es la herramienta utilizada en las versiones anteriores del Simulador de Tiro.

1.9.3 Lenguajes:

En el desarrollo de la aplicación se utiliza C++ como lenguaje de programación, para la implementación de cada una de las funcionalidades de la aplicación. Además es el lenguaje utilizado en las versiones anteriores del Simulador de Tiro.

Para crear la documentación se utiliza UML como lenguaje de modelado, por las potencialidades descriptivas que posee.

Otros factores importantes en la selección de este lenguaje, fue el dominio del mismo por el desarrollador y la recomendación directa por parte del cliente; la empresa SIMPRO.

1.9.3.1- Lenguaje de Modelado.

Para modelar el análisis y el diseño del software se escogió el lenguaje UML (Unified Modeling Language, Lenguaje Unificado de Modelación). Esta decisión se debe a que se ha convertido en un estándar que tiene las siguientes características:

- Permite modelar sistemas utilizando técnicas orientadas a objetos (OO).
- Permite especificar todas las decisiones de análisis y diseño, construyéndose así modelos precisos, no ambiguos y completos.
- Puede conectarse con lenguajes de programación (Ingeniería directa e inversa).
- Permite documentar todos los artefactos de un proceso de desarrollo (requisitos, arquitectura, pruebas, versiones, etc.)
- UML es independiente del proceso, aunque para utilizarlo óptimamente se debería usar en un proceso que fuese dirigido por los casos de uso, centrado en la arquitectura, iterativo e incremental.

Capítulo 2

Descripción del Problema

El presente capítulo muestra una descripción de los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la calibración de cámaras, viéndolo desde el punto de vista de las características del Simulador de Tiro, enfatizando cada uno de los aspectos que definen estos parámetros, para una mejor comprensión de los mismos. Además se describe el funcionamiento del Simulador de Tiro, en cuanto a su modelación matemática se refiere. También se enuncia brevemente la solución que se propone para dar respuesta a la idea a defender.

2.1- Parámetros de calibración.

2.1.1- Los parámetros definidos como intrínsecos en el proceso de calibración generalmente son:

2.1.1.1- Distancia focal.

La distancia focal de una lente es la distancia entre el eje óptico de la lente y el foco o punto focal.

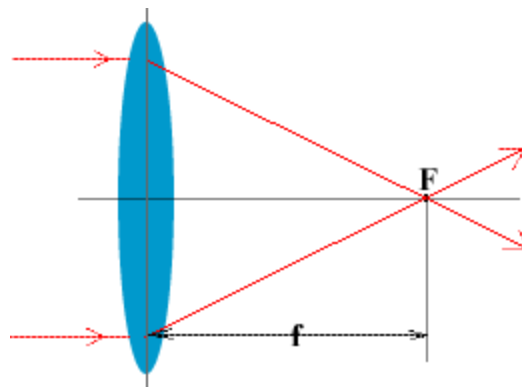


Fig.5: El foco F y la distancia focal f de una lente positiva.

La distancia focal es un parámetro que se conoce en la gran mayoría de las cámaras que se venden hoy, generalmente es muy pequeña por lo que su afcción durante la digitalización no debe exceder el píxel, siendo poco significativa para este modelo, despreciándose para el cambio de coordenadas, pero sigue siendo un parámetro de calibración que incluyen todas las cámaras entre sus características. Por lo que en este trabajo no se describe como obtener la distancia focal en caso que no se conozca. El Simulador no incluye este parámetro en el cambio de coordenadas que se realiza en el mismo.

2.1.1.2- Factores de Escala.

La posición del punto se multiplica por un escalar. Hay que calcular el factor de escala en cada uno de los ejes (s_x y s_y). En general existen dos tipos de escalado, uno es Escalado respecto al Origen, y el otro es: Escalado respecto a un punto arbitrario. En este caso nos referiremos al Escalado respecto al Origen.

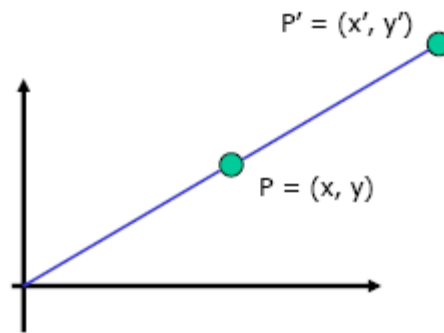


Fig.6: Escalado.

$$\begin{cases} x' = s_x \cdot x \\ y' = s_y \cdot y \end{cases}$$

En forma matricial:

$$P = (x, y) \quad P' = (x', y') \quad S = \begin{pmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{pmatrix} \quad \boxed{P' = P \cdot S}$$

El Escalado en el caso que nos ocupa es la equivalencia de pixelazo en cuanto a proporción entre el sistema coordenado de pantalla y de la cámara, o es lo mismo que decir un factor de escala entre estos dos sistemas de coordenadas, y se obtiene en el caso de un encuadre deseado de la siguiente forma: x_m , es el valor máximo en el eje x de las coordenadas de pantalla, X_m , es el valor máximo en el eje x de las coordenadas de cámara, y y_m el valor máximo en el eje y de las coordenadas de pantalla, Y_m el valor máximo en el eje y de las coordenadas de cámara.

$$\frac{x_m}{X_m} = a \text{ ---> Factor de cambio de escala en el eje x}$$

$$\frac{y_m}{Y_m} = b \text{ ---> Factor de cambio de escala en el eje y}$$

Este es un parámetro fundamental para la realización del cambio de coordenadas y se implementa en los modelos matemáticos que usa hoy el Simulador.

Estos factores de cambio de escala son ciertos si el encuadre es perfecto, lo que significa que el área de la imagen de la cámara coincide perfectamente con lo proyectado. Si no coinciden entonces los coeficientes de cambio de escala se alteran pues los valores x_m y_m se referirían solo al área de coincidencia.

2.1.1.3- Punto Principal.

Es el Punto de intersección entre el eje óptico de la cámara y el plano de la imagen. Esta intersección puede ser en cualquier parte del plano de la imagen, pero generalmente, y lo que se aplica en el Simulador es que esta intersección se situé en el centro del plano imagen.



Fig.7: Representación de la intersección entre el eje óptico de la cámara y el plano imagen.

La obtención del punto principal es sencilla de obtener si el encuadre es deseado, se define de la siguiente forma: Se divide el valor máximo de X y el de Y entre 2 en el sistema de coordenadas de la cámara, al igual que en el sistema de coordenadas de pantalla, y se sitúa el centro de la imagen capturada y de la imagen en pantalla. El centro de la imagen en pantalla solo es necesario para el cálculo de los coeficientes de cambio de coordenadas, para realizar el cambio

de coordenadas de un punto solo se necesita conocer el centro de la imagen capturada por la cámara.

Este parámetro es fundamental en el proceso de simulación del ejercicio de tiro, por lo que se implementa en el Simulador.

2.1.1.3- Coeficientes de Distorsión.

La distorsión geométrica afecta a los puntos en el plano de la imagen; como resultado de una serie de imperfecciones en la fabricación y el montaje de las lentes que forman el sistema óptico. Y de proyectiva de la cámara en relación con la distancia al centro de la escena proyectada. Este parámetro no se introduce en la formulación matemática que utiliza el Simulador en estos momentos para realizar el cambio de coordenadas.

Fundamentalmente son de dos tipos la distorsión que afecta hoy al Simulador de Tiro:

- Distorsión Radial.

La distorsión radial tiene dos maneras de evidenciarse en las imágenes, estas dos formas son: Cojín y Barril.

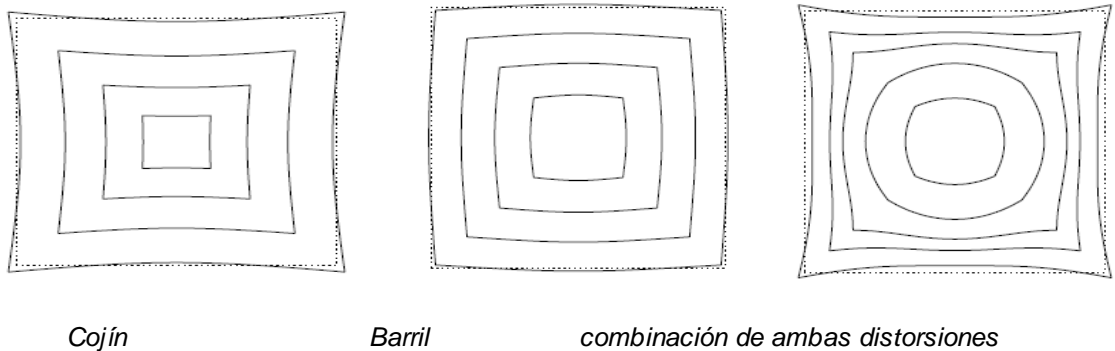


Fig.8: Representación del fenómeno de distorsión Radial en sus dos variantes.

- Distorsión Proyectiva.

2.1.2- Los parámetros definidos como extrínsecos en el proceso de calibración generalmente son:

2.1.2.1- Vector de traslación.

Reposiciona un objeto desplazándolo a las nuevas coordenadas, Es una transformación rígida el objeto no se deforma.

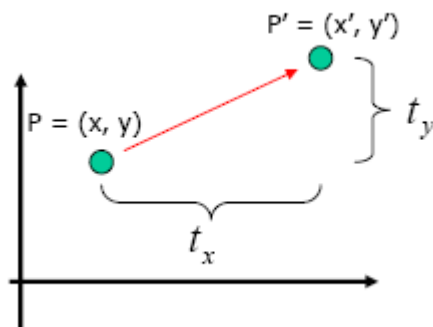


Fig.9: Esquema que representa la traslación.

Se calcula por:

$$\begin{cases} x' = x + t_x \\ y' = y + t_y \end{cases}$$

En forma matricial:

$$P = (x, y) \quad P' = (x', y') \quad T = (t_x, t_y) \quad P' = P + T$$

En nuestro caso particular no se usa el vector traslación pues se asume de antemano que los orígenes de coordenadas de ambos marcos son coincidentes, o si no son es muy pequeña por lo que se desprecia, así que en este caso la rotación entre los Sistemas de coordenadas cámara y pantalla en cero.

2.1.2.1- Matriz de rotación.

La matriz de rotación se puede ver de dos maneras, una es, rotar un punto con respecto al origen, o rotación respecto a un punto cualquiera en el sistema coordenado.

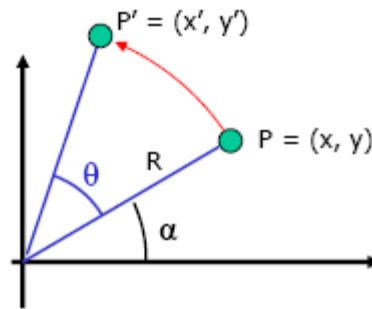


Fig.10: Representación de la rotación con respecto al origen.

Solución expresándolo en polares:

$$\begin{cases} x = R \cos \alpha \\ y = R \sin \alpha \end{cases} \quad \begin{cases} x' = R \cos(\alpha + \theta) = \dots = x \cos \theta - y \sin \theta \\ y' = R \sin(\alpha + \theta) = \dots = x \sin \theta + y \cos \theta \end{cases}$$

En forma matricial:

$$P = (x, y) \quad P' = (x', y') \quad R = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad P' = P \cdot R$$

En el caso de la rotación con respecto al origen, es la que se aplica en este trabajo, pues como se expresó anteriormente los orígenes de coordenadas de ambos marcos son coincidentes o en caso que no lo sean se puede despreciar por ser muy pequeño este valor.

2.2- Transformación de coordenadas en el Simulador de Tiro.

Esta transformación de coordenadas es un cambio de dos sistemas coordenados cartesianos diferentes. La diferencia entre este tipo de marco, y un sistema de coordenadas cartesianas típico es que la coordenada y crece hacia abajo, y los valores de x e y son números enteros y positivos a partir del origen 0,0. Estos sistemas coordenados son: Coordenadas de pantalla y

Coordenadas de cámara. En la figura siguiente se representa estos sistemas de coordenadas, para un mejor entendimiento de lo expresado anteriormente.

a)

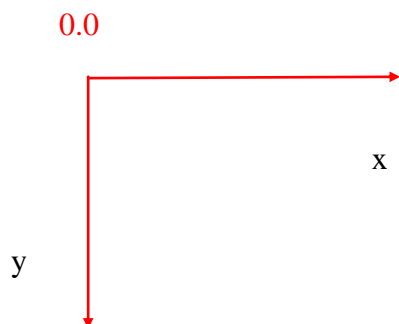


Fig.11: Coordenadas de pantalla

b)

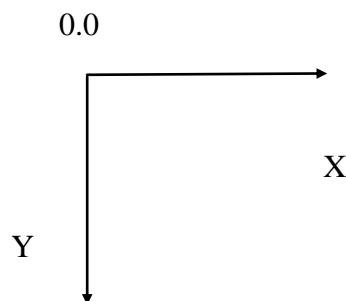


Fig.12: Coordenadas de la cámara.

2.3- Correspondencia entre los marcos de coordenadas.

En un caso particular idealizado, la cámara se dirige perfectamente hacia la pantalla existiendo un encuadre perfecto, a modo de total coincidencia entre ambos marcos de coordenadas. Para ello se requeriría la coincidencia de ambos orígenes de coordenadas en el mismo punto, total coincidencia de los ejes x , y con X , Y lo que significa que tampoco hay rotación ni cambio de escala, ni distorsión. En tal caso, evidentemente no se requeriría hacer ninguna transformación de coordenadas, o lo que es lo mismo, la ley de la transformación sería simplemente $x=X$, $y=Y$. No cabe duda de que este caso sería bastante difícil de lograr en la práctica. Por otra parte, si se hicieran coincidir los orígenes de coordenadas, pero los valores máximos de x no coincide con el valor máximo de X , y sin existencia de rotación y distorsión, estaremos en presencia de lo que se conoce por cambio de escala. Por ejemplo si $x_{\max} = 800$, $y_{\max} = 600$ y $X_{\max} = 352$, $Y_{\max} = 288$, cada píxel de cámara equivale a 4,73 píxel de pantalla. Para un mejor entendimiento de este proceso lo representaremos en la siguiente figura.

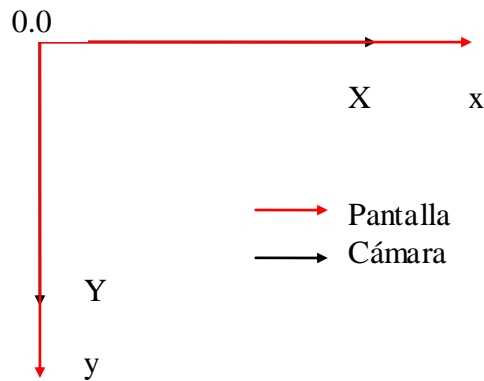


Fig.13: Representación de un encuadre sin rotación.

Por tanto un punto en coordenadas de cámara, se podrá expresar de la siguiente forma en coordenadas de pantalla: $x_m = X_m$ **a por** $y = Y_m$ por b .

En otro caso especial imaginemos que existe una coincidencia entre el valor máximo de (X, x) y (Y, y) , sin distorsión, y que los orígenes de coordenadas de ambos coinciden, pero existiendo una rotación con respecto al origen. En la siguiente figura se muestra este caso.

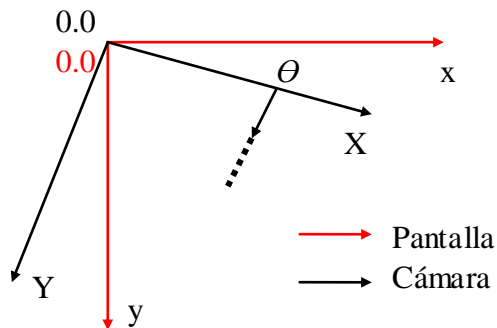


Fig.14: Representación de un encuadre sin escalado.

La figura anterior representa la rotación sobre el origen, esto genera unos coeficientes de cambio de coordenadas: M_{11} , M_{12} , M_{21} , M_{22} , estos parámetros conforman una matriz, que es la matriz de rotación de cambio de coordenadas:

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix}$$

De donde se desprende:

$$M_{11} = \cos \theta$$

$$M_{12} = \sin \theta$$

$$M_{21} = -\sin \theta$$

$$M_{22} = \cos \theta$$

Formando la matriz: M

$$M = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

Siendo $Z = (x, y)$ las coordenadas de pantalla y $R = (X, Y)$ las coordenadas de cámara, el cambio de coordenadas entre estos dos sistemas esta dado por:

$$Z = M \times R$$

En la realidad lo que generalmente sucede es que existe, rotación, escalado y distorsión. En la Fig. Se observa un proceso de alineación con error. Para facilitar la comprensión de la figura, los errores de encuadre se han exagerado un tanto, con respecto a los que cabría esperar después de una cuidadosa alineación manual.

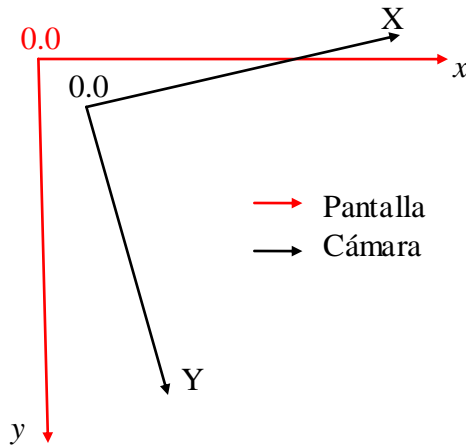


Fig.15: Representación de un encuadre con rotación y escalado.

En este caso la expresión general de cambio de coordenadas, sin incluir la distorsión es:

$$\begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Donde M_{11} , M_{12} , M_{21} , M_{22} son los parámetros de conversión de coordenadas. La ecuación anterior funciona perfectamente si las coordenadas en ambos marcos son números reales. Este método es el que usa el Simulador de Tiro actualmente para realizar el cambio de coordenadas. Con el inconveniente que no se incluye el efecto de la distorsión en la formulación matemática del cambio de coordenadas, el valor del error con el que se trabaja en el Simulador es desconocido.

Se define un punto “arbitrario” x_0, y_0 en el plano de coordenadas de pantalla cuya imagen en el plano de las coordenadas de cámara es X_0, Y_0 , ya que si tal condición no se cumple la fórmula no es cierta, y habría que hacer la traslación.

2.4- Calculo de los parámetros M.

Para la obtención de los parámetros M se hacen tomas experimentales antes de usar el Simulador. Se proyectan tres puntos sobre una imagen a partir de los cuales se obtienen los parámetros de cambio de coordenadas. A continuación se representa una distribución geoméricamente favorable de los puntos.

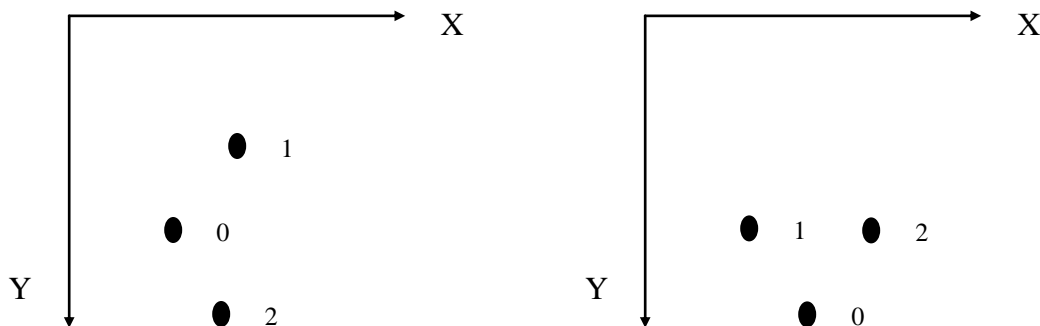


Fig.16: Representación de la distribución de favorable de los puntos.

Este otro caso representa una distribución geoméricamente desfavorable:

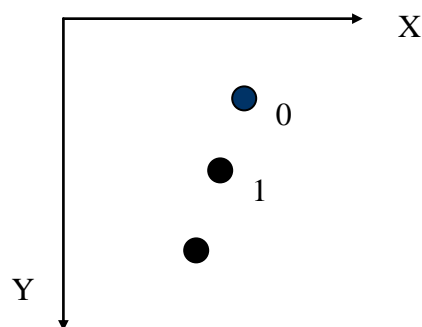


Fig.17: Representación de la distribución desfavorable de los puntos.

A la hora de distribuir los puntos, hay que escoger el área del triángulo que se forma entre los puntos con la mayor área posible, pero sin llegar a exagerar como por ejemplo

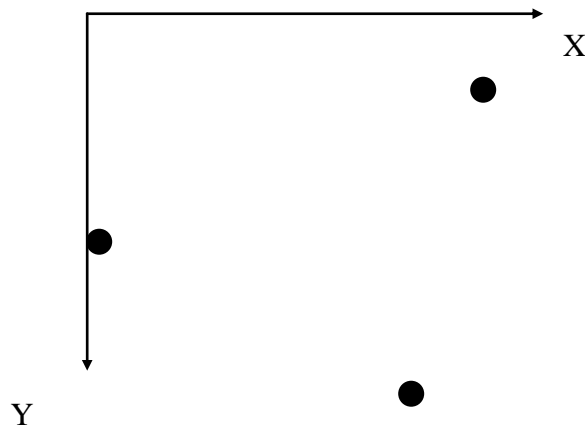


Fig. 18: Representación de la distribución desfavorable de los puntos.

Triángulo excesivamente grande, en el cual se pone de manifiesto la imprecisión debida a la distorsión.

El cálculo de los parámetros se define mediante las expresiones siguientes:

Punto 0:

Coordenadas Pantalla x_0, y_0

Imagen de captura X_0, Y_0

Punto1:

Coordenadas Pantalla x_1, y_1

Imagen de captura X_1, Y_1

Punto2:

Coordenadas Pantalla x_2, y_2

Imagen de captura X_2, Y_2

Tenemos que:

$$\begin{bmatrix} x_1 - x_0 \\ x_2 - x_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (X_1 - X_0) & (Y_1 - Y_0) \\ (X_2 - X_0) & (Y_2 - Y_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{11} \\ M_{12} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Invirtiendo la ecuación anterior se obtiene:

$$\begin{bmatrix} M_{11} \\ M_{12} \end{bmatrix} = \frac{1}{(X_1 - X_0)(Y_2 - Y_0) - (X_2 - X_0)(Y_1 - Y_0)} \begin{bmatrix} (Y_2 - Y_0) & -(Y_1 - Y_0) \\ -(X_2 - X_0) & (X_1 - X_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 - x_0 \\ x_2 - x_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

De donde, Δ es la determinante de este sistema de ecuaciones, por lo que:

$$M_{11} = \frac{1}{\Delta} [(Y_2 - Y_0)(x_1 - x_0) - (Y_1 - Y_0)(x_2 - x_0)] \quad (4)$$

$$M_{12} = \frac{1}{\Delta} [(X_2 - X_0)(x_1 - x_0) + (X_1 - X_0)(x_2 - x_0)] \quad (5)$$

$$\Delta = (X_1 - X_0)(Y_2 - Y_0) - (X_2 - X_0)(Y_1 - Y_0) \quad (6)$$

Las ecuaciones anteriores permiten calcular los parámetros M_{11} y M_{12} de la transformación.

Similarmente obtiene:

$$\begin{bmatrix} y_1 - y_0 \\ y_2 - y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (X_1 - X_0) & (Y_1 - Y_0) \\ (X_2 - X_0) & (Y_2 - Y_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{21} \\ M_{22} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Despejando, se obtiene:

$$\begin{bmatrix} M_{21} \\ M_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{(X_1 - X_0)(Y_2 - Y_0) - (X_2 - X_0)(Y_1 - Y_0)} \begin{bmatrix} (Y_2 - Y_0) & -(Y_1 - Y_0) \\ -(X_2 - X_0) & (X_1 - X_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 - y_0 \\ y_2 - y_0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

De donde:

$$M_{21} = \frac{1}{\Delta} [(Y_2 - Y_0)(y_1 - y_0) - (Y_1 - Y_0)(y_2 - y_0)] \quad (9)$$

$$M_{22} = \frac{1}{\Delta} [(X_2 - X_0)(y_1 - y_0) + (X_1 - X_0)(y_2 - y_0)] \quad (10)$$

Y el valor de la determinante Δ es el mismo de la expresión calculado anteriormente.

2.5- Enunciado de la solución propuesta.

La solución que se propone es una propuesta para el tratamiento de la distorsión introducida por los errores geométricos de la cámara con lo que se intenta en diferentes pasos ir dando solución a los problemas que se mencionaron anteriormente.

Pasos:

1. Minimizar llevando casi a cero la rotación y la traslación mediante un sistema de ajuste semiautomático.
2. Calcular los coeficientes de cambio de coordenadas mediante el ajuste de curvas.
3. Archivar los coeficientes de manera que puedan ser reutilizados.
4. Realizar el cambio de coordenadas mediante la sustitución en la ecuación que representa la curva que se va a aproximar (en este caso es un polinomio de tercer grado).
5. Realizar un procedimiento que permita verificar si los coeficientes de cambio son válidos, calibración para no volver a calibrar, de lo contrario hay que calibrar la cámara nuevamente.

- Realizar un cambio de coordenadas manual que permita experimentar los resultados obtenidos, y un cambio de coordenadas automático que se activará cuando el sistema este completamente listo para realizar el ejercicio.

2.6 Modelo de Dominio:

El siguiente modelo de dominio se obtiene de la relación existente entre los conceptos fundamentales.

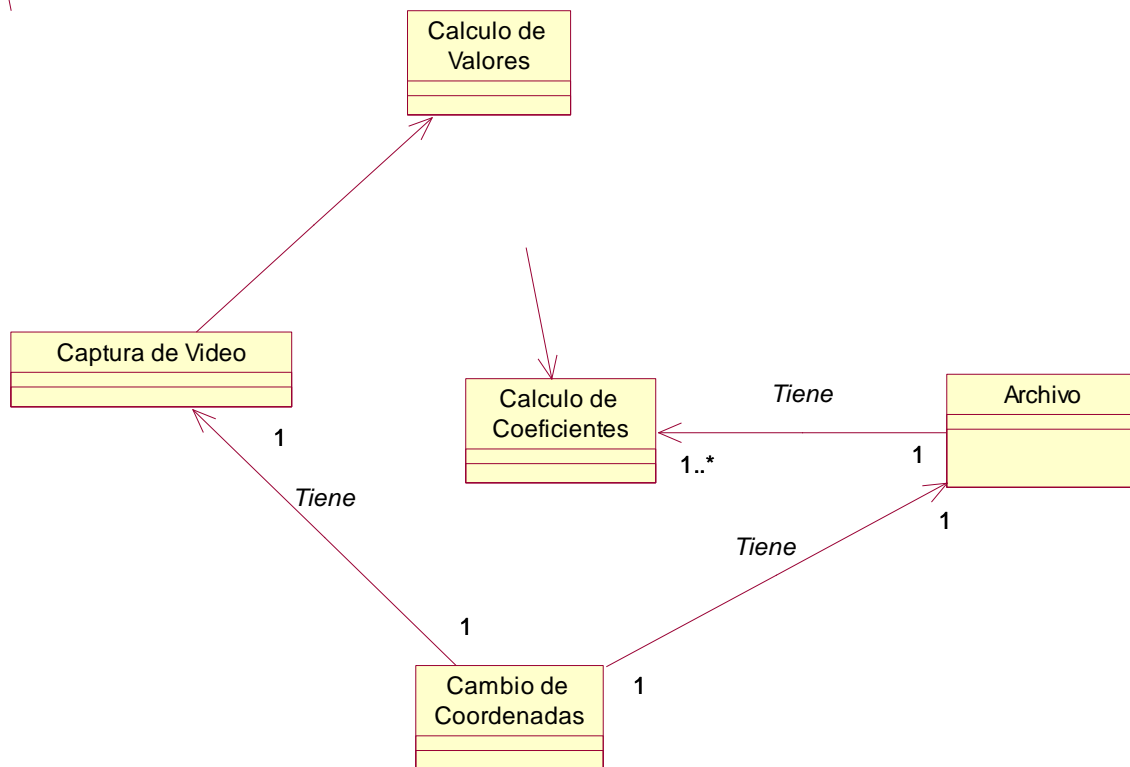


Fig.19: Diagrama de clase del Dominio

2.6.1- Glosario de Términos.

Cálculo de Valores: Estructura que permite el cálculo de los valores de los coeficientes del sistema de ecuaciones lineales.

Sumatoria de Valores: Estructura que realiza la sumatoria de los valores obtenidos en el cálculo de valores.

Captura de Video: Estructura que almacena el buffer de la captura de la cámara.

Cálculo de Parámetros: Estructura que permite el cálculo de los coeficientes B para el cambio de coordenadas, mediante un ajuste de curva.

Archivo: Estructura que permite guardar los coeficientes de cambio de coordenadas para ser reutilizados.

Cambio de coordenadas: Estructura que permite el cambio de coordenadas mediante los parámetros de cambio B, que esta puede ser, manual o automática.

1.6.2- Captura de requisitos.

2.6.2.1 Requerimientos Funcionales:

1. Verificar Calibración
 - 1.1 Mostrar una interfaz que permite verificar la calibración.
 - 1.2 Permita realizar la comprobación mediante el cambio de coordenadas

Disminuir el esfuerzo durante la realización del ejercicio.

2. Encuadre Semiautomático.

2.1- Minimizar los errores en el encuadre pantalla – cámara.

2.2- Automatizar el sistema.

2.3- Permitir con esta propuesta realizar el ajuste de curva.

3. Parámetros de Cambio.

3.1- Minimizar los errores de distorsión introducidos en el proceso de digitalización.

3.2- Obtener estos resultados mediante un ajuste de curva.

3.3- Modelar el ajuste de curva de forma que satisfagan los requerimientos del Simulador de Tiro.

3.4- Introducir estos elementos de modelación en el código de fuente del Simulador de Tiro.

4. Cambio de Coordenadas

4.1 Proporcionar un mejor cambio de coordenadas que minimice los errores de digitalización.

5. Cambio Automático

5.1 Realizar el ejercicio sin intervención de ningún asistente.

6. Cambio Manual

6.1 Realizar el cambio de coordenadas bajo la intervención de un asistente.

6.2 Permitir al asistente técnico poder comprobar con varias coordenadas introducidas de manera arbitraria como esta funcionando el sistema.

6.3 Permite además crear una medida sobre ciertos disparos en lugar escogido a propósito para algún objetivo específico.

2.6.2.2 Requerimientos no Funcionales:

Interfaz:

La interfaz será agradable y de navegación fácil, pues no necesariamente el que use la aplicación será alguien con grandes conocimientos de la computación, además deberá guiar a

quien la use a cada una de sus características de manera sencilla y eficaz, sin congestionar la pantalla de interfaces.

Usabilidad:

La interfaz del usuario será tan familiar como sea posible. Los botones y cuadro de diálogos serán explícitos y sencillos. Apoyar la comprensibilidad usando principios de iteración instructiva.

Rendimiento:

La aplicación deberá ser lo más eficiente posible en cuanto al consumo de tiempo en cada ejecución de alguna tarea. El tiempo de ejecución de los algoritmos utilizados será el menor posible. Las peticiones por parte del cliente no deberán tardar más de 15 segundos.

Software:

El software se define referente al sistema operativo, el sistema operativo sobre el cual se puede ejecutar esta aplicación será Windows (no se podrá ejecutar sobre algún otro). Esto se debe a que la herramienta de desarrollo es Visual estudio 2005 (Vc++).

Hardware:

En este aspecto se puede decir que cualquier equipo con Sistema Operativo Windows puede servir para ejecutar la aplicación. En general la aplicación no necesita de grandes cualidades del Hardware de un equipo.

Seguridad:

La aplicación no contiene información importante, por lo que la seguridad está referida a la que use el procesador donde se ejecute la aplicación, así como las normas de seguridad que se emplean en el lugar donde se implemente la aplicación.

2.6.3 Modelo de Casos de Uso:

Se definen los posibles actores del sistema a desarrollar y se conciben, a través de la agrupación de los requisitos funcionales que fueron definidos anteriormente, los posibles

resultados de valor que le pueda brindar a sus actores, o lo que es lo mismo, los casos de uso del sistema.

Además, se seleccionan los casos de uso correspondientes al primer ciclo de desarrollo para hacerles sus especificaciones textuales en formato expandido.

Actor de sistema

Actor	Justificación
Asistente técnico	Es el que atiende directamente la aplicación.

2.6.3.1 Casos de Uso del Sistema:

Verificar Calibración

Realizar Encuadre Semiautomático

Calcular Coeficientes

Realizar Cambio de Coordenadas

Realizar Cambio Manual

Realizar Cambio Automático

2.6.3.1.1 Diagrama de Casos de Uso del Sistema

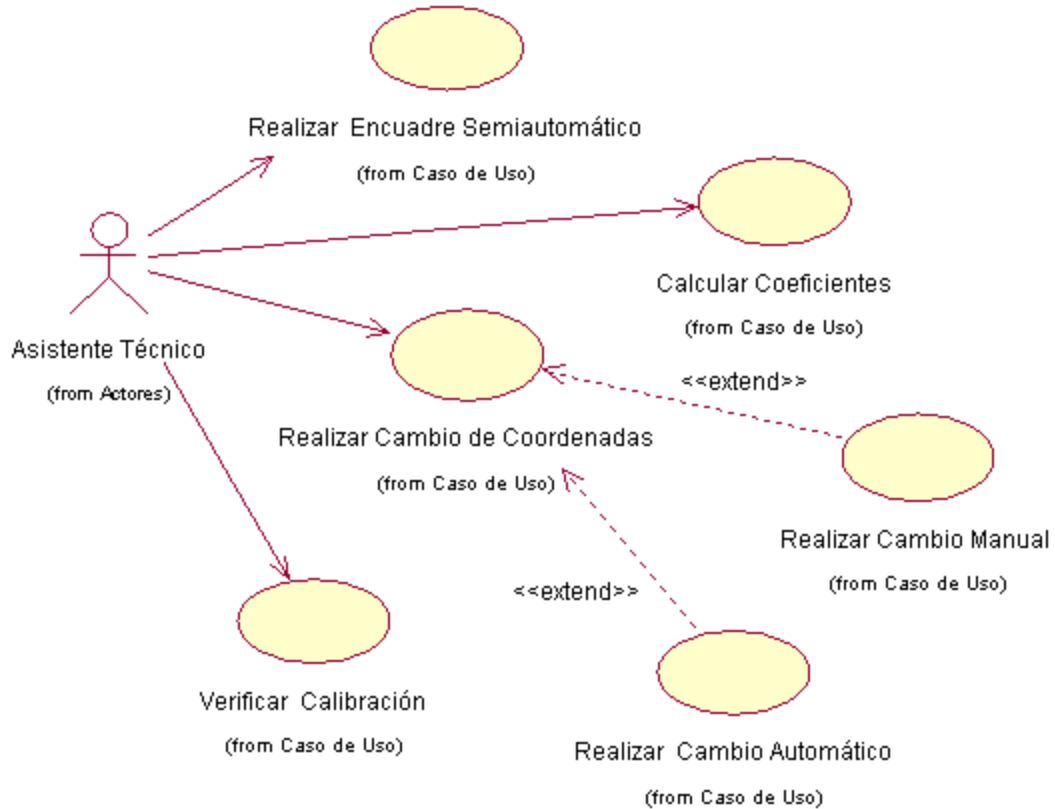


Fig.20: Diagrama de Caso de Uso del Sistema

2.6.5 Descripción Textual De los Casos de Uso:

Caso de Uso:	Verificar Calibración
Actor(es):	Asistente técnico
Propósito:	Verificar si la calibración de la cámara no se ha modificado desde la última calibración, o si la cámara no se ha calibrado aun.

Resumen:	Opción que permite mediante una aplicación automática, verificar la calibración de la cámara. Para este análisis se realiza una prueba, se proyecta un punto conocido previamente, este punto se captura en coordenadas de cámara y se convierte a coordenadas de pantalla, se compara el resultado con el punto que se mandó a proyectar y si coinciden, la calibración es válida. En caso contrario se procede a la calibración.	
Referencias:	R.1	
Precondiciones:		
Acción del Actor	Respuesta del Sistema	
1. El asistente técnico accede a la opción Verificar Calibración.	1. La aplicación muestra al asistente técnico una aplicación visual para realizar la Verificación de Calibración.	
2. El Asistente Técnico ejecuta la verificación.	2. Se Muestra el resultado de la verificación de la calibración.	

Caso de Uso:	Realizar Encuadre Semiautomático
Actor(es):	Asistente técnico
Propósito:	Realizar encuadre semiautomático entre la cámara y el entorno virtual.
Resumen:	Opción que permite al asistente técnico ver todo lo referente al Encuadre

	y realizarlo de forma semiautomática. Se visualiza en pantalla un video que permite realizar el encuadre de forma visible y en tiempo real.	
Referencias:	R.2	
Precondiciones:		
Acción del Actor	Respuesta del Sistema	
<p>1. El Asistente técnico accede a la opción Encuadre.</p> <p>2 El Asistente técnico realiza el encuadre.</p> <p>3. El Asistente técnico cierra dicha aplicación.</p>	<p>1. La aplicación muestra al Asistente técnico una aplicación visual diseñada para el Encuadre.</p> <p>2. El sistema muestra la veracidad del encuadre.</p>	

Caso de Uso:	Obtener Parámetros de Cambio
Actor(es):	Asistente técnico
Propósito:	Mostrar la aplicación referente a la obtención de los parámetros de cambio de coordenadas.
Resumen:	El Asistente técnico selecciona la opción de obtener parámetros, a continuación se le muestra en una aplicación visual todo lo referente a la Obtención de parámetros para el cambio de coordenadas.
Referencias:	R.3

Precondiciones:	
Acción del Actor	Respuesta del Sistema
<p>1. El Asistente técnico selecciona en el menú la opción Obtener Parámetros.</p> <p>2. El Asistente técnico accede a la opción proyectar patrón.</p> <p>3. El Asistente técnico cierra la aplicación.</p> <p>4. El Asistente técnico archiva los datos obtenidos.</p> <p>5. En caso de no estar seguro de lo que archivó, resetea los datos guardados.</p>	<p>1. La aplicación muestra al Asistente técnico un entorno visual que define las condiciones para la obtención de los parámetros de cambio de coordenadas.</p> <p>2. El sistema muestra una aplicación visual que permita proyectar puntos, para el cálculo de los coeficientes.</p> <p>3. El sistema muestra los resultados de la captura durante la proyección.</p> <p>4. La aplicación le muestra la confirmación de el archivo de los datos.</p> <p>5. La aplicación muestra un mensaje, para confirmar que se han borrado los datos.</p>

Caso de Uso:	Realizar Cambio de coordenada
Actor(es):	Asistente Técnico
Propósito:	Muestra la información referente al cambio de coordenada.
Resumen:	El Asistente técnico selecciona la opción de Cambio de coordenadas, la

	aplicación muestra una ventana donde se especifica todo lo referente al cambio de coordenadas.	
Referencias:	R.4	
Precondiciones:		
Acción del Actor		Respuesta del Sistema
1. El Asistente técnico accede a la opción Cambio de Coordenadas.		1. La aplicación le muestra al Asistente técnico una ventana donde está todo lo referente al Cambio de coordenadas.

Caso de Uso:	Realizar Cambio Automático	
Actor(es):	Asistente Técnico	
Propósito:	Disponer al sistema para el uso durante la realización del ejercicio.	
Resumen:	El Asistente técnico accede a la opción de Cambio Automático, acto seguido la aplicación esta lista para la realización del ejercicio.	
Referencias:	R.4	
Precondiciones:		
Acción del Actor		Respuesta del Sistema
1. El Asistente técnico accede a la opción		1. La aplicación le muestra al Asistente técnico un mensaje para confirmar que el sistema está

Cambio Automático.	listo para el Cambio Automático.
--------------------	----------------------------------

Caso de Uso:	Realizar Cambio Manual	
Actor(es):	Asistente Técnico	
Propósito:	Realizar cambio de coordenadas de manera manual usando un cambio pasivo a orden del Asistente técnico.	
Resumen:	El Asistente técnico accede a la opción de Cambio Manual, la aplicación le presenta una interfaz diseñada para esta acción. El asistente deberá introducir las coordenadas a calcular de forma manual.	
Referencias:	R.4	
Precondiciones:		
Acción del Actor	Respuesta del Sistema	
<ol style="list-style-type: none"> 1. El Asistente técnico accede a la opción Cambio Manual. 2. El Asistente técnico introduce las coordenadas en el sistema. Y luego ejecuta el botón “calcular”. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La aplicación le muestra al Asistente técnico un entorno visual con todo lo referente al Cambio Manual. 2. El sistema le muestra el resultado de la conversión. 	

Descripción de la solución propuesta

En el capítulo anterior se enunció de forma general y trivial la solución que se propone para intentar dar respuestas a los errores que introduce la distorsión por la mala geometría de la cámara. La solución propone realizar el cálculo de los parámetros de cambio de coordenadas y la transformación de coordenadas mediante el ajuste de curva, en este caso la curva a la cual queremos ajustar los datos recogidos por el Simulador (entiéndase parámetros de calibración), es un polinomio de tercer grado, lo que nos permite tratar la distorsión tanto Radial como Proyectiva, hay que aclarar que estos dos fenómenos se modelan matemáticamente de formas distintas, pero que experimentalmente están involucrados uno con otro y no se pueden separar pues el efecto de ambos es el mismo. Este método tiene un inconveniente pues no se trata la rotación, ni la traslación, por esto se propone un procedimiento para compensar ambos parámetros. Además de esto, se pueda utilizar el ajuste de curva para el cambio de coordenadas.

3.1- Encuadre semiautomático.

El encuadre semiautomático propone ajustar la cámara en correspondencia con la escena virtual proyectada, de manera que se puedan minimizar y llevar casi a nula la rotación y la traslación de una forma más simple y práctica, si esto se logra ambas serán tan cercanas a cero que serían poco significativas, esto nos da la ventaja de trabajar con dos parámetros menos, lo que implica minimizar los errores a la hora del cambio de coordenadas, esto no implica que los errores se hallan eliminados del todo. Además facilita la aplicación del ajuste de curva para el cambio de coordenadas.

Para dar solución a esto se diseñó una imagen patrón:



Fig.21: Representación de la zona de captura de la cámara.

En la imagen existen dos áreas principales, la primera y la más evidente es la zona de captura de video de la cámara, en la cual en una aplicación es donde se muestra el video que captura la cámara, en este caso será la propia imagen patrón que es proyectada a su vez por el proyector. La segunda área es el resto de la imagen que son las líneas perpendiculares a la zona de captura. Si estas líneas coinciden con las líneas de la imagen que está tomando la cámara, podemos verificar que el encuadre es deseado como se puede apreciar en la siguiente figura (Fig. 22).

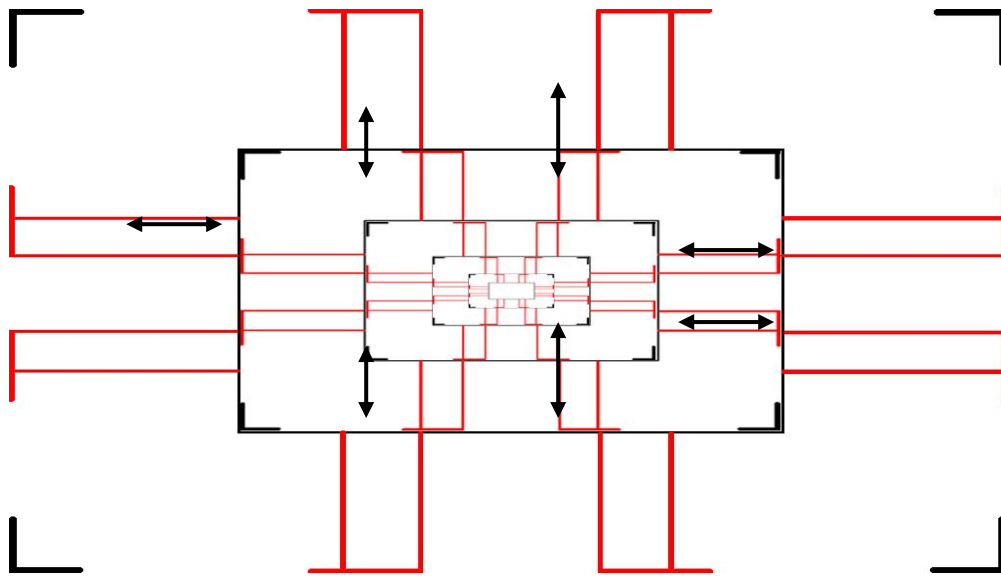


Fig.22: Representación de una vista de la Captura de la cámara.

Las flechas de color negro visualizan la coincidencia de las líneas de la imagen patrón proyectada, y las líneas de la imagen capturada por la cámara, que es la misma que se proyecta. Cuando se logra lo que se muestra en la imagen anterior, se puede asumir que la rotación y la traslación son despreciables y entonces se puede proceder al cálculo de los parámetros y a la conversión de coordenadas, mediante el ajuste de curva.

3.2-Tratamiento matemático del problema del ajuste de curvas.

El Ajuste de curva no es más que hallar una curva que sea lo más próxima posible a una serie de datos que se quieran ajustar.

Supongamos que hemos medido un conjunto de pares de datos (x_i, y_i) en una experiencia, por ejemplo, la posición de un automóvil en ciertos instantes de tiempo. Queremos obtener una función $y=f(x)$ que se ajuste lo mejor posible a los valores experimentales. Se pueden ensayar muchas funciones, rectas, polinomios, funciones potenciales o logarítmicas. Una vez establecido la función a ajustar se determinan sus parámetros, en el caso de un polinomio, serán los coeficientes del polinomio de modo que los datos experimentales se desvíen lo menos posible de la fórmula empírica.

3.2.1- Mínimos Cuadrados.

Mínimos cuadrados es una técnica de optimización matemática que, dada una serie de mediciones, intenta encontrar una función que se aproxime a los datos (un "mejor ajuste"). Intenta minimizar la suma de cuadrados de las diferencias ordenadas (llamadas residuos) entre los puntos generados por la función y los correspondientes en los datos. Específicamente, se llama mínimos cuadrados promedio (LMS) cuando el número de datos medidos es 1 y se usa el método de descenso por gradiente para minimizar el residuo cuadrado. Se sabe que LMS minimiza el residuo cuadrado esperado, con el mínimo de operaciones (por iteración). Pero requiere un gran número de iteraciones para converger.

3.2.1.1- Polinomio aproximador.

Se quiere aproximar un polinomio de grado n , a un conjunto de m pares de datos (x_i, y_i) de modo que $n \leq m$.

Sea el polinomio

$$P(x)=a_0+a_1x+a_2x^2+\dots+a_nx^n$$

Se calcula la cantidad:

$$S = \sum_{i=0}^m (P(x_i) - y_i)^2 = \sum_{i=0}^m (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_nx_i^n - y_i)^2$$

Para obtener los valores de los coeficientes del polinomio aproximador se tienen que determinar los valores de los coeficientes $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ de forma que la cantidad S tome un valor mínimo.

Hagamos las derivadas parciales de S respecto de $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ iguales a cero

$$\frac{1}{2} \frac{\partial S}{\partial a_0} = \sum_{i=0}^m (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_nx_i^n - y_i) \cdot 1 = 0$$

$$\frac{1}{2} \frac{\partial S}{\partial a_1} = \sum_{i=0}^m (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_nx_i^n - y_i) \cdot x_i = 0$$

$$\dots$$

$$\frac{1}{2} \frac{\partial S}{\partial a_n} = \sum_{i=0}^m (a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_nx_i^n - y_i) \cdot x_i^n = 0 \quad (1)$$

Obtenemos un sistema de $n+1$ ecuaciones con $n+1$ incógnitas, $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$

Ejemplo:

Supongamos que tenemos 4 pares de datos y que queremos ajustarlos al polinomio de segundo grado $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$

X	x_0	x_1	x_2	x_3
y	y_0	y_1	y_2	y_3

Las ecuaciones (1) se escribirán

$$(a_0 + a_1x_0 + a_2x_0^2) + (a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2) + (a_0 + a_1x_2 + a_2x_2^2) + (a_0 + a_1x_3 + a_2x_3^2) - (y_0 + y_1 + y_2 + y_3) = 0$$

$$(a_0 + a_1x_0 + a_2x_0^2)x_0 + (a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2)x_1 + (a_0 + a_1x_2 + a_2x_2^2)x_2 + (a_0 + a_1x_3 + a_2x_3^2)x_3 - (y_0x_0 + y_1x_1 + y_2x_2 + y_3x_3) = 0$$

$$(a_0 + a_1x_0 + a_2x_0^2)x_0^2 + (a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2)x_1^2 + (a_0 + a_1x_2 + a_2x_2^2)x_2^2 + (a_0 + a_1x_3 + a_2x_3^2)x_3^2 - (y_0x_0^2 + y_1x_1^2 + y_2x_2^2 + y_3x_3^2) = 0$$

$$Ax + By + Cz = D$$

$$Ey + Fz = G$$

$$Hz = I$$

La resolución del sistema es ahora inmediata; basta calcular z en la tercera ecuación, llevar este valor de z a la segunda ecuación para obtener el valor de y , y así despejar la incógnita x en la primera ecuación, conocidos ya z e y . Por Ejemplo:

$$\begin{cases} 2x + 3y - 7z = -1 & (A) \\ 3x + 4y - 6z = 5 & (B) \\ 5x - 2y + 4z = -7 & (C) \end{cases} \quad (1)$$

La 1ª ecuación siempre se deja igual, (procurando que esta sea la más sencilla) y en la 2ª y 3ª ecuación se debe anular el término que lleva la x .

$$\begin{cases} 2x + 3y - 7z = -1 & (A) \\ 3x + 4y - 6z = 5 & (B) \\ 5x - 2y + 4z = -7 & (C) \end{cases} \quad \begin{cases} 2x + 3y - 7z = -1 & (A') = (A) \\ -y + 9z = 13 & (B') = -3(A) + 2(B) \\ -19y + 43z = -9 & (C') = -5(A) + 2(C) \end{cases} \quad (2)$$

Una vez que hemos anulado los términos en x debemos dejar fija la 1ª y 2ª ecuación y anular el término que lleva la y en la 3ª ecuación

$$\begin{cases} 2x + 3y - 7z = -1 & (A'') = (A') \\ -y + 9z = 13 & (B'') = (B') \\ -128z = -256 & (C'') = -19(B') + (C') \end{cases} \quad (3)$$

De la última ecuación obtenemos que $z = -256/-128 = 2$, que sustituyendo en B'' resulta

$$-y + 9 \cdot 2 = 13 \Rightarrow y = 5 \quad (4)$$

Y a su vez sustituyendo en A'' obtenemos que:

$$2x + 3 \cdot 5 - 7 \cdot 2 = -1 \Rightarrow x = -1 \quad (5)$$

Por lo tanto la solución del sistema es $(-1, 5, 2)$

3.3- El Ajuste de Curva en el Simulador de Tiro.

La búsqueda de la solución por el método del ajuste de curva permite ante todo el tratamiento de la distorsión introducido en el proceso de digitalización. En diferentes literaturas el tratamiento de la distorsión se define como un polinomio de grado dependiente de la cantidad de puntos que se traten, y de la distancia focal en muchos casos. El escalado como anteriormente se expresó, es la diferencia en el pixelado de los marcos involucrados en el ejercicio de Tiro, y se define de forma lineal. El centro de la imagen es un entero que representa si existe corrimiento entre el centro de la imagen proyectada y la tomada por la cámara, en caso de de ser mayor que cero o menor, los marcos de coordenadas no están centrados unos con otros, y en otro caso si es igual cero los marcos están en total correspondencia. Estos son los factores que trata el ajuste de curva.

Por tanto siendo X, Y las coordenadas de pantalla para cada eje (x, y) y x', y' las coordenadas de cámaras y además x_c, y_c el centro de la imagen, el sistema se define como un polinomio de tercer grado donde el polinomio se expresa como la suma de exponenciales de las distancias del punto principal a cada uno de los puntos de muestra, es decir, el radio, como a continuación se expresa

$$X = Bx_0 + Bx_1 (x_c - x') + Bx_2 (x_c - x')^2 + Bx_3 (x_c - x')^3$$

$$Y = By_0 + By_1 (y_c - y') + By_2 (y_c - y')^2 + By_3 (y_c - y')^3$$

Los coeficientes B representan lo mismo en ambas ecuaciones:

$B_0 \rightarrow$ Representa el descentramiento entre los marcos de coordenadas de cámara y pantalla. En este caso se asume como poco importante y se iguala a cero por ser tan pequeña.

$B_1 \rightarrow$ Es el coeficiente de escalado entre ambos marcos de coordenadas y representa una ecuación lineal.

$B_2 \rightarrow$ Representa el coeficiente de distorsión radial introducida por la aberración de los lentes, representa una ecuación exponencial, en ese caso una ecuación cuadrática.

B3 → Es el coeficiente de distorsión proyectiva y representa una ecuación exponencial de tercer grado.

Si se conoce el valor de las coordenadas X, Y de la pantalla y se conoce además el valor que representan estas coordenadas en la cámara, es decir el valor de x', y' así como el valor de los centros en ambos sistemas coordenados, cámara y pantalla, podemos proceder a calcular los coeficientes de cambio que a su vez son los coeficientes Bi del polinomio aproximador.

Como pudimos observar el polinomio que se va a aproximar es un polinomio de tercer grado, aplicando el método de Mínimos Cuadrados, el sistema quedaría planteado de la siguiente forma.

$$\sum_{i=0}^m (B_0 + B_1(x_{c_i} - x'_i) + B_2(x_{c_i} - x'_i)^2 + B_3(x_{c_i} - x'_i)^3 - (y_{c_i} - y'_i)^3) = 0$$

$$\sum_{i=0}^m (B_0 + B_1(x_{c_i} - x'_i) + B_2(x_{c_i} - x'_i)^2 + B_3(x_{c_i} - x'_i)^3 - (y_{c_i} - y'_i)^3) X_i = 0$$

$$\sum_{i=0}^m (B_0 + B_1(x_{c_i} - x'_i) + B_2(x_{c_i} - x'_i)^2 + B_3(x_{c_i} - x'_i)^3 - (y_{c_i} - y'_i)^3) X_i^2 = 0$$

$$\sum_{i=0}^m (B_0 + B_1(x_{c_i} - x'_i) + B_2(x_{c_i} - x'_i)^2 + B_3(x_{c_i} - x'_i)^3 - (y_{c_i} - y'_i)^3) X_i^3 = 0$$

Agrupando términos

$$4 B_0 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i) B_1 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^2 B_2 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^3 B_3 = \sum_{i=0}^m (y_{c_i} - y'_i)$$

$$\sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i) B_0 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^2 B_1 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^3 B_2 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^4 B_3 = \sum_{i=0}^m (y_{c_i} - y'_i) (x_{c_i} - x'_i)$$

$$\sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^2 B_0 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^3 B_1 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^4 B_2 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^5 B_3 = \sum_{i=0}^m (y_{c_i} - y'_i) (x_{c_i} - x'_i)^2$$

$$\sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^3 B_0 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^4 B_1 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^5 B_2 + \sum_{i=0}^m (x_{c_i} - x'_i)^6 B_3 = \sum_{i=0}^m (y_{c_i} - y'_i) (x_{c_i} - x'_i)^3$$

Entonces tenemos que, si:

$$S_k = (x_{c_0} - x'_0)^k + (x_{c_1} - x'_1)^k + (x_{c_2} - x'_2)^k + (x_{c_3} - x'_3)^k \quad (k = 0, \dots, 3)$$

$$t_k = (x_{c_0} - x'_0)^k (y_{c_0} - y'_0) + (x_{c_1} - x'_1)^k (y_{c_1} - y'_1) + (x_{c_2} - x'_2)^k (y_{c_2} - y'_2) + (x_{c_3} - x'_3)^k (y_{c_3} - y'_3) \quad (k = 0, \dots, 3)$$

El sistema de ecuaciones que se forma es:

$$B_0 S_0 + B_1 S_1 + B_2 S_2 + B_3 S_3 = t_0$$

$$B_0 S_1 + B_1 S_2 + B_2 S_3 + B_3 S_4 = t_1$$

$$B_0 S_2 + B_1 S_3 + B_2 S_4 + B_3 S_5 = t_2$$

$$B_0 S_3 + B_1 S_4 + B_2 S_5 + B_3 S_6 = t_3$$

Una vez establecido el sistema de ecuaciones lineales, procedemos a resolverlo, para la resolución de este sistema de ecuaciones lineales empleamos como se ha mencionado anteriormente el Método de Gauss. Aplicando este método la matriz quedaría de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} S_0 & S_1 & S_2 & S_3 \\ S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} B_0 \\ B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_0 \\ t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix}$$

Escalonando la n

$$\begin{bmatrix} S_0B_0 & S_1B_1 & S_2B_2 & S_3B_3 \\ S_1B_0 & S_2B_1 & S_3B_2 & S_4B_3 \\ & S_3B_1 & S_4B_2 & S_5B_3 \\ & S_4B_1 & S_5B_2 & S_6B_3 \end{bmatrix} \begin{array}{l} t_0 \\ t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{array} \quad \begin{bmatrix} S_0B_0 & S_1B_1 & S_2B_2 & S_3B_3 \\ S_1B_0 & S_2B_1 & S_3B_2 & S_4B_3 \\ & S_3B_1 & S_4B_2 & S_5B_3 \\ & & S_5B_2 & S_6B_3 \end{bmatrix} \begin{array}{l} t_0 \\ t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{array} \quad \begin{bmatrix} S_0B_0 & S_1B_1 & S_2B_2 & S_3B_3 \\ & S_2B_1 & S_3B_2 & S_4B_3 \\ & & S_4B_2 & S_5B_3 \\ & & & S_6B_3 \end{bmatrix} \begin{array}{l} t_0 \\ t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{array}$$

Teniendo la matriz escalonada se procede a calcular las incógnitas (B0, B1, B2, B3).

3.4- Cambio de Coordenadas:

El cambio de coordenadas se realiza sustituyendo en el polinomio, los coeficientes Bi y calculando la variable dependiente, es decir:

$$X = Bx_0 + Bx_1 (xc - x') + Bx_2 (xc - x')^2 + Bx_3 (xc - x')^3$$

Donde no conocemos el valor de las coordenadas en pantalla, solo las coordenadas de cámara y los coeficientes del polinomio. Por tanto se realiza la operación y se calcula el punto en pantalla. De igual forma se hace para las coordenadas Y:

$$Y = By_0 + By_1 (yc - y') + By_2 (yc - y')^2 + By_3 (yc - y')^3$$

De esta manera se realiza el cambio de coordenadas para la ejecución de un disparo en el ejercicio o de forma manual, experimentalmente.

3.5- Propuesta de patrón para la calibración semiautomática.

El cálculo de los de los parámetros **Bi** se hace previamente a la realización del ejercicio de tiro y como consiguiente al cambio de coordenadas, pues la cámara se calibra previa al ejercicio. Para

realizar la calibración se proyecta una imagen la cual tendrá un diseño previsto, donde se colocarán los puntos de muestreo aleatoriamente y por cuadrante, en la imagen, buscando un comportamiento medio, experimentando en cada uno de los cuadrantes, se escogerán cuatro puntos por cuadrante evitando la linealidad de los puntos, en la siguiente figura se representa los cuadrantes y los puntos correspondiente a cada uno de ellos:

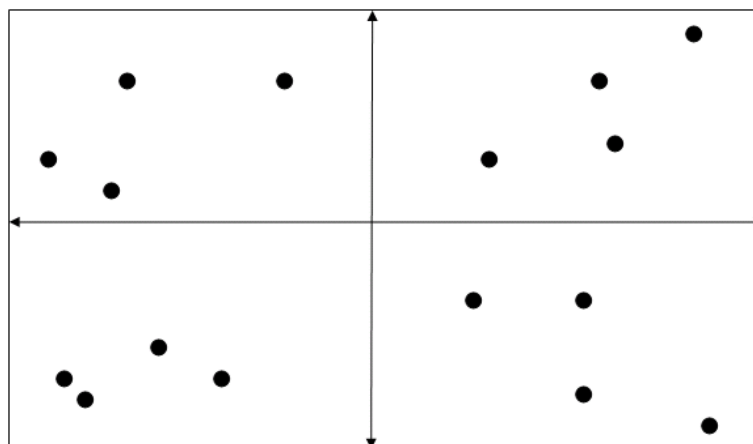


Fig.23: Esquema que representa la distribución de los puntos de captura para el cálculo de los coeficientes de cambio de coordenadas.

Como se muestra en la figura anterior los puntos en cada uno de los cuadrantes está lejos del centro pues mientras más cerca este del centro menos distorsión introduce la imagen, ya que el eje óptico de la cámara esta referido al centro de la imagen, por tanto será esta zona la más libre de errores.

Una vez calibrada la cámara, el sistema guardará los parámetros B en un fichero para de esta forma en la próxima ejercitación en el Simulador no tener que calibrar la cámara nuevamente, esto permite el ahorro de tiempo y de gasto físico, además una forma dinámica y mas fácil de usar la aplicación.

3.5- Verificación de calibración:

Esta propuesta propone verificar cada vez que se valla a realizar el ejercicio de tiro si los parámetros de calibración no han sufrido ningún cambio desde la calibración anterior. Como se

enunció anteriormente después de ser calibrada la cámara se guardan los parámetros en ficheros para reutilizarlos en la próximo ejercicio de tiro, esto requiere una comprobación previa pues existe la posibilidad que por algún motivo la cámara haya sido movida o desajustada o los fichero que contenían los coeficientes se hayan eliminado o alterado su información, si sucede algún hecho de los antes mencionados, los coeficientes de cambio de coordenadas no son válidos para realizar el ejercicio, por esto se propone una forma de verificar la validez de los parámetros, dicha forma consiste en mandar a proyectar cuatros puntos conocidos de manera experimental, estos puntos serán captados por la cámara y convertidos a coordenadas de pantalla, si los mismo al proyectarlos caen encima de los anteriores se puede decir que los parámetros de calibración son válidos y se realiza el ejercicio, de lo contrario hay que calibrar nuevamente la cámara. La siguiente figura muestra lo antes expresado:

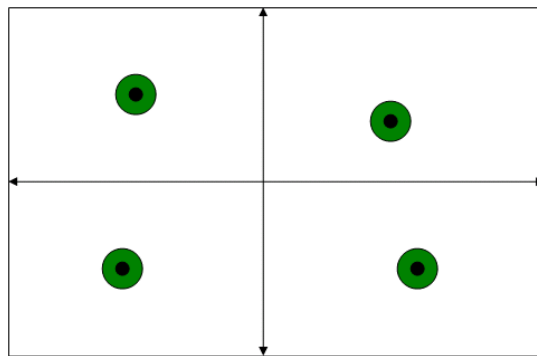


Fig.24: Esquema que muestra el principio de la Verificación de calibración

En este caso las bolas verdes son las coordenadas de pantalla mandadas a proyectar y se exageran un poco para mostrar lo que se quiere conseguir con este modelo, por consiguiente las bolas negras son las verdes capturadas por la cámara y convertidas a coordenadas de pantalla. En esta figura se puede apreciar una verificación deseada.

3.6 EL error y su tratamiento estadístico.

3.6.1- Fuentes del Error.

3.6.1.1- Error de calibración

Los errores de calibración no solo dificultan la búsqueda de los impactos del láser sobre la escena virtual, sino que contribuyen a aumentar los errores en el cambio de coordenadas. Parte del trabajo desarrollado corresponde a minimizar el efecto general de los errores sobre el cambio de coordenadas. El análisis de los errores es fundamental por tres razones: En primer lugar porque nos permite diseñar un sistema que reduzca los errores. Por otro lado el análisis, nos permite establecer los rangos de precisión esperada. Y por último al conocer las fuentes de error es posible enfrentarlos de manera más eficiente.

3.6.1.2- Errores debido a los lentes

Como ya se ha explicado el Simulador de Tiro de SIMPRO usa cámaras baratas, esto implica que la calidad de estas cámaras no es la mejor, por tanto sus lentes no están libres de esto. La calidad del pulido de los lentes introduce errores importantes en el Simulador de Tiro, estos errores son provocados por la distorsión. Otro parámetro que puede introducir errores en el Simulador debido al pulido de los lentes es la distancia focal, que en muchos casos puede ser significativa e importante en la producción de error.

3.6.1.3- Error en el cálculo del punto principal.

El punto principal son las coordenadas de partida para realizar el cambio de coordenadas, este punto se toma como el centro de las imágenes, es decir si la cámara tiene una resolución de 400 x 600, el centro será en las coordenadas (200, 300) , esto introduce errores importantes, pues al capturar, la cámara obtiene una imagen que no siempre va a ser la misma que se está proyectando, ya que la cámara puede coger un poco más allá del entorno virtual donde esta zona no pertenece a la imagen, entonces cuando se escoge el centro en realidad no es el centro de la imagen que usted quería capturar, sino que es una imagen que tiene una zona no deseada ,que no pertenece a la imagen proyectada.

3.6.2- Tratamiento estadístico de datos.

3.6.2.1- Valor medio de la medición

Supóngase que se hacen N medidas de una cantidad x (todas usando el mismo instrumento y procedimientos) y se encuentran N valores,

x_1, x_2, \dots, x_N

El mejor valor estimado para x es su valor medio,

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2)$$

3.6.2.2.- Desviación estándar.

La desviación estándar, σ_x , de un conjunto de medidas x_1, x_2, \dots, x_N se define como,

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

σ_x , puede ser considerada como la *raíz media cuadrática (RMS: Root Mean Square)* de la desviación de las medidas x_1, x_2, \dots, x_N . Sin embargo hay razones teóricas para redefinir a σ_x como:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

una razón teórica más que suficiente sería el caso en el que se tomara una sola medida de la cantidad x (lo cual sería algo absurdo desde el punto de vista experimental): en este caso usando

la primera definición de σ_x se obtendría $\sigma_x = 0$ y usando la segunda daría $\sigma_x = \frac{0}{0}$; es más lógico el segundo resultado, ya que reflejaría la total ignorancia en la incertidumbre de x realizando una sola medida.

3.7 Modelo de Análisis

Diagrama de Clases: para cada caso de uso se representan el actor que inicia el caso de uso, las clases interfaz, colaboradora y entidad.

3.6.1 Caso de uso: " Calcular Coeficientes".

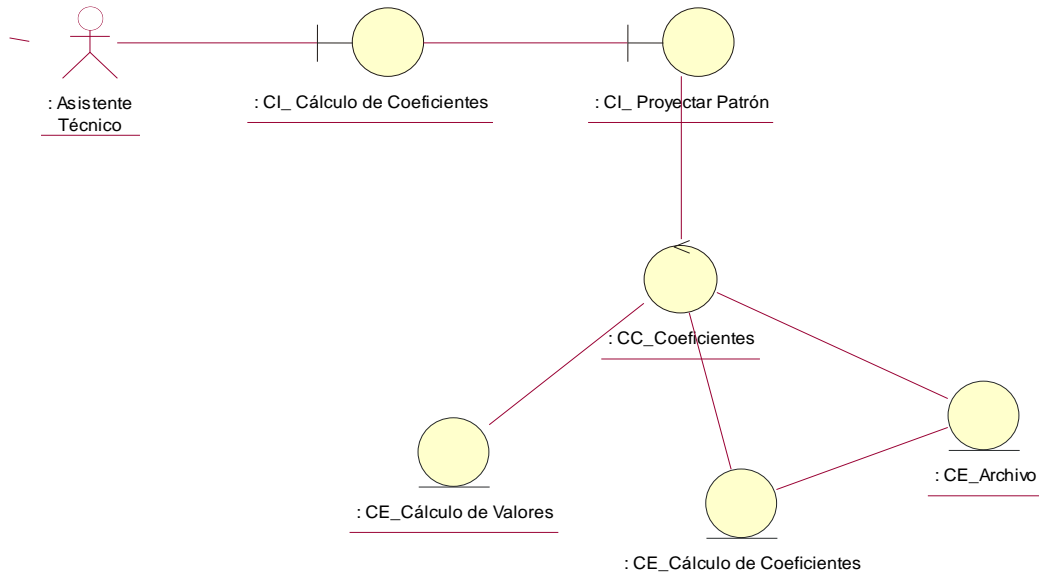


Fig.25: Diagrama de Clases " Calcular Coeficientes"

3.6.2 Caso de uso: " Cambio Automático"

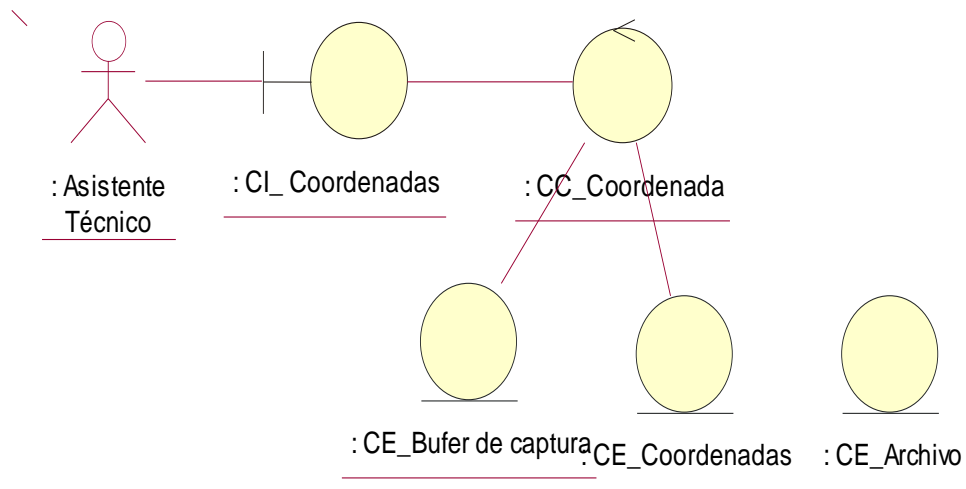


Fig.26: Diagrama de Clases" Cambio Automático"

3.6.3 Caso de uso: " Cambio de Coordenadas"

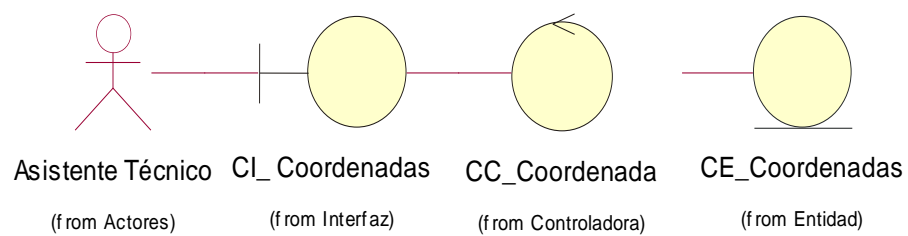


Fig.27: Diagrama de Clases" Cambio de Coordenadas"

3.6.4 Caso de uso: " Cambio Manual"

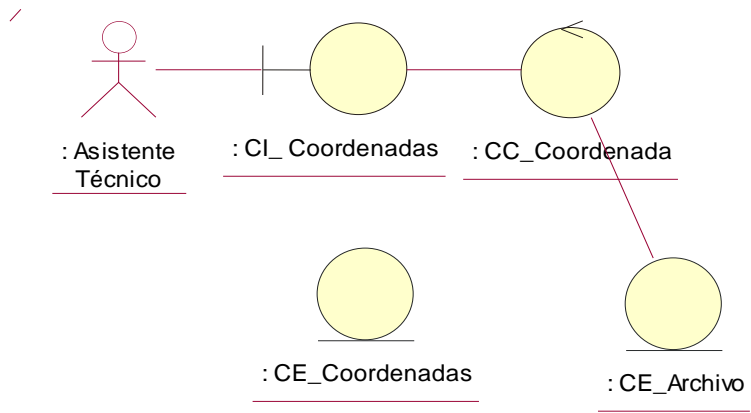


Fig.27: Diagrama de Clases" Cambio Manual"

3.6.5 Caso de uso: " Encuadre Semiautomático"

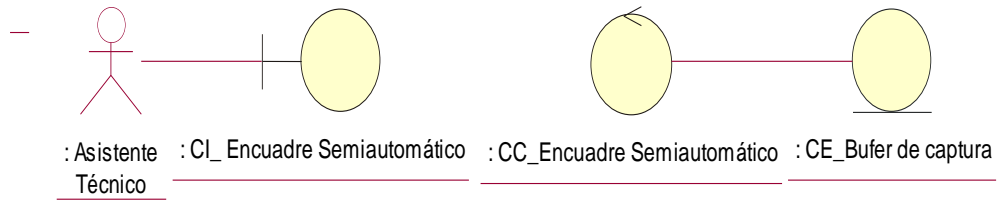


Fig.28: Diagrama de Clases" Encuadre Semiautomático"

3.6.6 Caso de uso: " Verificar Calibración"

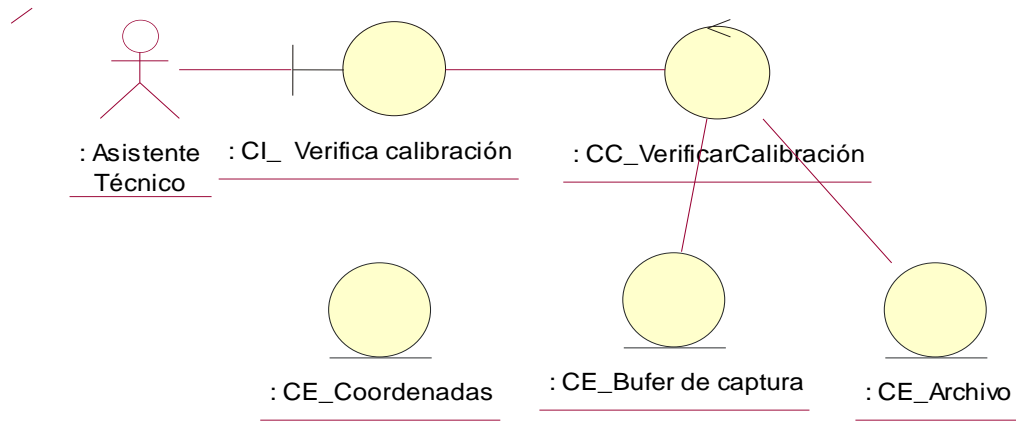


Fig.29: Diagrama de Clases" Verificar Calibración

3.7 Modelo de Diseño:

Diagrama de clases de diseño del sistema: es el resultado de un refinamiento de las etapas anteriores, Se presentan además los diagramas de secuencia de la realización de los casos de uso, que intervendrán en el primer ciclo de desarrollo del proyecto. Además se verán sus responsabilidades y relaciones durante el desarrollo del sistema.

3.7.1 Diagrama de Clases de Diseño

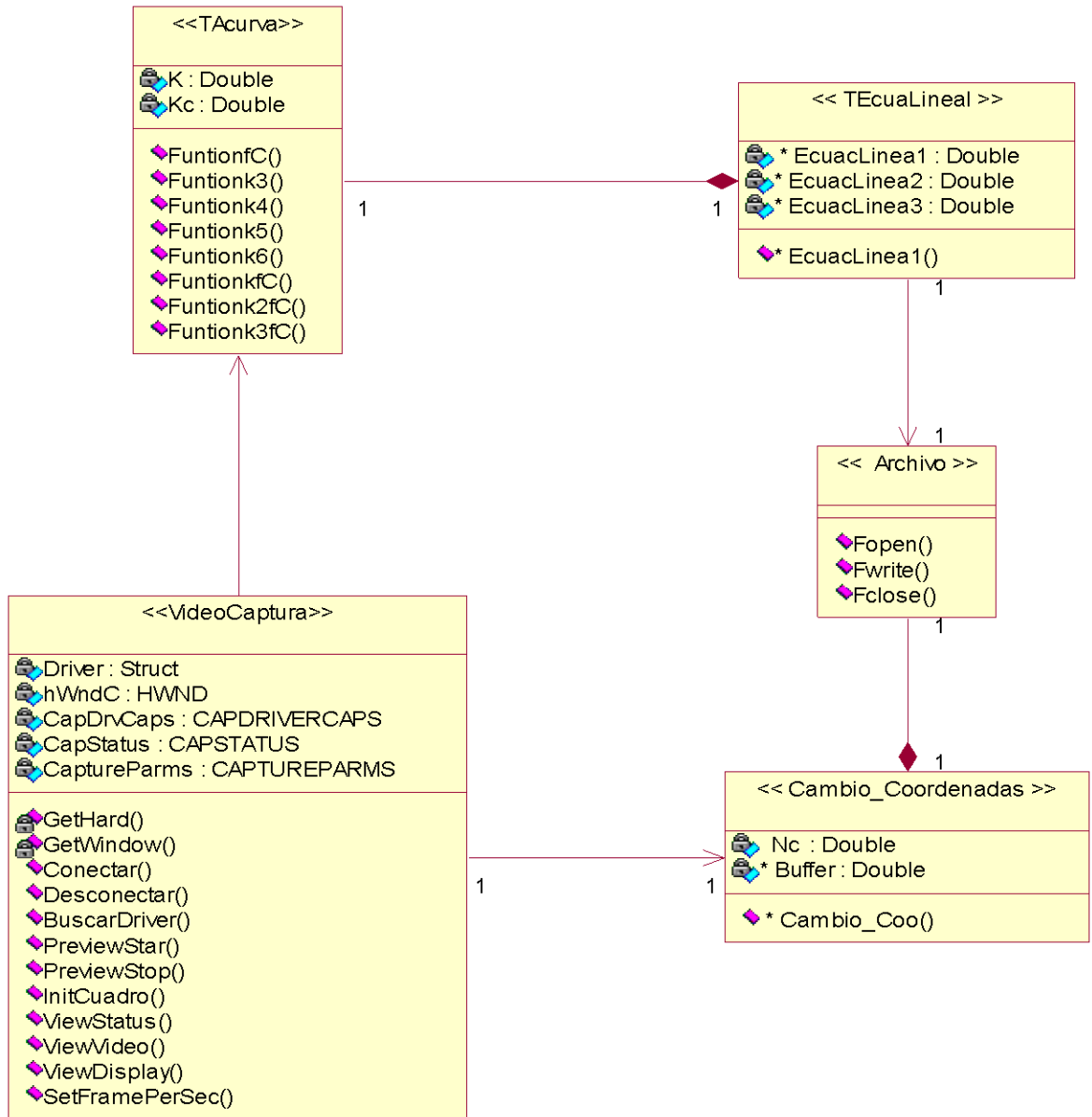


Fig.30: Diagrama de Clases de Diseño: "Sistema de calibración"

3.7.2 Caso de uso: Cálculo de Coeficientes”

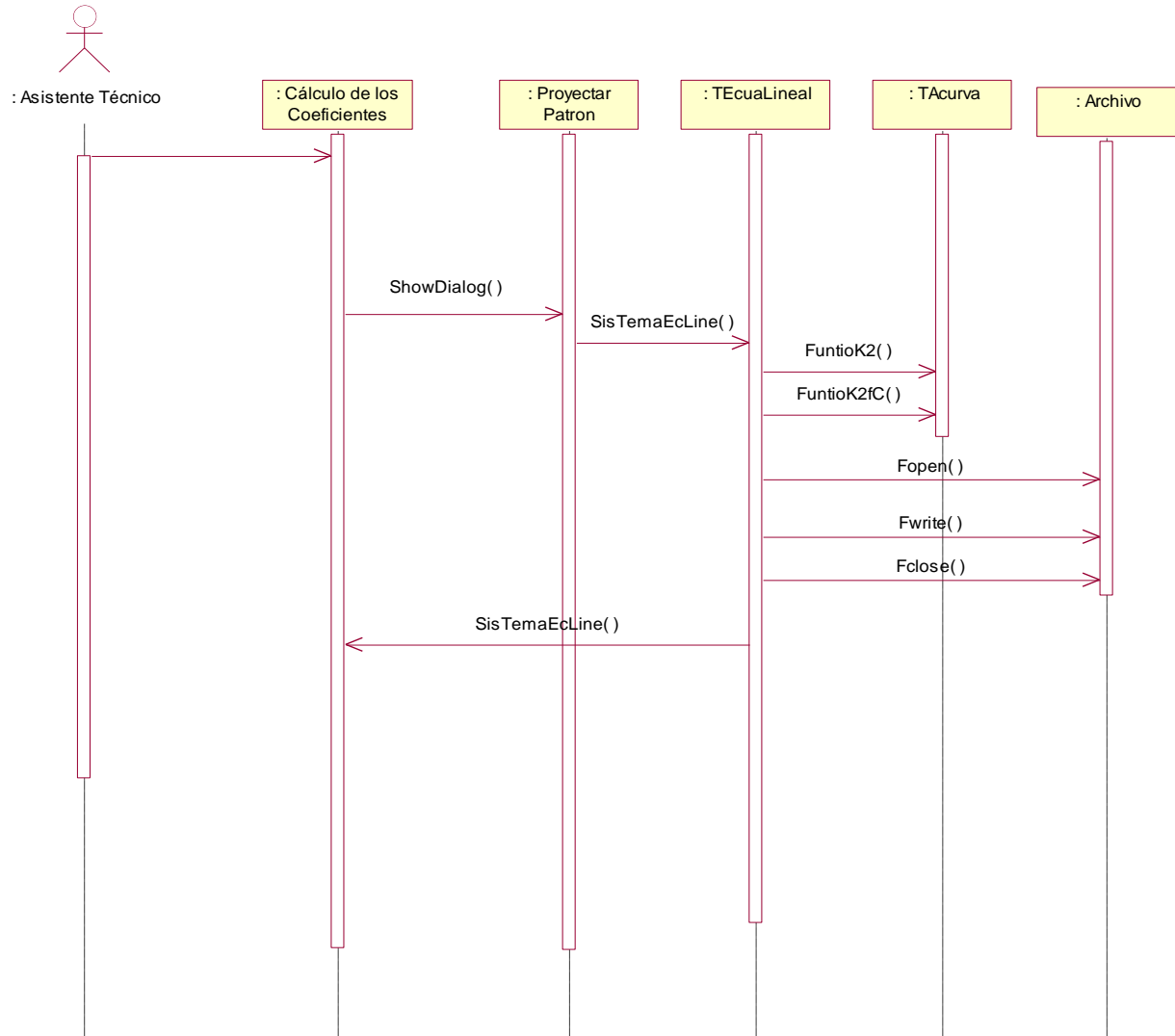


Fig.31: Diagrama de Secuencia” Cálculo Coeficientes”

A continuación se representa la interfaz encargada de realizar el calculo de los coeficientes, en esta imagen se puede apreciar de manera clara, cada uno de los pasos para conseguir el objetivo que nos proponemos con esta parte de la aplicación que es el calculo de la incógnitas de cambio de coordenadas.

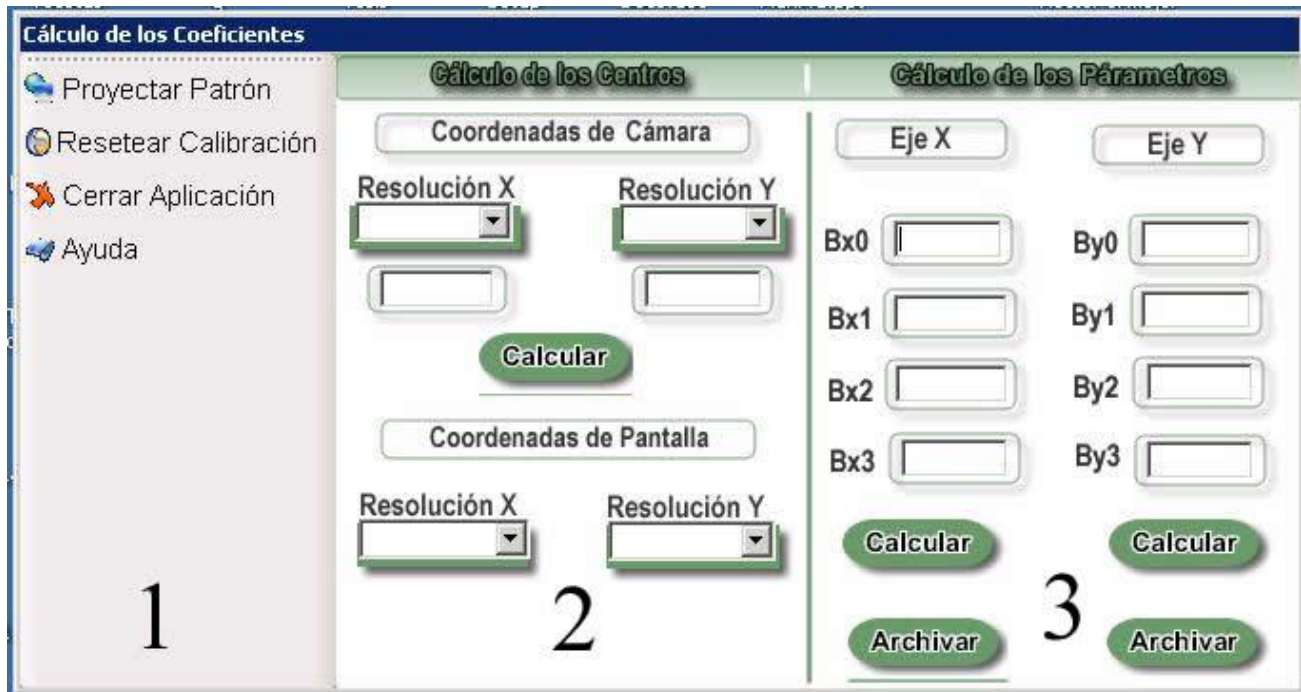


Fig.32: Cálculo Coeficientes

La aplicación cuenta de tres partes fundamentales a las izquierda y marcada con el numero (1), la primera parte donde el usuario escoge una de la opciones según el orden de la operaciones que se realicen. Marcada con el numero (2) se representa la segunda parte de la imagen donde se escogen los valores que van a participar en el calculo de los coeficientes. Representada con el (3) y la última parte de la imagen, podemos apreciar fácilmente que nos permite calcular los coeficientes de cambio de coordenadas y archivarlos una vez calculados.

3.7.3 Caso de uso: "Encuadre Semi-Automático"

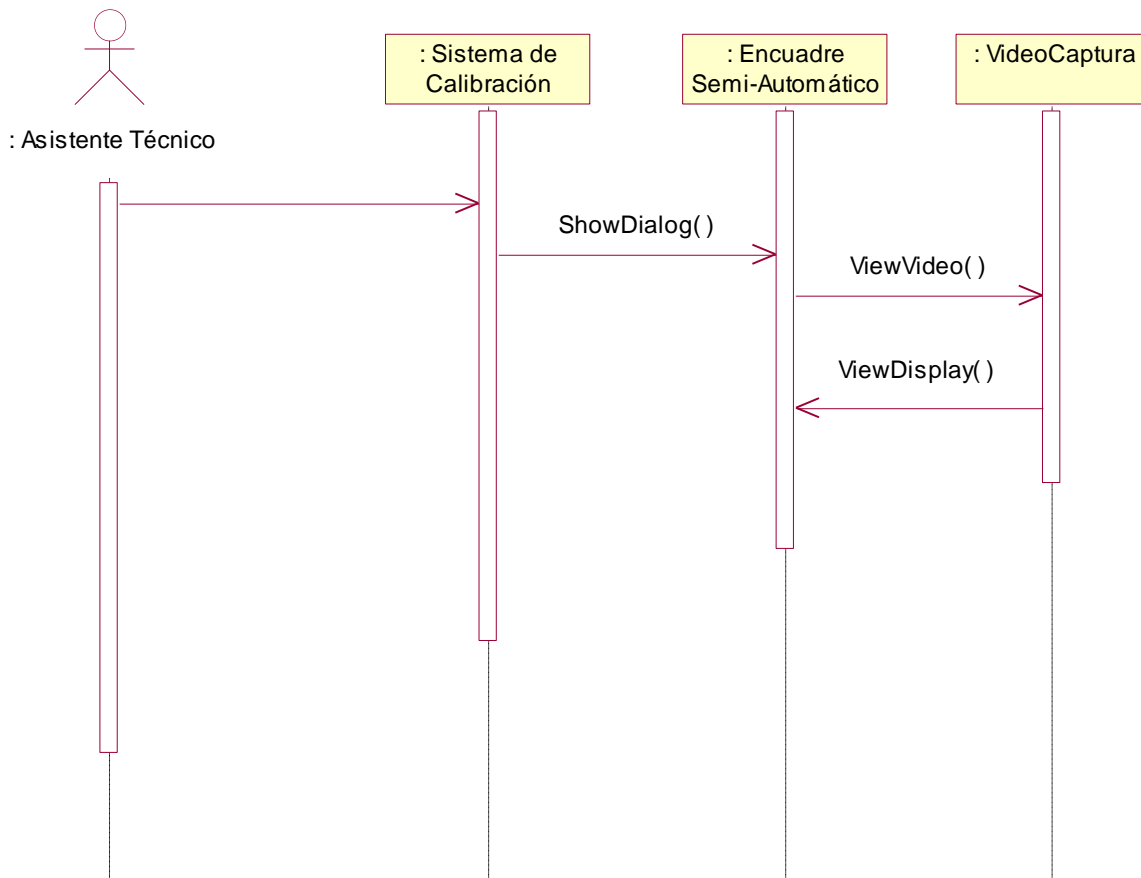


Fig.32: Diagrama de Secuencia "Encuadre Semi-Automático"

En la siguiente imagen se representa la parte de la aplicación correspondiente a el Encuadre Semi-Automático, en la figura se representa de manera clara la funcionalidades de esta parte de la aplicación.

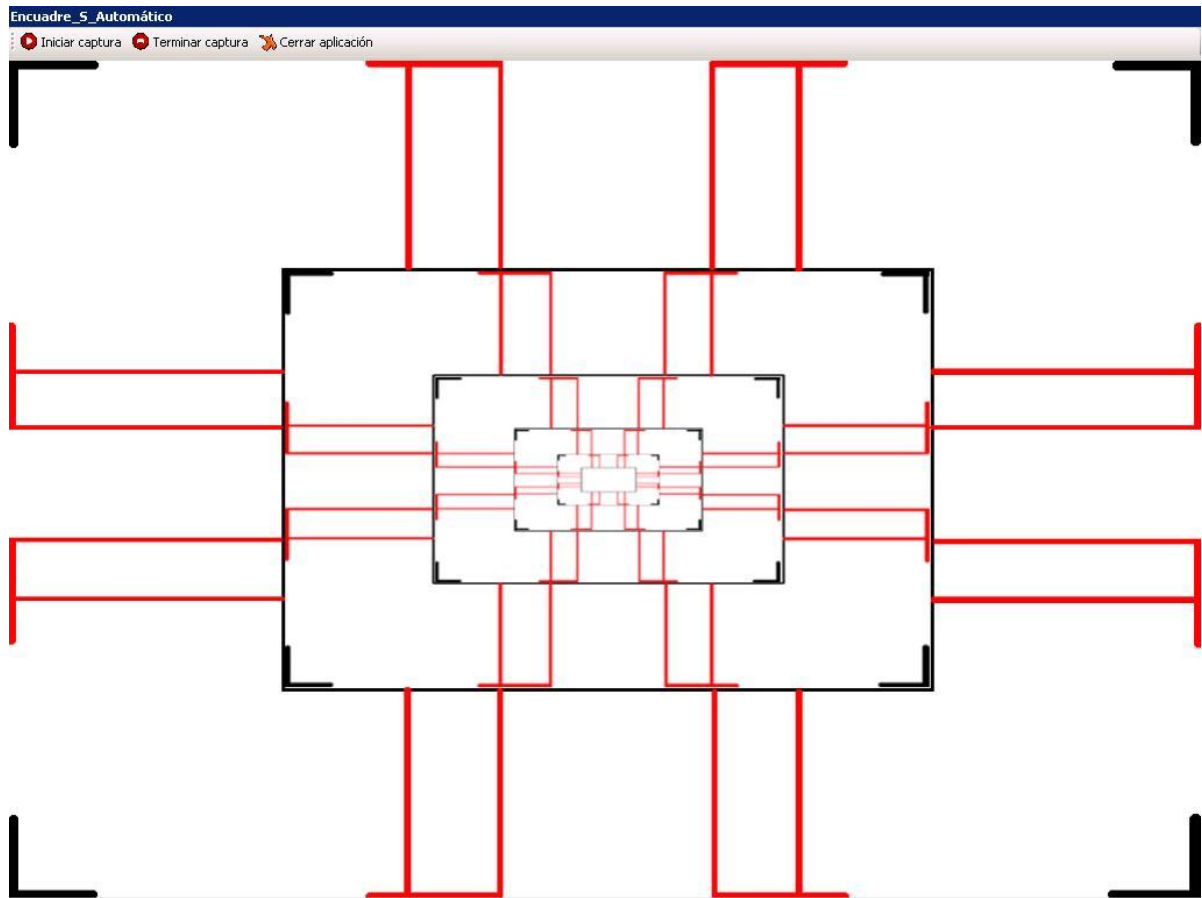


Fig.31: Encuadre Semi-Automático.

Como se puede apreciar en la figura anterior esta parte de la aplicación consta de dos áreas fundamentales, una es el menú donde se expresa claramente su usabilidad y la otra es el resto de la imagen donde se visualiza la captura de la cámara.

3.7.4 Caso de uso: “Verificar Calibración”

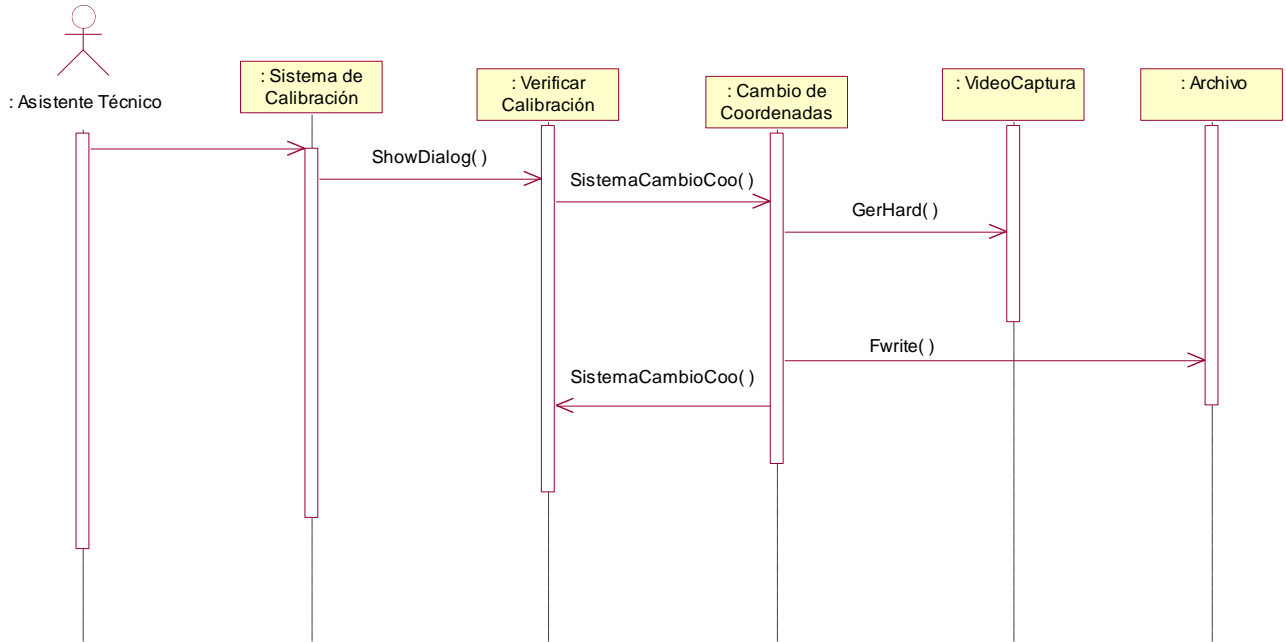


Fig.33: Diagrama de Secuencia” Verificar Calibración”

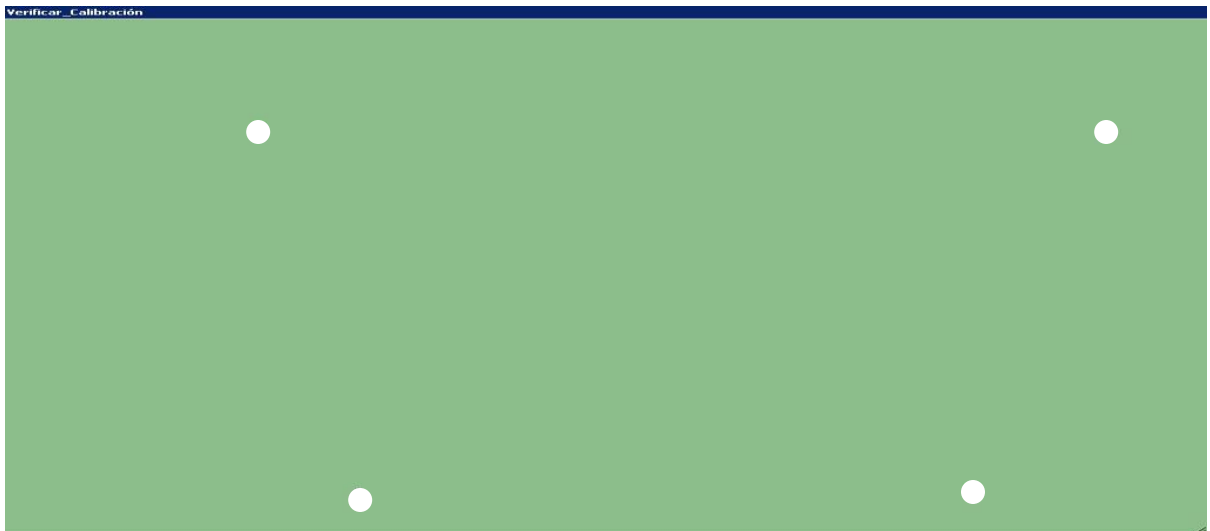


Fig.34: Verificar Calibración.

En la imagen podemos apreciar que se muestran los puntos de control para la verificación de la calibración.

3.7.5 Caso de uso: " Cambio de coordenada "

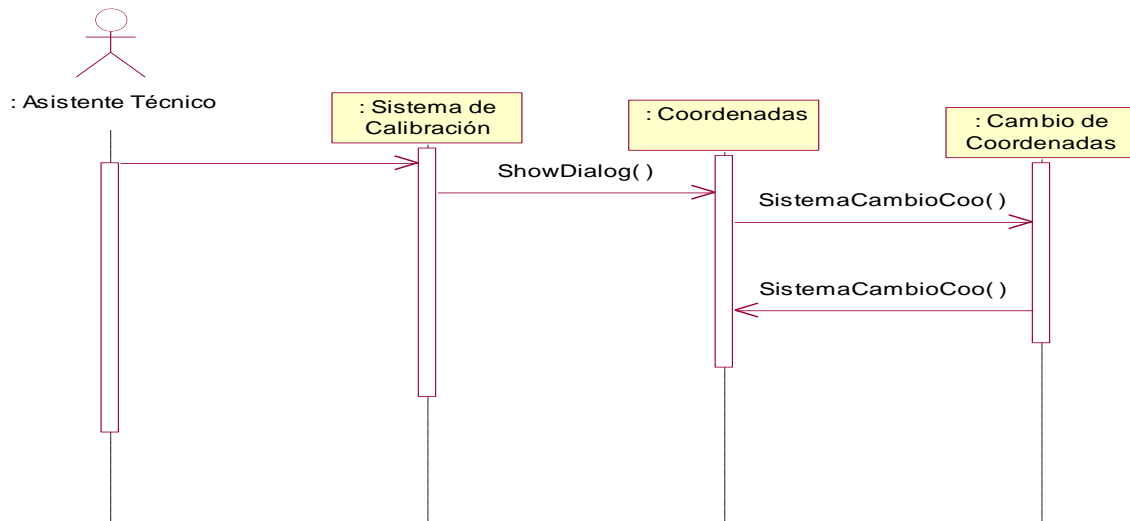


Fig.35: Diagrama de Secuencia " Cambio de coordenada "

3.7.6 Caso de uso: " Cambio Manual "

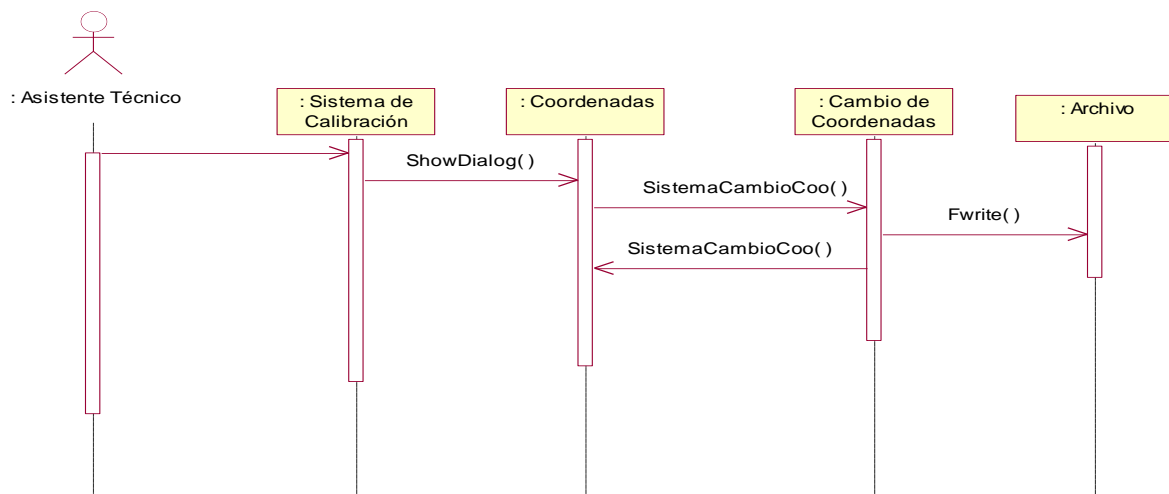


Fig.36: Diagrama de Secuencia " Cambio Manual "

3.7.7 Caso de uso: “Cambio Automático”

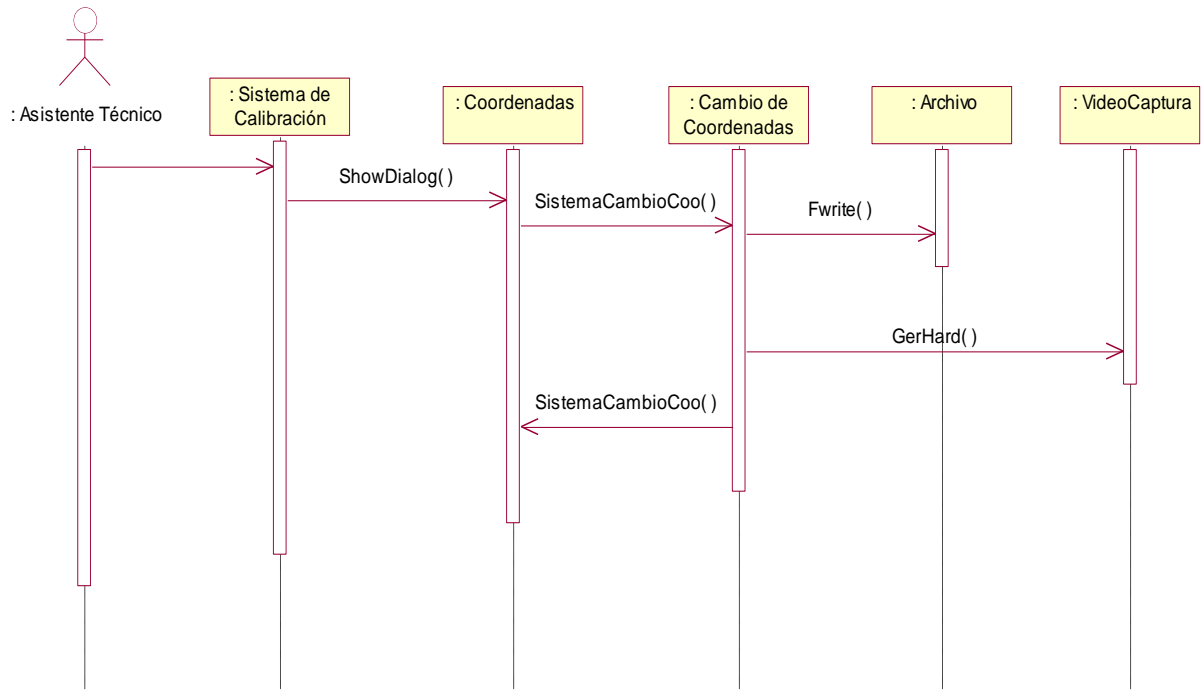


Fig.37: Diagrama de Secuencia” Cambio Automático”

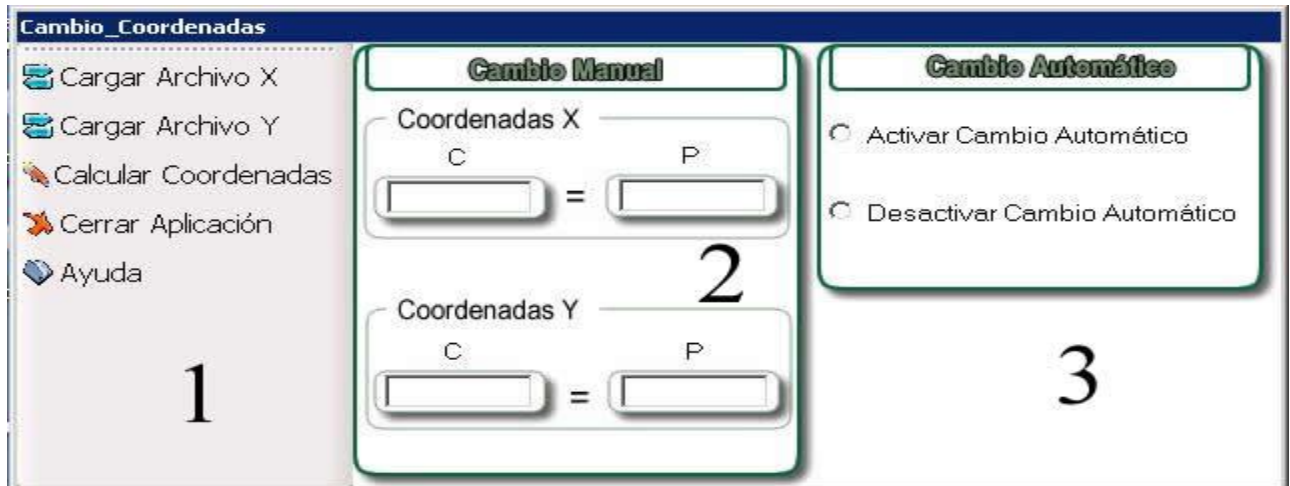


Fig.38: cambio de coordenadas.

Como podemos apreciar, la imagen pertenece a los casos de usos: Cambio de Coordenadas, Cambio Manual y Cambio Automático. Esta parte de la aplicación cuenta con tres áreas fundamentales, la primera y marcada con el numero (1), es el área correspondiente al menú donde el usuario tiene la opción de escoger según la funcionalidad que vaya a realizar. La segunda parte y marcada con el numero (2), representa el cambio de coordenadas manual entre los sistemas de coordenadas de cámara a pantalla. La tercera y ultima parte, marcada por el numero (3), nos permite una vez que este apto el sistema para realizar el ejercicio realizar el cambio de coordenadas automático.

3.1- Implementación del Sistema.

Esta etapa del proyecto constituye el paso del diseño de clases a la creación de componentes físicos, que se traducen en ficheros .cpp correspondiente a la Implementación en C++.

3.8.1 Diagrama de Componentes:

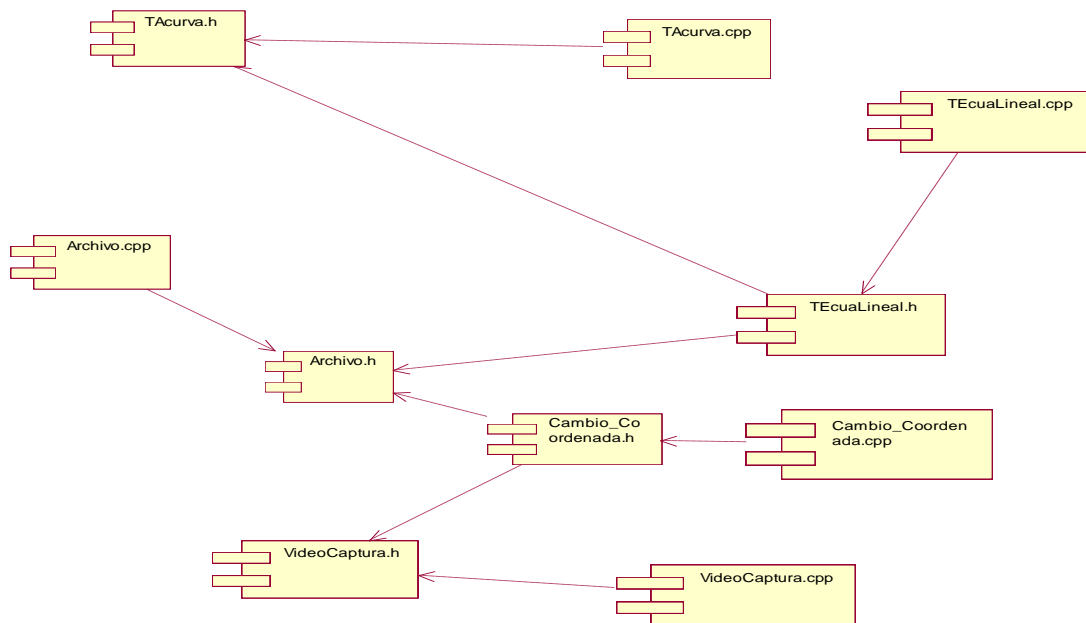


Fig.39: Diagrama de Componentes “Sistema de Calibración”

3.8.2 Modelo de Despliegue

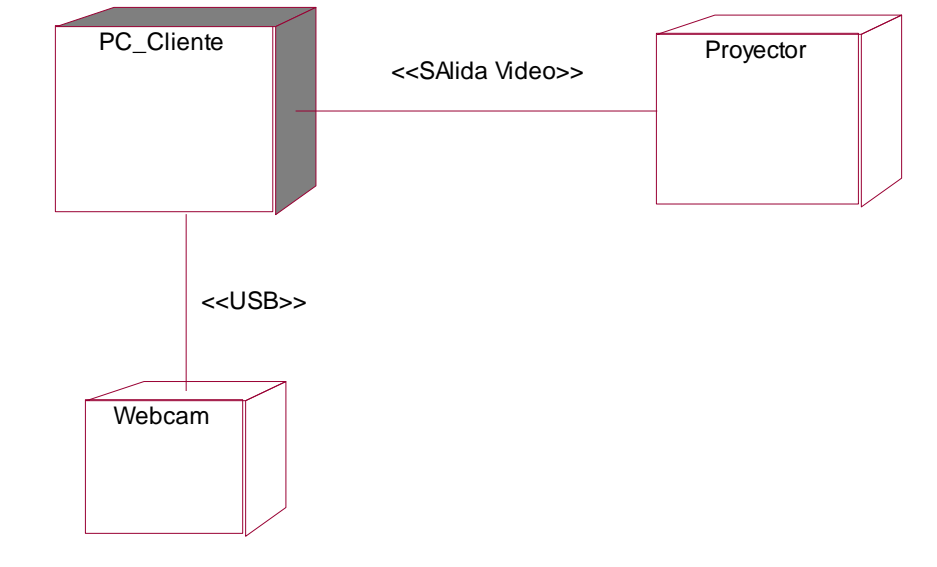


Fig.40: Modelo de Despliegue: "Sistema de Calibración"

CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo propone un procedimiento que permite minimizar y cuantificar los errores que se introducen en la captura del destello láser en el Simulador de Tiro, lo cual se logra con el planteamiento de las soluciones propuestas. Para estos se profundizó en los distintos métodos de calibración existentes, así como el modelado matemático de la distorsión y de cambio de coordenadas, además se propusieron métodos estadísticos para analizar el error. Se hizo una búsqueda de las ciencias que estudian el comportamiento de las imágenes y la información que estas ofrecen con una amplia y confiable bibliografía que nos permitió dar respuesta a las tareas planteadas en los inicios del trabajo.

RECOMENDACIONES

- 1- Se recomienda el uso del presente trabajo, debido a las ventajas que brinda referentes a que propone alternativas que minimizan los errores.
- 2- Continuar el desarrollo de este trabajo para mejorar su funcionamiento y rendimiento con el afán de que mejore en calidad la funcionalidad del Simulador de Tiro, lo cual repercute favorablemente en la preparación con vista a la defensa del país.
- 3- Continuar la investigación y el desarrollo de diferentes métodos de eliminación o compensación de la distorsión, calibración y tratamiento geométrico de imágenes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Re.1-1] -----

Simulador: [Web] [consultado el: 24 de abril de 2007] Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Simulador>

[Re.1-2] -----

NOPTEL aporta eficacia al entrenamiento del tirador profesional [Web] [Consultado el 24 de abril de 2007] Disponible en <http://www.worldsecurity-index.com/details.php?id=160&lang=ES>

[Re.1-3] -----

Presentado en la feria de armamento MVSV-2006 simulador computarizado de Tiro. [Web]: noviembre de 2006 [Consultado el 25 de abril de 2007] disponible en: <http://sp.rian.ru/onlinenews/20060803/52233739.html>

Re.1-4] -----

Coronel Luís Alberto Ponzi. *Sistemas de simulación y entrenamiento* [Web] [Consultado el 23 de abril de 2007], Disponible en: <http://www.rs.ejercito.mil.ar/Contenido/Nro649/Revista/sistemasimulacion htm>

[Re.1-5] -----

El simulador de tiro Láser Shot y el tiro con arco se revelan como los preferidos del público [Web] [Consultado el 26 de abril de 2007], Disponible en: http://www.hoy.es/prensa/20060923/regional/simulador-tiro-laser-shot_20060923.html

[Re.1-6] -----

Josefa García León, Aurora Cuartero Sáez Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Departamento de Expresión Gráfica. Universidad de Extremadura.

Tendencia y recopilación práctica de programas utilizados en estaciones fotogramétricas digitales [publicado en mayo de 2002], [consultado en febrero de 2007], Disponible en: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=284

[Re.1-7] -----

Juan Antonio Pérez Álvarez *Apuntes de fotogrametría III* Universidad de Extremadura [publicado en Mérida, Septiembre de 2001] Disponible en: <http://cum.unex.es/profes/profes/japerez/Apuntes/Apuntes%20de%20Fotogrametr%EDa%20III.pdf>

[Re.1-8] -----

Josep Isern Gonzalez *Estudio experimental de métodos de calibración y autocalibración de cámaras* [publicado en julio de 2003] [Consultado en abril de 2007]: Disponible en: <http://mozart.dis.ulpgc.es/Gias/josep/TesisJosep.pdf>

BIBLIOGRAFIA

Fuente electrónica:

- Lourdes Sánchez Guerrero , *Ajuste de curvas* Disponible en: <http://luda.uam.mx/curso2/tema4/minim02.html#atras>
- WIKIPEDIA, *Ajuste de curvas*; Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Ajuste_de_curvas

- *Método de los mínimos cuadrados. Polinomio aproximador*; Disponible en <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cursoJava/numerico/regresion1/regresion1.htm#Polinomio%20aproximador>
- WIKIPEDIA *Mínimos cuadrados*; Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%ADnimos_cuadrados
- Víctor .J.M y Alexander .S *Métodos lineales y estimación por mínimos cuadrados* Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos16/metodos-lineales/metodos-lineales.shtml>
- Romero Manchado *CALIBRACIÓN DE CÁMARAS NO MÉTRICAS POR EL MÉTODO DE LAS LÍNEAS RECTAS*; Disponible en http://www.mappinginteractivo.com/plantilla.asp?id_articulo=434&titulo=&autor=Romero%20Manchado&contenido=&tipo=avanzado

Tesis:

- Miguel A.T *Reconstrucción confiable superficie usando rango de disparidad adaptivo* Santiago de Chile 1998, Universidad Católica de Chile.
- LUIS ALFREDO M. G *SISTEMA DE VISIÓN PARA EL EQUIPO DE ROBOTS AUTÓNOMOS DEL ITAM*; MÉXICO, D.F. 2004; INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO.

Otros documentos:

- José M. S – Luís M. J *Modelo Proyectivo de Captación de Imágenes*; Universidad Politécnica de Madrid
- Juan Antonio Pérez Álvarez *Apuntes de fotogrametría II* Universidad de Extremadura [publicado en Mérida, Septiembre de 2001] Disponible en: <http://cum.unex.es/profes/profes/japerez/Apuntes/Apuntes%20de%20Fotogrametr%EDa%20II.pdf>

Calculo de los centros

El calculo del centro de la imagen, es uno de los errores que introduce el sistema, y es muy considerable, por lo que se hace necesario su tratamiento, en búsqueda de una solución que permita hacerlo lo mas fiable posible en el uso del simulador de Tiro.

Por estas razones a continuación presentamos una propuesta que puede decrementar en gran medida los efectos negativos al escoger el centro en la imagen. Como anteriormente se ha mencionado cuando se captura la imagen en la cámara esta capta un poco mas de lo que se desea por lo que lo centros no son precisos, a continuación representaremos lo que se quiere decir con lo anterior expresado.



Fig. 1- Captura de la cámara no deseada.

Como se puede apreciar en la figura la imagen consta de dos parte el cuadro blanco es la imagen que se desea capturar y la negra es lo que ha capturado la cámara en realidad, como podemos

apreciar ya el centro no es el de la imagen deseada sino que es el centro de una nueva imagen que no corresponde a lo que se desea esto es un problema actual que afecta decisivamente en la calidad del funcionamiento del Simulador de Tiro de SIMPRO.

Para contrarrestar es efecto nocivo que influye sobre el cambio de coordenadas se propone que al elaborar los entornos virtuales sobre los cuales se realiza el ejercicio se delimite el área del mismo con un color determinado como podemos apreciar en la siguiente figura.

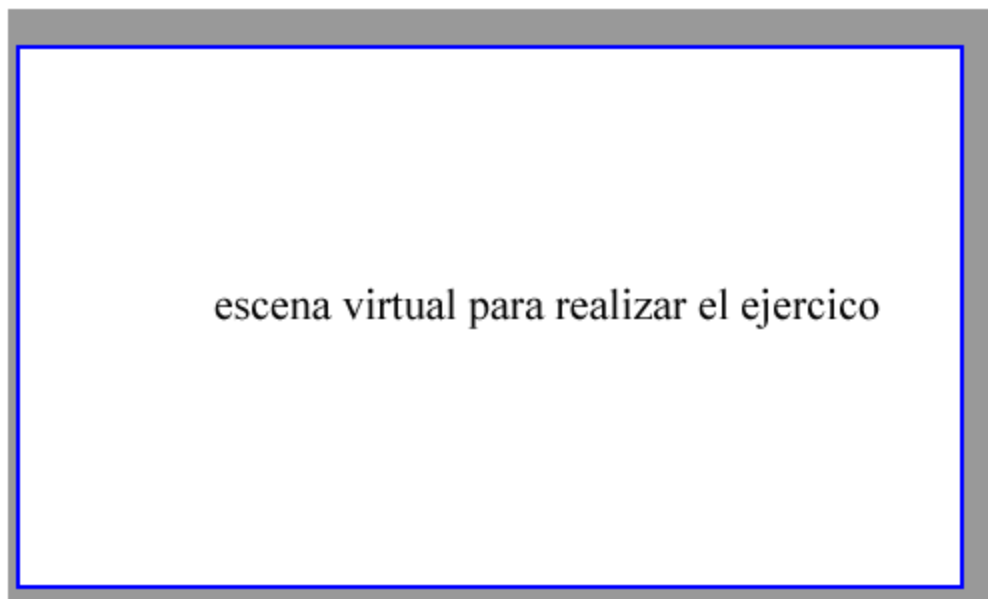


Fig. 2- representación de la delimitación del área importante en la captura.

Aquí como podemos apreciar la escena esta delimitada por un marco azul el cual permite diferenciar el área de las restantes, esto da la posibilidad de utilizar un algoritmo de segmentación de imágenes mediante el cual se pueden calcular los centros como se enuncia a continuación.

Teniendo en cuenta que las cámaras que usa el Simulador de Tiro posee un cristal en la lente para filtrar los colores y obtener una imagen monocromática es aconsejable que el área se

delimite con el color negro para facilitar la búsqueda de la misma. Para esto se plantea usar el método de segmentación de imágenes Basado en Píxeles.

Método basado en Píxeles

Este método de segmentación toma en cuenta solo el valor de gris de un píxel, para decidir si el mismo pertenece o no al objeto de interés. Para ello, se debe encontrar el rango de valores de gris que caracterizan dicho objeto, lo que requiere entonces la búsqueda y el análisis del histograma de la imagen. El objetivo de este análisis, es el de encontrar de una manera óptima los valores característicos de la imagen que establecen la separación del objeto de interés, con respecto a las regiones que no pertenecen al mismo; debido a esta característica y si los valores de gris del objeto y del resto de la imagen difieren claramente, entonces el histograma mostrará una distribución bimodal, con dos máximos distintos, lo que debiera generar, la existencia de una zona del histograma ubicada entre los dos máximos, que no presente los valores característicos, y que idealmente fuera igual a cero, con lo cual se logrará una separación perfecta entre el objeto y la región de la imagen que lo circunda, al establecer un valor umbral ubicado en esta región del histograma. Por lo tanto cada píxel de la imagen, es asignado a una de dos categorías, dependiendo si el valor umbral es excedido o no. Si el valor del histograma ubicado entre los dos máximos, es distinto de cero, las funciones de probabilidad de los valores de gris del objeto y de la región restante, se solaparan, de tal manera que algunos píxeles del objeto deberán ser tomados como pertenecientes a la región circundante y viceversa. Conocida la distribución de la función de probabilidad de los píxel del objeto y de la región circundante, es posible aplicar análisis estadístico en el proceso de buscar un umbral óptimo, con el número mínimo de correspondencias erróneas. Estas distribuciones pueden ser estimadas por histogramas locales, los cuales solamente incluyen las regiones correspondientes de la imagen.

Como se ha mencionado es muy importante declarar un umbral que corresponda al área que se quiere delimitar puesto que esto puede influir decididamente en la aplicación exitosa de este método.

Para realizar este método se propone que se inicie una búsqueda en el píxel (0.0) hasta el último píxel que corresponderá con el tamaño de la imagen (n.m), se ira comparando con el umbral que se halla declarado y se guardarán las coordenadas de los que correspondan al área buscada, una vez llenado el arreglo de coordenada se buscara la menor para cada eje y la mayor para cada eje también por lo que obtendremos un mínimo y un máximo para **X** y un mínimo y un máximo para **Y**, una vez obtenido esto se calcula la diferencia entre ellos para cada eje y este valor se divide entre dos para calcular el centro en cada uno de estos ejes.

$$Xc = Xmax - Xmin / 2$$

$$Yc = Ymax - Ymin / 2$$

Donde **Xc**, **Yc** serán las coordenadas del centro de la imagen que se esta proyectando.

A

Arquitectónicas: Se refiere a construcciones modelada por arquitectos, edificios, parques etc.

Arqueológicos: Se refiere a monumentos de la antigüedad que han sido descubiertos.

Ajuste de curvas: método matemático para aproximar una serie de datos a una curva dada.

B

Blancos virtuales: Persona que representan al enemigo y que solo existen durante el ejercicio.

C

Calibración: Define las condiciones de formación de la imagen.

Cámara incorporada: La cámara esta dentro del proyector, o es parte de el.

Cambio de coordenadas: cambiar las coordenadas entre dos sistemas distintos con diferencias.

Cámara: se refiere a las cámaras usadas por el simulador, en este caso Webcam.

D

Digitalización: proceso que permite la confección de la imagen en formato digital.

Distorsión: Alteración de la vista de una imagen.

F

Fotogrametría terrestre: La imagen esta tomada desde la tierra.

Fotogrametría: Ciencia que estudia como obtener información de la imágenes.

Fotogrametría Digital: Utiliza información de imágenes en formato digital.

Fotogrametría aérea: La imagen es tomada desde un avión.

Fotogrametría espacial: La imagen es tomada desde el espacio por satélites.

Factores de Escala: es la diferencia de pixelado entre la pantalla y la cámara.

M

Modelos matemáticos: formulas y teoremas.

Mundo virtual: Imagen que representa un escenario de guerra.

Matriz de rotación: Una matriz que permite la rotación de un objeto.

O

Ortorectificación: imágenes rectificadas geoméricamente.

Ortorectificación: Rectificación geométrica de la distorsión.

Ortofotografía óptica: A partir de los dispositivos de la fotografía convencional.

Ortofotografía digital: Se parte de imágenes generadas en forma digital.

Origen: Coordenadas (0.0), en un sistema coordenado.

P

Píxel: Mínima unidad de medida que compone la imagen.

Pantalla: Monitor de la computadora.

Punto Principal: Se refiere a los centros de la imagen que capta la cámara.

Parámetros intrínsecos: Define el comportamiento interno de la cámara.

Parámetros extrínsecos: Define el comportamiento externo de la cámara.

S

Sensores: Sistemas dotados para captar imágenes.

Simulador de tiro: Simula el comportamiento de un entrenamiento de tiro.

T

Tratamiento geométrico: Se refiere al tratamiento interno y externos de los parámetros de la cámara que definen su comportamiento.

V

Vector de traslación: Posición de un objeto desplazado a coordenadas.