

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE FÍSICA



**DOSIMETRÍA CON CÁMARA DE IONIZACIÓN EN CAMPOS DE  
MEGAVOLTAJE UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ARCOS DINÁMICOS.  
PROPUESTA DE PROTOCOLO EN TRATAMIENTOS DE CÁNCER DE  
PRÓSTATA**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado por la Lic. Bárbara Yáñez  
Ante la ilustre Universidad Central de Venezuela  
como requisito para optar al Título de  
Licenciada en Física Mención Física Médica.

Caracas, 16 de Diciembre de 2010

## DEDICATORIA

A *Dios* por enseñarme el camino correcto  
guiándome y fortaleciéndome cada día.

A mi *Madre* Judith por brindarme las herramientas  
necesarias para crecer como persona.

A mi *familia* porque ellos siempre confiaron en mi  
y en lo que podría lograr.

A mi *Novio* José, por el amor que me brinda, por su paciencia,  
apoyo incondicional y por creer y confiar en mi potencial.

A la *familia Hernández González*, por su inmenso cariño  
y por convertirse en mí familia.

A mis *amigos (as) y compañeros (as) de la UCV*, por el apoyo  
y motivación que me brindaron durante la carrera.

A mis *amigos (as) de Física Médica*, por su amistad  
y por ayudarme en el desarrollo del trabajo

**Gracias a todos por ayudarme en mi formación profesional  
y por su invaluable amistad.**

## RECONOCIMIENTO

A la *Universidad Central de Venezuela*, a sus profesores y personal administrativo, por guiarme hacia el camino del éxito. Orgullosa de pertenecer al grupo de egresados de la casa que vence las sombras.

A mi tutor *MSc. Jesús Dávila*, por su inmensa amistad y comprensión, en momentos difíciles de mi vida; por brindarnos a los estudiantes de la mención Física Médica la oportunidad de aprender y sobretodo de poner en práctica dichos conocimientos. Gracias por ofrecerme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

A la *Unidad de Radioterapia Oncológica GURVE La Trinidad y La Floresta*, por el apoyo que le brindan a los estudiantes de la mención Física Médica, colocando a su disposición texto, revistas, equipos médicos y tecnología para el fortalecimiento de su aprendizaje; es importante resaltar la colaboración brindada por el personal que labora en ambos servicios, por la comprensión y apoyo que siempre le brindan a los estudiantes.

## AGRADECIMIENTO

A mi novio *José Hernández*

Gracias por apoyarme en todo momento y  
por enseñarme que no importa  
si la vida te da la espalda sin razón,  
lo que importa es mantener la fuerza y la fe,  
para superar ese momento y  
sonreírle a la vida nuevamente.

*Te Amo*

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE FÍSICA

**Dosimetría con Cámara de Ionización en Campos de Megavoltaje  
Utilizando la Técnica de Arcos Dinámicos. Propuesta de Protocolo en  
Tratamientos de Cáncer de Próstata.**

Trabajo Especial de Grado

Autor: Lic. Bárbara Yáñez

Año: 2010

**RESUMEN**

En los últimos años se han observado avances importantes en el tratamiento de radioterapia externa en pacientes con cáncer de próstata, surgiendo desde la Radioterapia Conformada 3D hasta la Radioterapia con Intensidad Modulada, ambas técnicas proponen una excelente distribución de dosis a nivel del lecho prostático evitando así la irradiación de los tejidos sanos adyacentes; sin embargo haciendo uso de la técnica de Arcos Dinámicos le ofrecemos al paciente con cáncer de próstata un tratamiento de calidad exponiéndolo por menos tiempo a la irradiación. La técnica de Arcos Dinámicos nos ofrece un tratamiento isocentrico en el que se observa el movimiento tanto del brazo del acelerador (gantry), como del MLC, el cual cambia su configuración tomando la forma de cada proyección angular de la lesión. El tratamiento de Arcos Dinámicos que presento una mejor distribución de dosis, verificado por medio de un maniquí pélvico, fue el plan constituido por tres (3) arcos; la distribución fue la siguiente: *Arco1* (Start: 285.0, Stop: 83.0), *Arco 2* (Start:125.0, Stop:90.0) y *Arco 3* (Start: 235.0, Stop:270.0).

**Palabras claves:** Radiación, Maniquí pélvico, detectores mosfet, terapia rotacional, colimador multiláminas dinámico, cáncer de próstata.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
RECONOCIMIENTOS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xv
INTRODUCCIÓN	xx
OBJETIVOS	xxii
<b>Capítulo I: Bases Teóricas del Trabajo.</b>	<b>1</b>
1.- Magnitudes Importantes en Radioterapia	1
1.1.- Radioterapia.	1
1.1.1.- Tipos de Radioterapia.	3
1.2.- Magnitudes Físicas.	4
1.2.1.- Radiación.	5
1.2.2.- Radiación Ionizante.	7
1.2.3.- Tipos de Radiación Ionizante.	7
1.2.4.- Energía.	8
1.2.5.- Energía Impartida.	8
1.2.6.- Exposición.	9
1.2.7.- Tasa de Exposición.	10
1.2.8.- Interacción de la Radiación con la Materia.	10
1.3.- Magnitudes Dosimétricas.	14
1.3.1.- Dosis.	14
1.3.2.- Tipos de Dosis.	14
1.3.3.- Porcentaje de Dosis en Profundidad (PDD).	15

1.3.4.- Dosimetría in vitro.	21
1.4.- Terapia Rotacional (Arcos Dinámicos).	21
<b>Capítulo II: Cáncer de Próstata.</b>	<b>23</b>
2.- Magnitudes Oncológicas Importantes Referentes al Cáncer de Próstata.	23
2.1.- Cáncer de Próstata	23
2.1.1.- Ubicación Anatómica de la Próstata	25
2.1.2.- Epidemiología del Cáncer de Próstata	26
2.1.3.- Causas del Cáncer de Próstata	27
2.1.4.- Síntomas del Cáncer de Próstata	28
2.1.5.- Diagnostico del Cáncer de Próstata	29
2.1.6.- Técnicas de Tratamiento para el Cáncer de Próstata	31
2.1.7.- Estadio del Cáncer de Próstata	37
2.1.8.- Clasificación por Estadios del Cáncer de Próstata	39
2.1.9.-Órganos involucrados en el tratamiento radioterapéutico del Cáncer de Próstata	42
<b>Capítulo III: Bases Metodológicas del Trabajo.</b>	<b>45</b>
3.- Bases Metodológicas	45
3.1.- El Servicio	45
3.2.- Instrumentos de Medición	46
3.2.1.- Cámaras de ionización PTW de 0.6cc y de 0.125cc	46
3.2.2.- Maniquí en 3D PTW (MP3 Phantom Tank)	47
3.2.3.- Maniquí Pélvico	48
3.2.4.- Detectores tipo Mosfet	50
3.2.5.- Electrómetro PTW UNIDOS	52
3.3.- Equipos	53
3.3.1.- ACELERADOR CLINAC 2100 VARIAN	53
3.3.2.- Sistema de planificación Eclipse	56

3.3.3.- Colimador Multilaminas y Micromultiláminas	56
3.4.- Metodología	60
3.4.1.- Dosis Entregadas en pacientes con Prostatectomía Radical (Radioterapia Conformada)	61
3.4.2.- Volumen y Diámetro de Próstata en pacientes con Prostatectomía Radical (Radioterapia Conformada)	62
3.4.3.- Dosis planificada en pacientes haciendo uso de la técnica de Arcos Dinámicos.	64
3.4.4.- Calibración de los Mosfet	66
3.4.5.- Preparación del Maniquí	68
3.4.6.- Simulación del Tratamiento	70
3.4.7.- Planificación de la “Dosimetría in Vitro”	71
<b>Capítulo IV: Resultados Experimentales.</b>	74
4.- Resultados Experimentales.	74
4.1.- Estadística de Dosis Entregadas en pacientes con Prostatectomía Radical (Radioterapia Conformada)	75
4.2.- Estadística de Dosis Planificada en pacientes haciendo uso de los Arcos Dinámicos.	79
4.3.- Comparación órgano a órgano de la dosis planificada bajo la técnica de arcos dinámicos.	101
4.4.- Factor de Calibración de los Mosfet	116
4.5.- Aplicación de la Dosimetría in Vitro	119
4.6.- Comparación entre las Dosis Medidas	125
4.7.- Diseño del Protocolo	127
<b>Capítulo V: Análisis y Discusión de Resultados.</b>	129
5.- Análisis y Discusión de Resultados	129
5.1.- Comparación entre las dosis entregadas bajo la técnica de tratamiento conformado y las planificadas bajo la técnica de arcos	129



dinámicos.	
5.2.- Comparación entre las dosis obtenidas en el maniquí pélvico haciendo uso de la técnica de tratamiento de Arcos Dinámicos con potencial de aceleración de 6MV y 23MV.	144
<b>Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones</b>	147
6.1- CONCLUSIONES	147
6.2- RECOMENDACIONES	149
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS	151
GLOSARIO	155
APÉNDICE	158
<b>A</b> Protocolo de Dosimetría en Tratamiento Conformado de Próstata	159
<b>B</b> Pacientes con Prostatectomía Radical (Radioterapia Conformada) Volumen y Diámetro de la Próstata.	160
<b>C</b> Protocolo de Dosimetría en Tratamiento de Próstata con Arcos Dinámicos “Plan Inicial”	161
<b>D</b> Protocolo de Dosimetría en Tratamiento de Próstata con Arcos Dinámicos “1 <sup>era</sup> Reducción”	162
<b>E</b> Protocolo de Dosimetría en Tratamiento de Próstata con Arcos Dinámicos “2 <sup>da</sup> Reducción”	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1:	Componente eléctrica y magnética de la radiación.	5
Figura N° 2:	Efecto Fotoeléctrico	11
Figura N° 3:	Efecto Compton	12
Figura N° 4:	Producción de Pares	13
Figura N° 5:	Importancia de los tres tipos de interacciones principales de la radiación electromagnética con la materia	13
Figura N° 6:	Esquema de el SSD y SAD para determinar el PDD	16
Figura N° 7:	Esquema para determinar PDD	17
Figura N° 8:	Porcentaje de Dosis en Profundidad	18
Figura N° 9:	Dependencia del PDP en Función de la Distancia de la Fuente a la Superficie.	19
Figura N° 10:	Colimador Multilaminas	20
Figura N° 11:	Anatomía del sistema reproductor y el sistema urinario masculino, muestra la próstata, los testículos, la vejiga y otros órganos.	25
Figura N° 12:	Paciente posicionado para braquiterapia	33
Figura N° 13:	Paciente posicionado para radioterapia.	33
Figura N° 14:	Etapas del cáncer de próstata a partir de lo que sería el estadio cero o normal	39
Figura N° 15:	Estructura de la cámara de ionización	47
Figura N° 16:	Cámara Farmer	47
Figura N° 17:	Camara semiflex	47
Figura N° 18:	Maniquí en 3D (MP3 PTW)	48
Figura N° 19:	Estructura básica de Detectores tipo Mosfet	51
Figura N° 20:	Estructura mosfet tipo P y tipo N	51
Figura N° 21:	Detectores tipo Mosfet	52

Figura N° 22:	Electrómetro PTW UNIDOS	53
Figura N° 23:	ACELERADOR CLINAC 2100 VARIAN	54
Figura N° 24:	ESTRUCTURA ACELERADOR CLINAC 2100 VARIAN	55
Figura N° 25:	ESTRUCTURA ACELERADORA	55
Figura N° 26:	Colimador Multiláminas (vista lateral)	57
Figura N° 27:	Colimador Multiláminas (vista anterior)	58
Figura N° 28:	Esquema de una lámina de extremo curvo (Varian)	59
Figura N° 29:	Esquema genérico de un sistema de colimación de fotones con las mandíbulas superior e inferior, colimador terciario y láminas.	59
Figura N° 30:	Detectores Mosfet	67
Figura N° 31:	Condiciones de referencia para determinar Factor de Calibración de los Mosfet	67
Figura N° 32:	Dosis absorbida utilizando cámara de ionización 0.6cc tipo FARMER de la PTW	68
Figura N° 33:	Cortes del Maniquí	69
Figura N° 34:	Maniquí Construido	69
Figura N° 35:	Simulación Del Tratamiento	70
Figura N° 36:	Marcadores radiopacos y fiduciaros	72
Figura N° 37:	Planificación com técnica de Arco dinámicos	72
Figura N° 38:	Posicionamiento Maniquí	73
Figura N° 39:	Histograma Dosis Volumen: Plan Conformado Tratamiento Inicial	77
Figura N° 40:	Histograma Dosis Volumen: Plan Conformado <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	78
Figura N° 41:	Histograma Dosis Volumen: Plan Conformado <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	78
Figura N° 42:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 0	91

Figura N° 43:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 1	91
Figura N° 44:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 2	92
Figura N° 45:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 3	92
Figura N° 46:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 4	93
Figura N° 47:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 5	93
Figura N° 48:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 6	94
Figura N° 49:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 7	94
Figura N° 50:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 8	95
Figura N° 51:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 9	95
Figura N° 52:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 10	96
Figura N° 53:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 0	96
Figura N° 54:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 1	97
Figura N° 55:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 2	97
Figura N° 56:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 3	98
Figura N° 57:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 4	98
Figura N° 58:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 5	99
Figura N° 59:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 6	99
Figura N° 60:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 7	100
Figura N° 61:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 8	100
Figura N° 62:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 9	101
Figura N° 63:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 10	101
Figura N° 64:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 0	102
Figura N° 65:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 1	102
Figura N° 66:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 2	103
Figura N° 67:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 3	103
Figura N° 68:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 4	104
Figura N° 69:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 5	104
Figura N° 70:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 6	105

Figura N° 71:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 7	105
Figura N° 72:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 8	106
Figura N° 73:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 9	106
Figura N° 74:	Histograma Dosis Volumen Plan Arco 10	107
Figura N° 75:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Recto (Plan Inicial)	108
Figura N° 76:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Recto ( <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i> )	108
Figura N° 77:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Recto ( <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i> )	108
Figura N° 78:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Vejiga (Plan Inicial)	109
Figura N° 79:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Vejiga ( <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i> )	109
Figura N° 80:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Vejiga ( <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i> )	110
Figura N° 81:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Próstata (Plan Inicial)	110
Figura N° 82:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Próstata ( <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i> )	111
Figura N° 83:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Próstata ( <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i> )	111
Figura N° 84:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Asas Intestinales (Plan Inicial)	112
Figura N° 85:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Asas Intestinales ( <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i> )	112
Figura N° 86:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Asas Intestinales ( <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i> )	113

Figura N° 87:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Vesículas Seminales (Plan Inicial)	113
Figura N° 88:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Vesículas Seminales ( <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i> )	114
Figura N° 89:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Vesículas Seminales ( <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i> )	114
Figura N° 90:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Bulbo Del Pene (Plan Inicial)	115
Figura N° 91:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Bulbo Del Pene ( <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i> )	115
Figura N° 92:	Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Bulbo Del Pene ( <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i> )	116
Figura N° 93:	Posicionamiento Del Maniquí	126
Figura N° 94:	Plan de Tratamiento “ARCO 5”	143
Figura N° 95:	Ubicación de los Mosfet	146

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1:	Revista Venezolana de Oncología (2006)	26
Tabla N° 2:	Clasificación TNM	41
Tabla N° 3:	Características Plan conformado	62
Tabla N° 4:	Volumen y Diámetro de Próstata (Grupo N° 1 y N° 2)	63
Tabla N° 5:	Volumen y Diámetro de Próstata (Grupo N° 3 y N° 4)	63
Tabla N° 6:	Planes de Tratamiento con la Técnica de Arcos Dinámicos	65
Tabla N° 7:	Condiciones de referencia	67
Tabla N° 8:	Dosis en pacientes Radioterapia Conformada “Plan Inicial”	75
Tabla N° 9:	Dosis en pacientes con Radioterapia Conformada “1 <sup>ERA</sup> Reducción”	76
Tabla N° 10:	Dosis en pacientes con Radioterapia Conformada “2 <sup>DA</sup> Reducción”	76
Tabla N° 11:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 0” Plan Inicial	79
Tabla N° 12:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 1” Plan Inicial	80
Tabla N° 13:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 2” Plan Inicial	80
Tabla N° 14:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 3” Plan Inicial	80
Tabla N° 15:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 4” Plan Inicial	81
Tabla N° 16:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 5” Plan Inicial	81
Tabla N° 17:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	81

	“Plan Arco 6” Plan Inicial	
Tabla N° 18:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 7” Plan Inicial)	82
Tabla N° 19:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 8” Plan Inicial)	82
Tabla N° 20:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 9” Plan Inicial	82
Tabla N° 21:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 10” Plan Inicial	83
Tabla N° 22:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 0” <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	83
Tabla N° 23:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 1” <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	83
Tabla N° 24:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 2” <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	84
Tabla N° 25:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 3” <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	84
Tabla N° 26:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 4” <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	84
Tabla N° 27:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 5” <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	85
Tabla N° 28:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 6” <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	85
Tabla N° 29:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 7” <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	85
Tabla N° 30:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos “Plan Arco 8” <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	86
Tabla N° 31:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	86



	“Plan Arco 9” <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 32:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	86
	“Plan Arco 10” <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 33:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	87
	“Plan Arco 0” <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 34:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	87
	“Plan Arco 1” <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 35:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	87
	“Plan Arco 2” <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 36:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	88
	“Plan Arco 3” <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 37:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	88
	“Plan Arco 4” <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 38:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	88
	“Plan Arco 5” <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 39:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	89
	“Plan Arco 6” <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 40:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	89
	“Plan Arco 7” <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 41:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	89
	“Plan Arco 8” <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 42:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	90
	“Plan Arco 9” <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 43:	Dosis en pacientes con Arcos Dinámicos	90
	“Plan Arco 10” <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i>	
Tabla N° 44:	Lecturas cámara 0.6cc tipo FARMER para 6MV	116
Tabla N° 45:	Lecturas cámara 0.6cc tipo FARMER para 23MV	117
Tabla N° 46:	Kpt, Kref y la Dosis de referencia para 6MV	117

Tabla N° 47:	Kpt, Kref y la Dosis de referencia para y 23MV	117
Tabla N° 48:	Calibración Mosfet 6MV	118
Tabla N° 49:	Calibración Mosfet 23MV	118
Tabla N° 50:	Cálculo Factor de Calibración 6MV	119
Tabla N° 51:	Cálculo Factor de Calibración 23MV	119
Tabla N° 52:	Lecturas Mosfet PLAN INICIAL 6MV	120
Tabla N° 53:	Lecturas Mosfet 1 <sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 6MV	121
Tabla N° 54:	Lecturas Mosfet 2 <sup>DA</sup> REDUCCIÓN 6MV	121
Tabla N° 55:	Promedios Lecturas PLAN INICIAL 6MV	122
Tabla N° 56:	Promedios Lecturas 1 <sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 6MV	122
Tabla N° 57:	Promedios Lecturas 2 <sup>DA</sup> REDUCCIÓN 6MV	122
Tabla N° 58:	Lecturas Mosfet PLAN INICIAL 23MV	123
Tabla N° 59:	Lecturas Mosfet 1 <sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 23MV	123
Tabla N° 60:	Lecturas Mosfet 2 <sup>DA</sup> REDUCCIÓN 23MV	123
Tabla N° 61:	Promedios Lecturas PLAN INICIAL 23MV	124
Tabla N° 62:	Promedios Lecturas 1 <sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 23MV	124
Tabla N° 63:	Promedios Lecturas 2 <sup>DA</sup> REDUCCIÓN 23MV	125
Tabla N° 64:	Dosis Mosfet PLAN INICIAL 6MV	125
Tabla N° 65:	Dosis Mosfet 1 <sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 6MV	125
Tabla N° 66:	Dosis Mosfet 2 <sup>DA</sup> REDUCCIÓN 6MV	126
Tabla N° 67:	Dosis Mosfet PLAN INICIAL 23MV	126
Tabla N° 68:	Dosis Mosfet 1 <sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 23MV	126
Tabla N° 69:	Dosis Mosfet 2 <sup>DA</sup> REDUCCIÓN 23MV	127
Tabla N° 70:	Esquema del Plan de Tratamiento	128
Tabla N° 71:	Comparación de Dosis obtenidas en los planes conformado y arcos dinámicos (Plan Inicial)	130
Tabla N° 72:	Comparación de Dosis obtenidas en los planes conformado y arcos dinámicos (1 <sup>ERA</sup> Reducción)	135

Tabla N° 73:	Comparación de Dosis obtenidas en los planes conformado y arcos dinámicos ( <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i> )	139
Tabla N° 74:	Esquema del Plan de Tratamiento “ARCO 5”	142
Tabla N° 75:	Comparación entre dosis Plan Conformado y Arco 5 (Plan Inicial)	143
Tabla N° 76:	Comparación entre dosis Plan Conformado y Arco 5 ( <i>1<sup>ERA</sup> Reducción</i> )	144
Tabla N° 77:	Comparación entre dosis Plan Conformado y Arco 5 ( <i>2<sup>DA</sup> Reducción</i> )	144

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el cáncer de próstata es el sexto cáncer más común en hombres, en cuanto a incidencia e importancia. En la actualidad éste resulta un verdadero problema de salud pública ya que es el tumor maligno más frecuente y la segunda causa de muerte por cáncer en los hombres. Venezuela no escapa de esta afectación mundial, así como lo expresa la Revista Venezolana de Oncología en el año 2006, para la fecha se registraban en el país más de 1700 casos de pacientes con cáncer de próstata.

En los últimos años se han observado avances importantes en el tratamiento de radioterapia externa en pacientes con cáncer de próstata, la ganancia terapéutica esperada hace que se requiera una mayor precisión en los tratamientos radioterapéuticos. En tal sentido nuevas tecnologías en radioterapia externa como son la Radioterapia con Intensidad Modulada, y técnicas un poco más antiguas como Radioterapia Conformada 3D, proponen ambas, una mejor distribución de dosis a nivel del lecho prostático evitando así la irradiación de los tejidos sanos adyacentes comparado con la Radioterapia Convencional.

Aunque los tratamientos de Radioterapia Conformada 3D y la Radioterapia con Intensidad Modulada representan tratamiento de calidad en los pacientes con cáncer de próstata, y si bien es cierto que la técnica de radioterapia es bastante eficaz en el tratamiento de cáncer de próstata, no es menos cierto que la tecnología avanza a pasos agigantados día a día, es cuando, resulta obligatorio interrogarnos si ¿Puede existir una técnica de arcos dinámicos que le brinde a estos pacientes otra técnica de tratamiento

manteniendo la calidad de los tratamientos anteriores? Esta interrogante la respondemos en el presente trabajo.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL:

Realizar el comisionamiento del sistema (colimador y sistema de planificación) para proponer una técnica de terapia rotacional con colimador multiláminas en tratamientos de pacientes con cáncer de próstata, luego de prostatectomía radical.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1 Diseño, construcción y utilización de maniquí pélvico.
- 2 Utilización de cámara de ionización de 0.6cc y detectores tipo mosfet en maniquí pélvico para comprobación de dosis entregada.
- 3 Evaluar la dosimetría in vitro en campos con arcos dinámicos.
- 4 Implementación de la técnica de terapia rotacional en pacientes con cáncer de próstata.
- 5 Uso, características e implementación del colimador multilaminas en terapia rotacional.

# Capítulo I

## Bases Teóricas del Trabajo

### 1.- Magnitudes Importantes en Radioterapia

Este capítulo tiene como finalidad, argumentar nuestro estudio en base a: la literatura revisada, referente a las magnitudes físicas y dosimétricas relacionados con la radioterapia, necesaria para comprender y ampliar un poco más dicho tema, e igualmente sobre técnicas de tratamiento innovadoras.

#### 1.1.- Radioterapia

La radioterapia, también llamada *terapia de radiación* es una técnica basado en el empleo de radiaciones ionizantes (rayos X, rayos gamma y las partículas alfa). Dicha técnica consiste en la administración de radiación a las células tumorales, (generalmente cancerígenas); la radiación actúa sobre el tumor, destruyendo las células malignas y así impide que crezcan y se reproduzcan, otorgando la dosis necesaria a las células tumorales y protegiendo los tejidos sanos adyacentes a la lesión.

La radioterapia es una especialidad eminentemente clínica aplicada desde 1901 luego del descubrimiento de los rayos X por Roentgen en 1895 y del radium y polonio por los esposos Curie en 1898. Con el transcurrir de los años se han estudiado las diversas formas de radiación y se han mejorado

las técnicas y los procedimientos para brindar una mayor seguridad y efectividad en los tratamientos al paciente, esta selección dependerá del tipo de tumor, de su tamaño, de su localización y de lo avanzado del mismo.<sup>(24)</sup>

Los objetivos de este tratamiento radioterapéutico son: Radical o Curativo en la que se busca la curación del paciente, Paliativo en la que se busca frenar el crecimiento tumoral y controlar o aliviar los posibles síntomas como pueden ser dolor, sangrado, etc.

Sin embargo esta se puede dar de manera *Complementaria* también llamada *Radioterapia Adyuvante* cuya finalidad es curativa, y se le llama así cuando es utilizada para disminuir el volumen tumoral antes de la cirugía (preoperatoria) o para destruir la enfermedad residual después de la cirugía (postoperatoria), es decir, como complemento de un tratamiento primario o principal, generalmente la cirugía y la otra manera de suministrar la radiación es de forma *Simultánea* también llamada *Radioterapia Concomitante* o concurrente cuya finalidad es curativa, y se le llama así cuando se suministra de manera concurrente la radioterapia y la quimioterapia con la finalidad de potenciar el efecto de ambas técnicas terapéuticas.

Los diversos tipos de cáncer reaccionan a la radiación de forma diferente, por lo tanto, las características de los tratamientos de radioterapia van a depender del tipo de cáncer que se va a tratar; estos tratamientos se pueden administrar en una dosis única (un solo día) cuya finalidad es mayormente paliativa y en dosis fraccionadas donde el número total de sesiones varía en función de la dosis total que es necesaria según el protocolo seguido para cada patología, este tiempo de tratamiento puede variar entre 2 y 8 semanas, ejecutando una sesión por día, la cual dura entre 5 a 10 minutos, este tratamiento es mayormente curativo.

El tratamiento de un paciente radioterapéutico está compuesto por una serie de procesos entre los cuales intervienen el diagnóstico y



localización del tumor, por medio de los diversos métodos de diagnóstico por imágenes (Tomografía Axial Computarizada “TAC”, Imágenes de Resonancia Magnética “IRM”, etc.), y la decisión sobre la estrategia de tratamiento, por parte del médico oncólogo; los sistemas de inmovilización, el cual garantiza el éxito y la efectividad de la reproducibilidad de la radioterapia; la planificación, el cálculo y fraccionamiento de dosis absorbida, la administración del tratamiento, basado en los beneficios de reparación, reoxigenación, redistribución y repoblación celular; la verificación de la dosis impartida, y la evaluación de resultados a corto y a largo plazo, intentando minimizar las complicaciones originadas por la irradiación de tejidos normales.<sup>(10)</sup>

### **1.1.1.- Tipos de Radioterapia**

La técnica de radioterapia usada depende en el tipo, la extensión y el lugar del cáncer y la finalidad del tratamiento. Los avances tecnológicos en radioterapia nos permiten obtener una mayor eficacia en los tratamientos, lo cual permite dar mayor dosis a las células tumorales, (generalmente cancerígenas) evitando la sobredosis de los órganos sanos adyacentes al tumor; proporcionando menor toxicidad y un mejor control local de la enfermedad, con respecto al cáncer de próstata, tenemos las siguientes técnicas:

- 1 *Radioterapia Conformada en 3D:* Esta técnica mejora la colimación alrededor del volumen de tratamiento. En la Radioterapia Conformada se utiliza la reconstrucción tridimensional de la anatomía interna del paciente (obtenida generalmente a partir de una Tomografía Axial Computarizada) para diseñar un esquema de

tratamiento que permita concentrar la dosis al volumen tumoral, disminuyendo la dosis en los tejidos sanos circundantes y por tanto la toxicidad. En el tratamiento del cáncer de próstata la técnica incluye 6 campos coplanares (campos laterales derecho e izquierdo y dos pares de campos oblicuos opuestos, colocados a 35° de los campos laterales). Todos los campos son conformados utilizando bloques de cerrobend o por medio de los colimadores multiláminas (MLC).

- 2 Radioterapia de Intensidad Modulada: Esta técnica mejora la distribución de dosis producida por múltiples campos. El concepto de radioterapia de intensidad modulada (IMRT), es una técnica compleja de radioterapia tridimensional; apareció a comienzos de los años 80, ha sido la mayor innovación en terapias por radiación sin embargo, su verdadera transformación en una tecnología clínica necesitó de desarrollos paralelos en controles de software, accesorios de hardware y adquisición de imágenes de diagnóstico, que permitieran modificar la intensidad de todos y cada uno de los sub-haces que componen un haz de radiación. El concepto de radioterapia de intensidad modulada (IMRT) se refiere a una técnica radioterapéutica en la que se utilizan haces de intensidad no uniforme, con la finalidad de optimizar la distribución de la dosis y conformarla lo más posible al volumen blanco y poder así administrar una dosis adecuada al tumor otorgando menos dosis en los tejidos sanos adyacentes a la lesión en los tratamientos de cáncer de próstata.

## **1.2.- Magnitudes Físicas**

Se describirán en esta sección términos físicos relacionados con la radioterapia como lo son la radiación, la radiación ionizante, tipos de

radiación ionizante, energía, tipos de energía, exposición, tasa de exposición, interacción de la radiación con la materia describiendo los tres efectos importantes como lo son el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y la producción de pares.

### 1.2.1.- Radiación

La radiación se define como la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o de partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material. La radiación propagada en forma de ondas electromagnéticas, llamada *radiación electromagnética*, están constituidas por ondas tridimensionales y transversales que oscilan perpendiculares entre sí, compuestas por campos eléctricos ( $\vec{E}$ ) y magnéticos ( $\vec{B}$ ). La llamada *radiación corpuscular*, es la radiación asociada con partículas subatómicas (partículas más pequeñas que el átomo), las cuales lo constituyen por ejemplo los electrones, los protones, los neutrones; también entre estas partículas tenemos a las partículas alfa.<sup>(2)</sup>

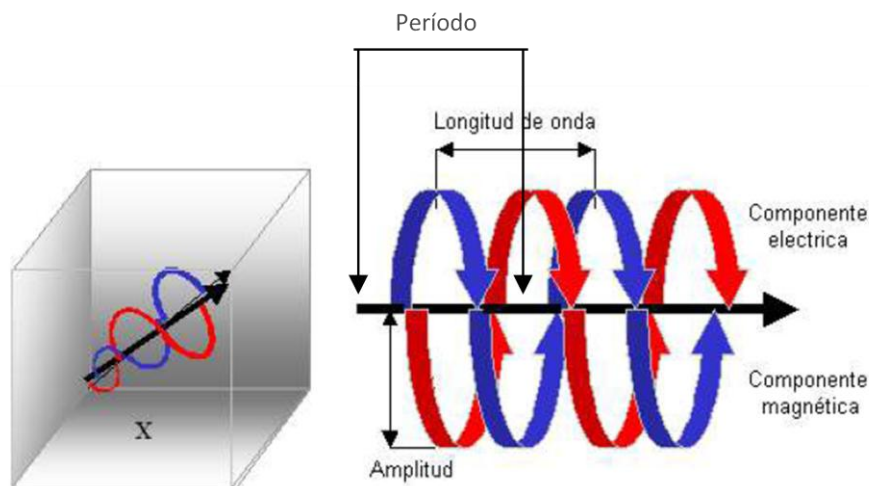


Figura N° 1: Componente eléctrica y magnética de la radiación.

Al hablar de radiación debemos considerar los siguientes parámetros:

- ♦ La longitud de onda ( $\lambda$ ): Es la distancia entre dos máximos consecutivos de la onda. Se mide en metros ( $m$ ) pero también es muy común el uso del Ångstrom ( $1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ )
- ♦ La frecuencia ( $\nu$ ): Es el número de máximos que pasan por un punto en un tiempo determinado. Se mide en hertz (Hz), donde 1Hz es 1ciclo/segundo. Es importante saber que su inverso es el período (T).
- ♦ El período (T): Período. Es el tiempo requerido para completar un ciclo.
- ♦ La amplitud (A): Es la distancia que hay entre el punto de inflexión de la onda y el máximo.
- ♦ La velocidad de la luz (c): la cual tiene un valor aproximado de  $3 \times 10^{10}$  cm/seg.

Para las cuales se cumplen las siguientes expresiones:

$$\lambda = c / \nu \quad \text{ó} \quad \lambda = c \cdot T$$

Sin embargo Max Planck encontró que la relación entre la energía de la radiación electromagnética y su frecuencia viene dada por la expresión:  $E=h \cdot \nu$ ; donde  $E$  sería la energía del fotón,  $\nu$  la frecuencia de la radiación y  $h$  la constante de Planck=  $6.6254 \times 10^{-34}$  J.seg.

En el concepto de radiación se incluyen, desde la luz visible a las ondas de radio y televisión (*radiaciones no ionizantes*), hasta la luz ultravioleta a los rayos X (*radiaciones ionizantes*). La radiación ionizante y no ionizante depende de la capacidad que posea dicha radiación para ionizar la materia. La radiación ionizante consigue ionizar la materia de manera directa o indirectamente, mientras que la radiación no ionizante no puede ionizar la materia.<sup>(18)</sup>

### 1.2.2.- Radiación Ionizante

La radiación ionizante se da cuando la radiación transporta energía suficiente como para provocar ionización en el medio que atraviesa, es decir ionizan los átomos, desplazando los electrones de sus órbitas.

Esta radiación se origina para frecuencias muy altas y sus características principales son: sus niveles de energía se incrementan con sus altas frecuencias, sus longitudes de ondas son pequeñas y las más importante es que tienen la capacidad para "ionizar" medios.

### 1.2.3.- Tipos de Radiación Ionizante

- 1 *Radiación Directamente Ionizante:* En la radiación directamente ionizante nos referimos a partículas cargadas (*electrones, protones, las partículas e iones pesados*).<sup>(18)</sup>

Una partícula cargada, en presencia de un campo de fuerza eléctrica coulombiana, interactúan con uno o más electrones, ó también con los núcleos de los átomos que están en su recorrido; la interacción entre el electrón incidente y los electrones orbitales del material, son los que dan como resultado la ionización y excitación de los átomos. Estas partículas tiene la propiedad de inducir gran cantidad de ionización y excitación durante todo su recorrido.<sup>(19)</sup>

- 2 *Radiación Indirectamente Ionizante:* En la radiación indirectamente ionizante nos referimos a partículas neutras (*fotones: rayos X y rayos  $\gamma$  y los neutrones*).<sup>(18)</sup>

La radiación indirectamente ionizante deposita energía en el medio con un proceso de dos etapas: a) En el primer paso una partícula cargada entra en un medio (los fotones eyectan electrones o los

positrones, neutrones eyectan los protones o iones más pesados), b) En el segundo paso las partículas cargadas eyectadas deposita energía al medio con interacciones directas coulombianas con los electrones orbitales de los átomos en el medio. Está formada por las ondas electromagnéticas de alta energía que excitan a los electrones de los átomos, siendo estos los que ionizan a otros átomos.<sup>(18)</sup>

#### **1.2.4.- Energía**

La energía ( $E$ ) es una magnitud escalar que se encuentra incluida en cualquier sistema físico, que se caracterice por la realización de un trabajo. La energía puede ser constante en un sistema físico, aunque dependiendo de las características de éste la energía puede variar.

#### **1.2.5.- Energía Impartida**

Uno de los problemas centrales de la dosimetría de radiaciones ionizantes es la determinación de la energía impartida promedio por un campo de radiación, como función del tiempo y del espacio, por unidad de masa del objeto irradiado. Tal energía, en el caso de un campo primario de fotones, se imparte en dos etapas: en la primera los rayos x transfieren su energía al átomo liberando una partícula cargada (generalmente un electrón), en la segunda, el electrón disipa su energía cinética a lo largo de su trayectoria por múltiples colisiones con los átomos y electrones atómicos, al interactuar con el núcleo de los átomos. En la primera etapa se da origen a un flujo de electrones (que llamaremos primarios) del medio irradiado, puestos en movimiento desde energía cero hasta una energía máxima igual a la energía máxima de la radiación incidente. En la segunda etapa,

electrones de esta fluencia espectral entregan parte o toda su energía inicial al medio mediante colisiones con electrones del mismo medio, fenómeno que da origen a una segunda avalancha de electrones llamados “electrones secundarios”, los cuales a su vez pueden depositar su energía al medio. Por lo tanto, esta energía impartida es caracterizada por la fluencia espectral total de los electrones.

La energía impartida por la radiación ionizante a la materia contenida en un volumen dado denotada por “ $\epsilon$ ” y se define como la suma de las energías de las partículas ionizantes, cargadas o no cargadas que llegan al volumen irradiado (sus unidades son el Joule/Kg a esta unidad se le denomina Gray (Gy)):<sup>(11)</sup>

$$\epsilon = \sum_i \epsilon_i$$

### 1.2.6.- Exposición

La exposición es la cantidad de radiación que expresa la concentración de la radiación entregada a un punto específico, como la superficie del cuerpo humano.

La exposición se determina de una forma muy práctica, el procedimiento consiste en exponer a un pequeño volumen de aire contenida en una cámara de ionización a la radiación y medimos la cantidad de ionización que se produce en el aire; esta medida se realiza por medio de un electrómetro. La exposición caracteriza el poder ionizante en aire de fotones. La unidad antigua de medida es el Röentgen (R), la cual se define como la cantidad de ionización producida en una determinada cantidad de aire.

Se define la exposición como una magnitud que representa la carga total  $dQ$ , de los iones producidos en aire, cuando todos los electrones

liberados por los fotones en un elemento de masa  $dm$ , sean detenidos por completo en el aire.<sup>(22)</sup>

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

$$1 \text{ C / Kg} = 3876 \text{ R}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C / Kg}$$

### 1.2.7.- Tasa de Exposición

La tasa de exposición será la variación temporal de la exposición en un punto<sup>(22)</sup> (es el cociente entre el incremento de exposición  $dX$  en un intervalo de tiempo  $dt$ ).<sup>(11)</sup>. La unidad de medida es el Culombio/Kilogramo\*segundo (C/Kg\*seg). Como sabemos la unidad antigua es el Röentgen / segundo (R/seg).

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}$$

### 1.2.8.- Interacción de la Radiación con la Materia

Se entiende por materia todo aquello que se encuentra en el universo y que tiene masa en reposo, la materia está constituida por moléculas que a su vez está constituido por átomos, recordando que un átomo es la unidad menor de un elemento que tiene existencia propia, mantiene su identidad o sus propiedades y se considera indivisible. El átomo está constituido por una parte central en donde se concentra casi toda la masa atómica, denominada núcleo de carga positiva constituido por protones y neutrones, los cuales vinculado son conocidos como nucleones, alrededor de éstos se encuentra una envoltura externa (nube de electrones) denominada corteza atómica, de la que dependen las propiedades químicas.



La radiación ionizante interactúa con los núcleos y los electrones orbitales de la materia con una probabilidad de ocurrencia que depende del tipo y energía de la radiación, así como también de la naturaleza de la materia.

Los mecanismos de interacción que prevalecen para energías de algunas decenas de keV y aproximadamente 10 MeV son tres, dependiendo el predominio de cada uno de ellos del material absorbente y de la energía de la radiación. Estos mecanismos son:

- ♦ **Efecto Fotoeléctrico:** la interacción del fotón incide con la nube electrónica del átomo en el que es totalmente absorbido emergiendo un electrón, denominado “fotoelectrón”. La energía del fotón es absorbida completamente por el electrón eyectado del átomo en forma de energía cinética. Este efecto predomina para bajas energías de los rayos – x y es absorbida fuertemente por materiales de Z alto. Domina a baja energía ( $E < 100 \text{ KeV}$ ).

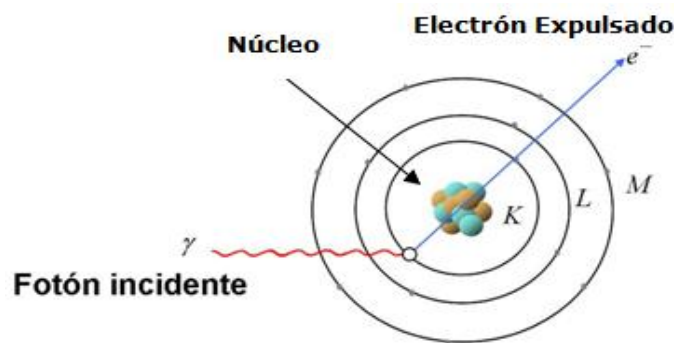


Figura N° 2: Efecto Fotoeléctrico

- ♦ **Efecto Compton:** es una colisión elástica entre el fotón incidente y un electrón atómico, el que se supone libre por ser la energía del fotón mucho mayor que la de unión del electrón. El fotón incidente cede parte de su energía al electrón expulsado, reteniendo el resto de ésta

y cambiando su dirección inicial. Es casi independiente del  $Z$  del medio absorbente y disminuye al aumentar la energía, este mecanismo de interacción prevalece, en general, para fotones cuyas energías están comprendidas entre 0,5 y 10MeV. Domina a energías intermedias ( $E=1\text{MeV}$ ).

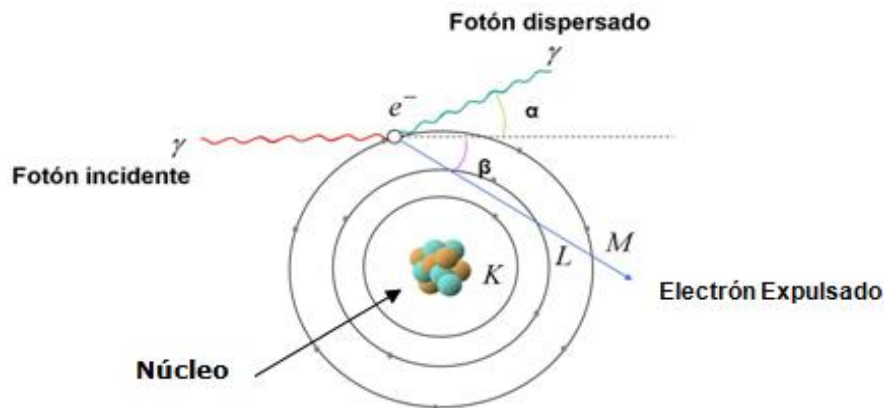


Figura N° 3: Efecto Compton

- ◆ **Producción de Pares:** El fotón tiene suficiente energía e interactúa con el campo eléctrico del núcleo, creando dos partículas, es decir, Cuando el fotón incidente tiene energía superior a 1,02MeV, es posible que al pasar por las proximidades de un núcleo desaparezca, y en su lugar la energía se haya transformado en un electrón y en un positrón. El positrón al final de su trayecto forma un positronio y luego se aniquila produciéndose dos fotones de aniquilación, de 0.51MeV cada uno; por lo que la masa en reposo de cada una de estas partículas es 0,511MeV, y la energía cinética que comparten será la energía del fotón incidente menos 1,02MeV. Ambas partículas se comportan como partículas beta, interactuando en forma directa. Domina a alta energía ( $E>10\text{ MeV}$ ).

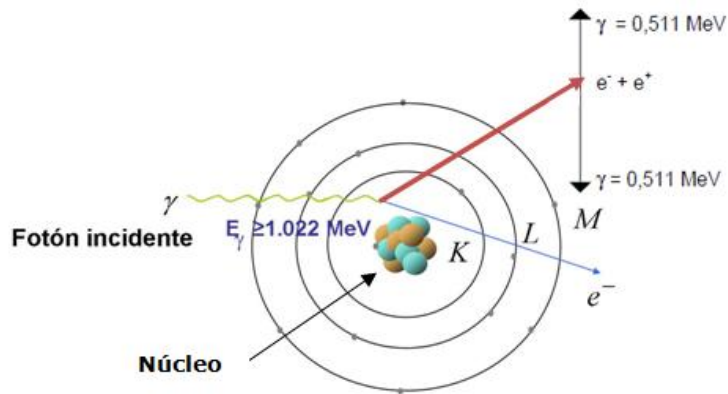


Figura N° 4: Producción de Pares

Cada uno de los efectos producto de la interacción de la radiación con la materia predomina a diferentes energías de los fotones. A bajas energías (rayos X) predomina el efecto fotoeléctrico; a energías medianas (alrededor de 1MeV) el efecto Compton; y a energías mayores la producción de pares.

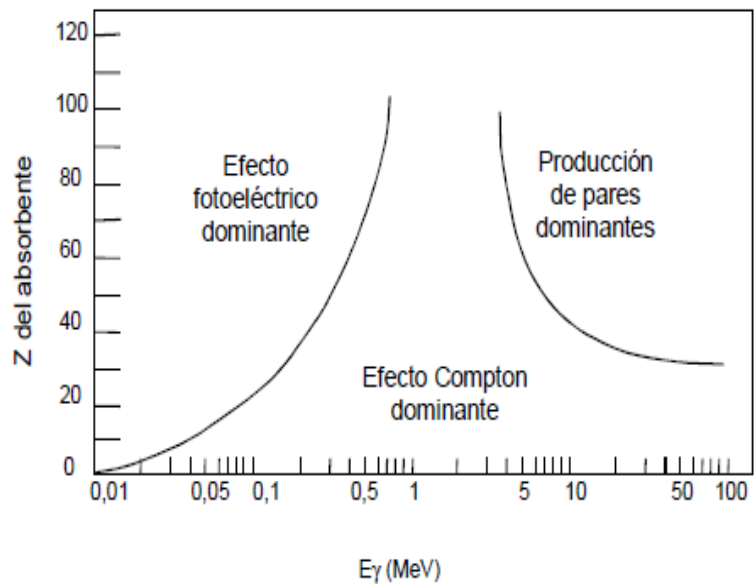


Figura N° 5: Importancia de los tres tipos de interacciones principales de la radiación electromagnética con la materia

### **1.3.- Magnitudes Dosimétricas**

En el campo de la radioterapia se necesitan conocer varias magnitudes dosimétricas para lograr una mayor comprensión de esta técnica de tratamiento. Entre los términos planteados en este trabajo tenemos: dosis, tipos de dosis, porcentaje de dosis en profundidad (PDD) y dosimetría in vitro.

#### **1.3.1.- Dosis**

El concepto de dosis es un concepto con el que la mayoría está más o menos familiarizado, sin embargo este término se puede definir bajo diversas especializaciones como lo son la medicina, toxicología, etc.

La dosis es la cantidad de una sustancia a la que se expone una persona durante un período de tiempo. La dosis es una medida de la exposición. Se expresa corrientemente en miligramos (cantidad) por kilo (medida del peso corporal) por día (medida del tiempo), ésta determina el tipo y magnitud de la respuesta biológica en el organismo.

#### **1.3.2.- Tipos de Dosis**

- 1 Dosis Absorbida ( $D$ ): Se define la dosis absorbida como la cantidad dosimétrica que fundamenta la radiación ionizante, esta es la energía depositada por cualquier radiación, por unidad de masa en un material irradiado. Esta dosis es la que se considera a la hora de estimar los efectos biológicos en el material irradiado. Generalmente definida como: el cociente entre la cantidad de energía media impartida ( $d\epsilon$ ) por la radiación ionizante a una materia de masa ( $dm$ ).

Sus unidades son el Joule/ Kg a esta unidad se le denomina “Gray” (Gy).<sup>(7),(8), (22)</sup>

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

- 2 Dosis Equivalente ( $H_T$ ): La dosis equivalente  $H_T$ , es la dosis absorbida modificada por factores de peso, es la radiación recibida por un tejido u órgano.<sup>(21)</sup>

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

- 3 Dosis Efectiva (E): Cantidad de radiación recibida por un tejido ponderado por un factor de acuerdo al tipo de tejido. Donde  $H_T$  es la dosis equivalente recibida por el tejido  $T$  y  $w_T$  el factor de ponderación del tejido. La unidad de *dosis efectiva* es el J/kg, denominada *sievert* (Sv).<sup>(21)</sup>

$$E = \sum_T w_T H_T$$

De la definición de *dosis equivalente* se sigue que:

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

### 1.3.3.- Porcentaje de Dosis en Profundidad (PDD)

La distribución de la dosis en radioterapia es comúnmente medida haciendo uso de un maniquí, algunas veces están referidas “en aire” o en tejido equivalente.

Estas medidas pueden ser graficadas para distintos tamaños de campo y para sus respectivas curvas de isodosis y con esto podemos

conocer la dosis en “prácticamente” cualquier punto. El porcentaje de dosis en profundidad disminuye a medida que aumenta la profundidad por la atenuación del haz en el material del maniquí o en el tejido.

Si determinados el PDD:

- ◆ Sin maniquí (en aire) tenemos que utilizar una capa Build-up de ancho igual a  $D_{max}$ . Estas medidas están hechas en el eje central o a una distancia fuente isocentro (SAD) determinada para un rango de tamaños de campo.
- ◆ Con maniquí medimos en el eje central y a una distancia fuente superficie (SSD) determinada en la profundidad  $d_{max}$  y en otras profundidades si se requiere.

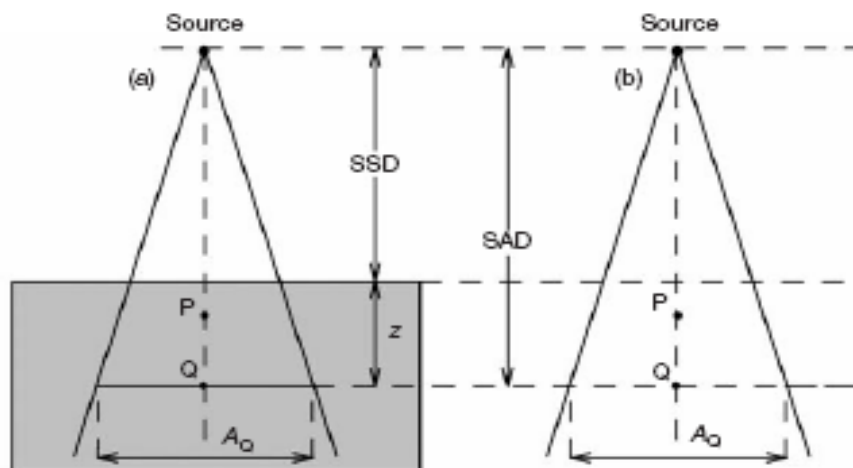


Figura N° 6: Esquema de el SSD y SAD para determinar el PDD.<sup>(5)</sup>

Al hacer incidir un haz dentro de un paciente o un maniquí, la dosis absorbida por éste puede variar con la profundidad; dicha variación dependerá del tamaño del campo, de la energía del haz de rayos X, de la profundidad, y de la distancia de la fuente piel.

El PDD es la relación porcentual de la dosis que se absorbe en un punto (pto) cualquiera dentro de un material y la dosis que se absorbe a  $d_{max}$  "llamado dosis máxima ( $D_{max}$ )"; (esta se obtiene a la profundidad en la que se logra el equilibrio electrónico,  $D_{max}$  es el pico de dosis absorbida sobre el eje central).<sup>(3)</sup> Cuanto mayor es la energía de los fotones más profundo es el máximo y menor es la dosis en la superficie.

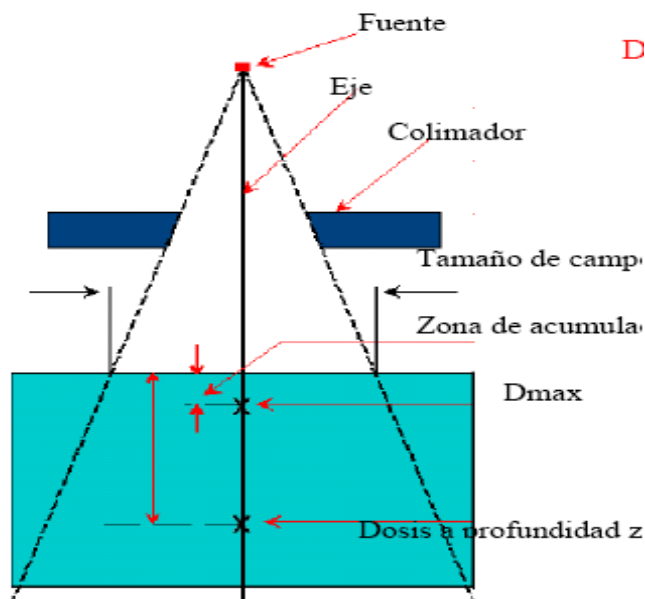
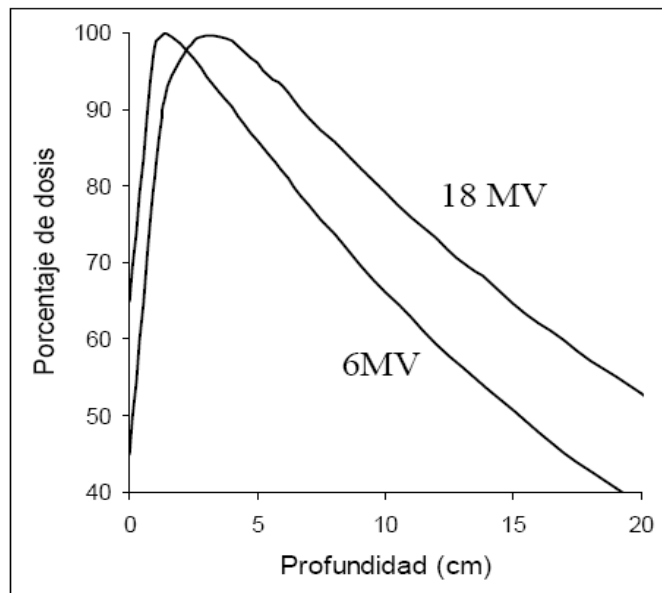


Figura N° 7: Esquema para determinar PDD.<sup>(5)</sup>

$$PDD = \frac{\text{Dosis adsorbida en un pto} \times 100\%}{\text{Dosis adsorbida a } d_{max}}$$

La distribución de porcentaje de dosis en profundidad producida por los haces de electrones se encuentra caracterizada por una dosis superficial relativamente alta (80% a 90% de  $D_{max}$ ), una región amplia de dosis máxima, una caída rápida de la dosis para profundidades mayores a  $d_{max}$  y una baja

dosis en la cola de la curva que representa la contaminación por rayos X de los haces de electrones.



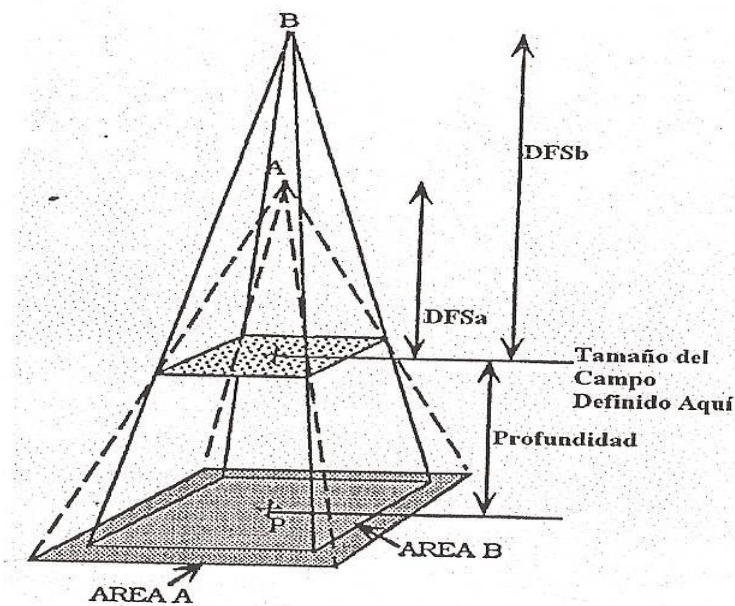
**Figura N° 8: Porcentaje de Dosis en Profundidad**

### Elementos Básicos del PDD

◆ Distancia Fuente Superficie (DFS)

Aunque la tasa de dosis absoluta disminuye al incrementar la DFS el PDD aumenta, debido a la ley del cuadrado de la distancia, ya que a medida que la fuente se encuentre más alejada del paciente o maniquí, las dimensiones de la fuente se consideran más pequeñas, por la cual la dispersión se hace independiente de esta distancia.





**Figura N° 9: Dependencia del PDP en Función de la Distancia de la Fuente a la Superficie.<sup>(5)</sup>**

Esto se debe a que el haz de radiación (identificado como B) tiene una mayor DFS pero una menor área en el punto de medida P, mientras que el haz de radiación identificado como A posee una menor DFS pero un área mayor en el punto de medida P.

♦ **Tamaño de Campo**

En este caso nos referimos al tamaño de campo, como el espacio comprendido entre los colimadores del haz de radiación que posee en acelerador.

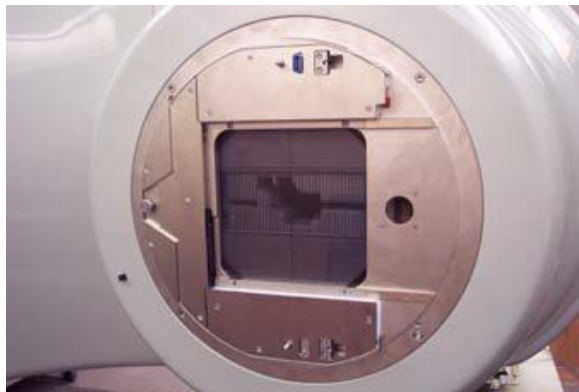
El límite del campo de radiación se define como los puntos a la profundidad  $d_{m\acute{a}x}$  donde la dosis es el 50% de la dosis en el eje central a la profundidad del máximo. Por tanto los límites del campo caen en la zona de penumbra, que se define como la zona que va del 80% al 20%.

La región de sombra, fuera del campo, puede parecer de menor importancia al ser la dosis inferior al 20 % del máximo, sin embargo puede

ser de gran importancia si existen órganos de riesgo cerca del límite del campo.

El tamaño del campo lo podemos definir de las siguientes maneras:

- \* Definición geométrica: Es la proyección sobre el plano perpendicular al eje del haz de radiación.



**Figura N° 10: Colimador Multilaminas**

- \* Definición dosimétrica: Es la distancia interceptada por una curva de isodosis (usualmente la de 50%) sobre un plano perpendicular al eje del haz de radiación a una distancia fija de la fuente.

Si el tamaño del campo aumenta, la dosis adsorbida por el medio se espera mayor por el incremento de la dispersión. La geometría del campo hace que para un área dada la dispersión disminuya.

Este PDD aumenta con el tamaño del campo, ya que la dispersión se hace mayor a medida que aumenta la profundidad (la contribución de fotones dispersados será mayor a una distancia  $d > d_{max}$ , en comparación con los fotones dispersados a  $d_{max}$ ).

- ◆ Profundidad de Medición

El PDD también dependerá de la profundidad a la que se encuentre el tumor. Si el medio es muy denso la atenuación del haz primario va a ser

mayor, por lo cual el PDD aumenta, pero en tejido blando pasa lo contrario. Los efectos por inhomogeneidades son: absorción del haz primario y dispersión.

#### **1.3.4.- Dosimetría in vitro**

La dosimetría in vitro nos permite irradiar un material (maniquí) simulando tejido humano para comprobar la dosis de radiación, estas verificaciones pueden ser realizadas para asegurar todo el proceso de radioterapia, desde la planificación del tratamiento hasta la entrega de dosis.

El maniquí debe ser construido con un tejido similar alguna zona anatómica del cuerpo; su densidad puede ser verificada a través de una tomografía computarizada (CT) midiendo las unidades de Hounsfield, luego la imagen obtenida es enviada al sistema de planificación.

Se pueden insertar en el maniquí detectores que nos permitan tomar la medida de dosis obtenida en los tejidos irradiados del maniquí. El nivel de exactitud que se debería de lograr en este tipo de dosimetría debe ser mejor que 3% a 4 %, ya que la dosis entregada al paciente debería ser mejor que el 5%.

La finalidad de esta dosimetría es justamente comprobar la confiabilidad de una técnica de tratamiento sin tener que exponer a un paciente.

#### **1.4.- Terapia Rotacional (Arcos Dinámicos)**

Es una técnica radioterapéutica utilizada para tumores generalmente pequeños ubicados profundamente, en esta técnica el isocentro es colocado en el volumen tumoral y el haz de radiación rota alrededor del mismo.<sup>(24)</sup>

La Terapia Rotacional (arcos dinámicos) fue propuesta en 1994, como una nueva técnica de tratamiento con la finalidad de mejorar la conformación de la dosis en el volumen blanco.

En los arcos dinámicos, se observa el movimiento tanto del brazo (“gantry”) del acelerador, como del mMLC el cual cambia continuamente su configuración, tomando la forma de cada proyección angular de la lesión o región a irradiar.<sup>(13)</sup>.

## **Capítulo II**

### **Cáncer de Próstata**

#### **2.- Magnitudes Oncológicas Importantes Referentes al Cáncer de Próstata.**

Este capítulo tiene como finalidad, argumentar nuestro estudio en base a la literatura revisada, referente a diversas magnitudes oncológicas relacionados con el Cáncer de Próstata, necesarias para comprender y ampliar un poco más los aspectos oncológicos de esta patología.

##### **2.1.- Cáncer de Próstata.**

El cáncer es el término utilizado para hacer referencia a un conjunto de enfermedades en las cuales el organismo produce un exceso de células malignas (conocidas como cancerígenas o cancerosas) ocasionando que las células malignas formen una masa de tejido, llamada tumor. El organismo está compuesto de muchos tipos de células, las cuales crecen y se dividen para producir nuevas células conforme el cuerpo las necesita, éstas envejecen, mueren y son reemplazadas por nuevas células. Pero, ocasionalmente, algunas células pueden desafiar las restricciones normales del crecimiento celular y comenzará a multiplicarse de forma incontrolable, causando una división celular fuera de control, a las células producto de esta división se les denomina células malignas, este crecimiento descontrolado

produce que las células viejas no mueran cuando biológicamente deberían hacerlo, ocasionando que las células malignas formen el tumor. Los tumores pueden ser.<sup>(24), (26)</sup>

- ◆ Benignos (no cancerosos), los cuales son limitados, no pueden diseminarse ni invadir otros órganos del cuerpo (no producen metástasis), pueden ser extraídos, aunque pueden llegar a ser peligrosos si se ubican en órganos vitales, tales como el cerebro.
- ◆ Malignos (cancerosos), las células de estos tipos de tumores pueden invadir el tejido adyacente y diseminarse a otros órganos del cuerpo (llamado comúnmente metástasis).

El cáncer de próstata es el desarrollo de células malignas dentro de la glándula prostática del sistema reproductor masculino. Casi todos los cánceres se localizan en la periferia de la glándula o en el centro de ella, lo que hace detectables algún nódulo por el tacto rectal.

Una vez detectado el cáncer éste puede ser tratado con la combinación apropiada de varias técnicas como lo son: la cirugía, la quimioterapia, la radioterapia y la terapia hormonal; cuyo fin es lograr un mayor control local de la enfermedad. Según investigaciones, los tratamientos se especifican según el estado de salud general del paciente, así como también del estadiaje de la enfermedad.<sup>(24), (26)</sup>

El cáncer de próstata se desarrolla usualmente en la zona glandular, por lo cual el área más afectada es la glándula externa o zona periférica que contiene más tejido glandular. Las células glandulares producen el líquido seminal que se secreta por la próstata. El término médico del cáncer que se origina en las células glandulares se denomina adenocarcinoma, por lo cual cuando se habla de cáncer de próstata, lo más probable es que se refiera a

un adenocarcinoma; es raro encontrar sarcomas, carcinoma de células transicionales, de células pequeñas, epidermoides o escamosos.<sup>(24)</sup>

### 2.1.1.- Ubicación Anatómica de la Próstata

La próstata está alojada en el compartimiento o nicho prostático es una glándula que corresponde al sistema reproductor masculino junto con los testículos, escroto, pene, vesículas seminales etc. Está localizada delante del recto, a la salida de la vejiga urinaria y rodea una parte de la uretra. Justo encima y a los lados de la glándula prostática se encuentran las vesículas seminales. Tiene forma de castaña o triángulo achatado en su base o cara superior. Pesa 20 a 25 g y mide 3 x 4 x 2,5 cm en el hombre adulto.

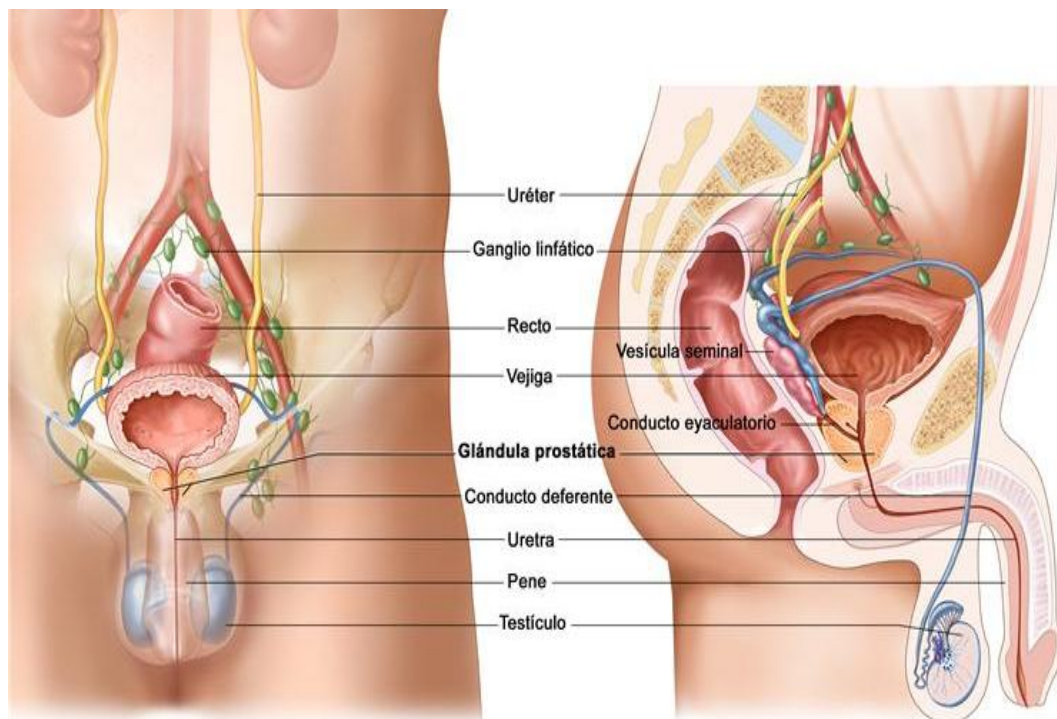


Figura N° 11: Anatomía del sistema reproductor y el sistema urinario masculino.<sup>(26)</sup>

La próstata tiene 3 zonas principales encapsuladas dentro de una cápsula fibrosa: La zona periférica o glándula externa, compuesta por aproximadamente un 70% de tejido glandular; la zona central o glándula interna compuesta por un 20% de tejido glandular y la zona de transición, que rodea la uretra prostática y está compuesta por un 10% de tejido glandular.

### 2.1.2.- Epidemiología del Cáncer de Próstata

El cáncer de próstata es uno de los cánceres más frecuentes en el mundo. Este cáncer aparece tardíamente y su incidencia se acrecienta con la edad.

En nuestro país el cáncer de próstata que mantenía desde 1960 hasta 1980 un ascenso moderado, ha mostrado un crecimiento extraordinariamente rápido a partir de 1990, lo que lo ha llevado a la primera posición como causa de muerte por cáncer en hombres, superando ampliamente al cáncer de pulmón, en el último quinquenio.<sup>(20)</sup>

**Tabla N° 1: Revista Venezolana de Oncología (2006).<sup>(20)</sup>**

Varones		Mujeres		Ambos géneros	
Próstata	1 766	Cuello uterino y ut. N.E.	1 612	Bronquios y pulmones	2 668
Bronquios y pulmones	1 647	Glándula mamaria	1 425	Próstata	1 766
Estómago	1 076	Bronquios y pulmones	1 021	Estómago	1 744
Colon, recto y ano	578	Estómago	668	Cuello uterino y ut. N.E	1 612
Leucemias	422	Colon, recto y ano	592	Glándula mamaria	1 425
Hígado	356	Ovario	362	Colon, recto y ano	1 170
Páncreas	335	Leucemias	352	Leucemias	774
Linfomas no Hodgkin	299	Páncreas	351	Hígado	705
Laringe	274	Hígado	349	Páncreas	686
Encéfalo y otros (S.N.C.)	208	Linfomas no Hodgkin	237	Linfomas no Hodgkin	530
Total	9 085	Total	9 070	Total	18 155

Fuente: Registro Central de Cáncer MSDS. 2006



El cáncer causa cerca del 13% de todas las muertes, de acuerdo con la Sociedad Americana del Cáncer; 7,6 millones de personas murieron de cáncer en el mundo durante 2008.<sup>(26)</sup>

### **2.1.3.- Causas del Cáncer de Próstata**

Este cáncer aparece tardíamente y su incidencia se acrecienta con la edad más que para cualquier otro tipo de cáncer, ya que a medida que los hombres envejecen la próstata tiende a agrandarse ocasionando un bloqueo en la uretra o en su defecto en la vejiga, este problema se conoce con el nombre de próstata agrandada o hiperplasia prostática benigna (HPB) y ocasiona dificultad para orinar y puede llegar hasta interferir la función sexual. Este tipo de problema no se le denomina cáncer, sin embargo presenta síntomas muy parecidos al cáncer de próstata.<sup>(24), (26)</sup>

Entre las causas más comunes de este tipo de cáncer tenemos:

- 1 La edad: (rara la vez ocurre antes de los 55 años de edad, la mayoría de los hombres diagnosticados tienen 65 años o más).
- 2 Antecedentes familiares (padre, hermano, tío) del cáncer de próstata.
- 3 Factores hormonales. Actividad sexual.
- 4 Dieta: El cáncer de la próstata están vinculados al elevado consumo de grasas (aunque esto no ha sido del todo comprobado).
- 5 El tabaco es también un factor de riesgo debido a que fumar cigarrillos aumenta la producción de hormonas masculinas que estimulan el crecimiento celular y por lo tanto el crecimiento de los tumores prostáticos.

- 6 Ocupaciones – Algunas ocupaciones se consideran como de riesgo. Tal sucede con los trabajadores que manipulan el cadmio sin el uso de adecuadas medidas protectoras, como los guantes, por ejemplo; ya que el cadmio es un metal pesado que interrumpe el proceso natural de reparación del ADN celular y puede permitir la multiplicación sin control de las células malignas de los tumores. Lo mismo sucede con los obreros que trabajan el zinc y en este sentido se sabe que la próstata es la glándula que contiene mayor cantidad de zinc que cualquier otro órgano humano. Tanto el cadmio como el zinc pueden entrar al organismo a través de la dieta. Algunos alimentos, como las ostras, contienen elevadas cantidades de estas sustancias.

#### **2.1.4.- Síntomas del Cáncer de Próstata**

En su estadio más inicial, el cáncer de próstata puede no producir signos o síntomas. Sin embargo a medida que el tumor crece pueden notarse ciertos indicios que se asocian con el cáncer de próstata, entre los cuales tenemos: <sup>(24), (26)</sup>

- ◆ Dificultad para orinar (sea para comenzar o para terminar).
- ◆ Fuerza reducida de la orina.
- ◆ Goteo al final de la micción.
- ◆ Sangrado en la orina (hematuria).
- ◆ Sangrado en el semen (hemospermia, o hematospermia).
- ◆ Orinar poca cantidad cada vez, pero presentando un aumento de la frecuencia de orinar especialmente por la noche.
- ◆ Presencia de ardor durante la orina.

- ◆ Eyaculación dolorosa y/o sanguinolenta.
- ◆ Disminución de la función eréctil.
- ◆ Antígeno Prostático Específico (PSA) elevado.
- ◆ Síntomas generales: cansancio, anorexia, desnutrición severa, pérdida de peso, sin razón aparente.
- ◆ Dolor continuo en la parte baja de la espalda, en la pelvis, o en la zona superior de los muslos (síntomas referidos a la enfermedad diseminada).

### **2.1.5.- Diagnóstico del Cáncer de Próstata**

El diagnóstico de cáncer en pacientes está, en gran medida, influenciado por el tipo de cáncer, así como por la etapa o la extensión de la enfermedad (frecuentemente en estados iniciales suele ser confundido con otras patologías si no se realizan los diagnósticos adecuados). Entre las pruebas y procedimientos que se pueden utilizar se encuentran los siguientes:<sup>(26)</sup>

- ◆ La detección se lleva a cabo principalmente por la prueba en sangre del antígeno prostático específico, llamado PSA (acrónimo inglés de *prostate-specific antigen*). en este estudio se determina la cantidad de proteína producida en la próstata, la cual puede elevarse cuando el cáncer está presente.
- ◆ Tacto rectal: según la Asociación Americana del Cáncer este examen debe formar parte del chequeo anual recomendado para hombres mayores de 40 años. En este se inserta un dedo enguantado en el recto; el médico palpa la próstata a través de la pared rectal en busca de nódulos o áreas anormales. La mayor parte de este tipo de cáncer

se localiza en la periferia o en el centro de la glándula y es lo que los hace fácil determinar por medio del tacto.

- ◆ Biopsia de próstata: esta técnica nos permite examinar microscópicamente una muestra del tejido tomado del área. Esta muestra puede ser extraída por una aguja colocada directamente en la próstata a través del recto o del perineo (el espacio entre el escroto y el ano). Este procedimiento es llamado “punción-aspiración de aguja fina (PAAF) o una biopsia por aguja”. También puede obtenerse una biopsia mediante una operación.
- ◆ Ecografía transrectal: procedimiento por el cual se inserta en el recto una sonda que tiene aproximadamente el tamaño de un dedo para examinar la próstata. La sonda se utiliza para hacer rebotar ondas de ultrasonido de alta energía contra los tejidos internos de la próstata (ecografía) y crear ecos. Los ecos forman una imagen de los tejidos corporales denominada ecograma. La ecografía transrectal también se puede usar durante una biopsia.

Sin embargo para diagnosticar el estadio en el cáncer de la próstata, se suelen utilizar:<sup>(6), (24)</sup>

- ◆ La tomografía axial computarizada (TAC): Esta prueba puede ayudar a decir si el cáncer de próstata se ha extendido a los ganglios linfáticos de la pelvis. Si el cáncer de próstata recidiva después del tratamiento, el TAC puede informarnos del lugar de la recaída en la pelvis. Para realizar un TAC el paciente se acuesta en una mesa alargada, y la parte de su cuerpo que va a ser examinada, se desplaza dentro del escáner, una máquina en forma de donut que rodea completamente a la mesa. A menudo, antes de obtenerse las primeras imágenes, se

recibe una inyección de contraste intravenoso que ayuda a definir mejor las estructuras del cuerpo. La inyección del contraste puede ocasionar acaloradas, rubor y picor por todo el cuerpo. Algunas personas son alérgicas y pueden tener serios problemas como shock anafiláctico. A veces es necesario beber uno o dos vasos de solución de contraste radiológico que ayuda a definir los contornos del intestino para no confundirlos con el tumor. También es necesario tener la vejiga urinaria llena para desplazar el intestino del área donde se encuentra la glándula prostática.

- ◆ Las imágenes de resonancia magnética (IRM): se usa para evaluar la glándula prostática. La RMN es más útil en reproducir imágenes del cáncer de próstata. Puede reproducir imágenes más nítidas de la próstata y muestra si el cáncer ha rebasado los límites de la próstata y ha invadido las vesículas seminales o la vejiga urinaria. Estas imágenes son muy importantes para planificar el tratamiento. El paciente también se tiene que acostar en una mesa rodeada de un tubo en forma de túnel estrecho.

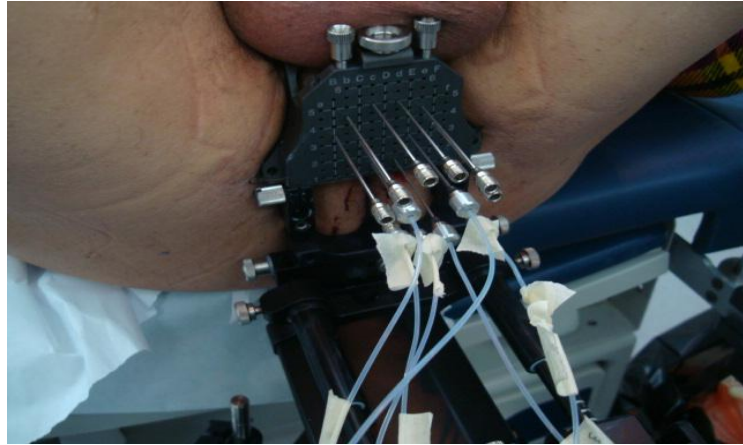
#### **2.1.6.- Técnicas de Tratamiento para el Cáncer de Próstata**

El tratamiento del cáncer de próstata es sumamente individualizado, y deben considerarse muchos factores, como son:

- ◆ El estadio del cancer.
- ◆ La edad y la salud general del paciente.
- ◆ Los antecedentes médicos generales del paciente.
- ◆ Si el cáncer ha sido recién diagnosticado o ha regresado.
- ◆ La esperanza de vida.

El tratamiento puede incluir cirugía, radioterapia, quimioterapia, o bien una combinación de todas.

- 1. Cirugía:** la cirugía para el cáncer de próstata varía de extirpar sólo el crecimiento canceroso, a la extirpación de toda la próstata y de los ganglios linfáticos circundantes. La prostatectomía radical: consiste en la extirpación de la próstata y parte del tejido que la rodea. La cirugía se puede realizar mediante una incisión en el espacio situado entre el escroto y el ano (*prostatectomía perineal*) o mediante una incisión en el abdomen inferior (*prostatectomía retropúbica*). La prostatectomía radical se lleva a cabo sólo si el cáncer no se ha diseminado fuera de la próstata.
- 2. Quimioterapia:** es el uso de medicamentos quimioterápicos para tratar a las células cancerosas, se utilizan como tratamiento paliativo en pacientes con cáncer avanzado en los que no se puede conseguir la curación, entre estos medicamentos tenemos: docetaxel (Taxotere) junto con el prednisone, estramustina, mitoxantrona, combinada con corticoides (prednisona), y también la doxorubicina, etoposido o VP16, vinblastina, vinorelbina, paclitaxel, carboplatino.
- 3. Radioterapia:** esta técnica de radiación puede ser interna (Braquiterapia) o externa (Radioterapia Externa).
  - 3.1. Braquiterapia:** consiste en aplicar la irradiación en la propia glándula mediante el implante transperineal de semillas radioactivas. Otro procedimiento consiste en introducir temporalmente por el periné unas agujas guiadas mediante ecografía transrectal para alcanzar la próstata.



**Figura N° 12: Paciente posicionado para braquiterapia**

**3.2. Radioterapia Externa:** El cáncer de próstata es dependiente de la dosis de acuerdo a la extensión de la enfermedad y al hecho de que el paciente haya sido sometido o no a cirugía, estas dosis varían entre 6600Gy y 7800Gy. Cuando el estadio de la enfermedad aumenta, es necesario escalar la dosis prescrita al tumor, pero los tejidos adyacentes normales, como vejiga y recto, son limitantes de dosis debido a su tolerancia a la radiación.



**Figura N° 13: Paciente posicionado para radioterapia.**

Los pasos necesarios para dicho tratamiento son los siguientes:

- ◆ Inmovilización del paciente y TAC de planificación.
- ◆ Reconstrucción 3D de las imágenes obtenidas.
- ◆ Delimitación de los volúmenes de tratamiento y órganos de riesgo.
- ◆ Planificación dosimétrica.
- ◆ Transferencia del plan de tratamiento a la consola del Acelerador.
- ◆ Inicio del tratamiento tras verificación del posicionamiento con visión portal.

El tratamiento con radioterapia externa consiste en sesiones diarias muy cortas (alrededor de 5 minutos cada una), los cinco días a la semana, durante un período de 6 semanas y media, mediante las cuales se administra una pequeña fracción de la dosis total prescrita por el Oncólogo. Para los pacientes operados utilizamos la técnica de tratamiento conformada, en los cuales se aplican 6 campos coplanares (los campos de tratamiento son coplanares si comparten el mismo plano, en radioterapia, se entiende por campos coplanares los situados en un plano transversal,), con una dosis diaria de 200cGy y potencial de aceleración de 23x, alcanzando una dosis total de 6600cGy. En la parte inicial del tratamiento se determina el CTV en el cual se incluyen las vesículas seminales y el lecho tumoral y el PTV incluyendo 1,5cm alrededor del CTV excepto hacia el recto y bulbo del pene que sería 1cm, este se realiza en 23 sesiones aproximadamente obteniendo para esta etapa 4600cGy. Luego se realizan 2 reducciones a lo largo de todo el tratamiento; en la primera reducción se determina nuevamente el CTV, en el cual se incluye el lecho tumoral y se excluyen las vesículas seminales, y el PTV correspondería a 1,5cm alrededor del CTV excepto hacia el recto y bulbo del pene que es 1cm; esta etapa sería en 7 sesiones alcanzando



1400cGy; en la segunda reducción se determina nuevamente el CTV, en el cual se incluye nuevamente el lecho tumoral excluyendo las vesículas seminales, y el PTV correspondería a 1cm alrededor de todo el CTV; esta etapa sería en 3 sesiones alcanzando los 600cGy restante.

Para los pacientes no operados utilizamos la técnica de tratamiento en IMRT, en los cuales se aplican 5 campos no coplanares (Son no coplanares los campos no transversales, que se consiguen girando la mesa de tratamiento, ya que el *gantry* gira siempre alrededor de su propio eje longitudinal y los campos siempre son transversales respecto a este eje. Por tanto, para obtener un campo no coplanar “no transversal”), con una dosis diaria de 200cGy y potencial de aceleración de 6x (A menos que el paciente tenga mucho volumen corporal, en este caso se pasa a 23x), alcanzando una dosis total de 7800cGy. En la parte inicial del tratamiento se determina el CTV en el cual se incluyen las vesículas seminales y lecho tumoral y el PTV incluyendo 1,5cm alrededor del CTV excepto hacia el recto y bulbo del pene que sería 1cm, este se realiza en 25 sesiones aproximadamente obteniendo para esta etapa 5000cGy. Luego se realizan 3 reducciones a lo largo de todo el tratamiento; en la primera reducción se determina nuevamente el CTV, en el cual se incluye el lecho tumoral y se excluyen las vesículas seminales, y el PTV correspondería a 1,5cm alrededor del CTV excepto hacia el recto y bulbo del pene que es 1cm; esta etapa sería en 5 sesiones alcanzando 1000cGy; en la segunda reducción se determina nuevamente el CTV, en el cual se incluye nuevamente el lecho tumoral excluyendo las vesículas seminales, y el PTV correspondería a 1cm alrededor de todo el CTV; esta etapa sería en 5 sesiones alcanzando 1000cGy. En la tercera y última reducción se determina nuevamente el CTV, en el cual se incluye el lecho tumoral, y el PTV correspondería a 1cm alrededor del CTV excepto hacia el recto y bulbo del pene que es entre 0,5cm y 0,8cm (la elección depende de la

dosis que hayan recibido estos órganos durante todo el tratamiento); esta etapa sería en 4 sesiones alcanzando los 800cGy restantes.

**4. Terapia Hormonal:** Consiste en la deprivación androgénica. Radica en el bloqueo de la acción hormonal para impedir el crecimiento tumoral; este bloqueo puede ser: **Parcial:** Castración quirúrgica o química (agonistas LHRH). A título experimental se están utilizando los antagonistas LHRH. **Completo:** Se agrega a la terapéutica anterior el uso de antiandrogénicos. **Como monodroga:** En determinados casos se puede efectuar con la utilización de antiandrogénicos o estrógenos. **Neoadyuvancia:** Siempre utilizamos de 3 a 6 meses de tratamiento previo. Esta terapia suele producir oleadas de calor, alteraciones de la función sexual, pérdida del deseo sexual, impotencia y alteraciones óseas. Los tratamientos de hormonoterapia incluyen:

- 4.1. Antagonistas del factor liberador de la hormona luteinizante que impiden la producción de testosterona por parte del testículo (luproide acetato, goselerin y buserelin).
- 4.2. Antiandrógenos como el flutamida y bicalutamida, que contrarrestan la testosterona.
- 4.3. Medicamentos que impiden que las adrenales produzcan andrógenos como el ketoconazol y la aminoglutamida.
- 4.4. Orquidectomía o remoción de los testículos que son la principal fuente de producción de testosterona.
- 4.5. Estrógenos, que promueven las características sexuales femeninas impidiendo que los testículos produzcan testosterona. Son poco usados por sus graves efectos adversos.

### 2.1.7.- Estadio del Cáncer de Próstata

Una vez que se ha determinado las categorías TNM, esta información se combina junto con la puntuación Gleason, con la finalidad de clasificar por estadio esta patología. Los estadios son los siguientes:

**Estadio I (*Estadio precoz*):** En esta etapa el cáncer no se ha extendido a los ganglios linfáticos ni a ninguna otra parte del cuerpo. El cáncer se detecta durante una resección transuretral. La puntuación Gleason es baja (2 a 4), y la clasificación TNM sería T1a, N0, M0. Generalmente se le realiza: prostatectomía radical (cirugía para extirpar toda la glándula prostática, al igual que algunos tejidos que se encuentran alrededor de ésta), en conjunto con la linfadenectomía pélvica (cirugía para extraer los ganglios linfáticos de la pelvis), también radioterapia Externa: 3D o IMRT y la mayoría de las veces se le realiza braquiterapia intersticial con semillas radioactivas.

**Estadio II:** En esta etapa el cáncer no se ha extendido a los ganglios linfáticos ni a ninguna parte del cuerpo. El cáncer se detecta durante una resección transuretral. La puntuación Gleason es intermedio o alto (5 o más alto). Se diagnostica por una biopsia y por un estudio de laboratorio para determinar el nivel de PSA (generalmente para este estadio el valor suele ser alto). En este estadio la clasificación puede ser: T1a, N0, M0, Gleason intermedio o alto (5 a 10), T1b, N0, M0, cualquier Gleason (2 a 10), T1c, N0, M0, cualquier Gleason (2 a 10), T2, N0, M0, cualquier Gleason (2 a 10). Generalmente se le realiza: prostatectomía radical (cirugía para extirpar toda la glándula prostática, al igual que algunos tejidos que se encuentran alrededor de ésta), en conjunto con la linfadenectomía pélvica (cirugía para extraer los ganglios linfáticos de la pelvis), también radioterapia externa: 3D o

IMRT y la mayoría de las veces se le realiza braquiterapia intersticial con semillas radioactivas.

**Estadio III (*Estadio localmente avanzado*):** En esta etapa el cáncer ha sobrepasado los límites de la próstata y puede afectar a las vesículas seminales, pero no a los ganglios linfáticos ni a ninguna otra parte del cuerpo). En este estadio la clasificación puede ser T3, N0, M0, cualquier Gleason (2 a 10). Generalmente se le realiza: radioterapia Externa: 3D o IMRT, Quimioterapia, resección transuretral de la próstata (extirpación de tejido de la próstata que por su crecimiento obstruye el cuello de la vejiga y dificulta la expulsión de la orina) como tratamiento paliativo para aliviar síntomas, prostatectomía radical y linfadenectomía pélvica, solo en casos seleccionados.

**Estadio IV (*Estadio avanzado “metastásico y Recidiva”*):** En esta etapa el cáncer se caracteriza por uno o más de los siguientes aspectos:

- ◆ Se ha extendido a los ganglios linfáticos.
- ◆ El cáncer se ha extendido a los tejidos próximos a la próstata, diferentes de las vesículas seminales, como el esfínter externo vesical (músculos que ayudan en el control de la micción), recto, y/o pared de la pelvis.
- ◆ Se ha extendido a órganos distantes del cuerpo.

En este estadio la clasificación puede ser: T4, N0, M0, cualquier Gleason (2 a 10), cualquier T, N1, M0, cualquier Gleason (2 a 10), cualquier T, cualquier N, M1, cualquier Gleason (2 a 10). Generalmente se le realiza: radioterapia externa: 3D o IMRT (paliativo), resección transuretral de la próstata, quimioterapia (paliativo).

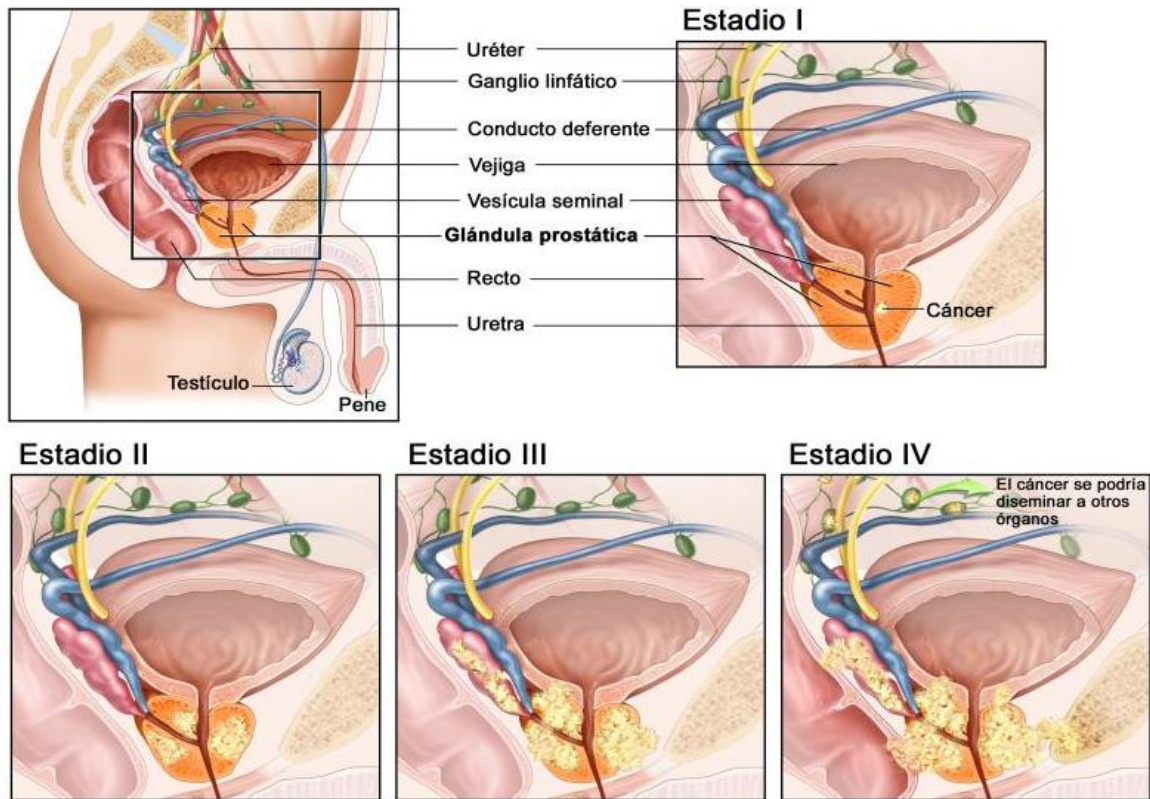


Figura N° 14: Etapas del cáncer de próstata a partir de lo que sería el estadio cero o normal

### 2.1.8.- Clasificación por estadios del cáncer de próstata

Las clasificaciones del cáncer de próstata son variadas en la medida en que el cáncer avanza. Existen distintas formas de clasificar al paciente con cáncer de próstata: según la extensión del tumor, el grado histopatológico y su estadio clínico o histopatológico, entre las cuales tenemos: <sup>(24)</sup>

1. **Clasificación ABCD:** La clasificación más común es la que se refiere a la extensión del tumor (A, B, C, D). **Estadio A:** El cáncer está localizado dentro de la próstata y se encuentra casualmente cuando

se extirpa esta para corregir una obstrucción. Es generalmente curable. **Estadio B:** El cáncer, aún localizado exclusivamente dentro de la próstata, tiene el tamaño suficiente para sospecharse por los medios diagnósticos iniciales. Es generalmente curable. **Estadio C:** El cáncer atraviesa la cápsula de la próstata y compromete tejidos vecinos pero aún no ha producido metástasis. Algunos son curables. Además de los medios diagnósticos iniciales es indispensable hacer una gammagrafía ósea para diferenciarlo del estadio D. **Estadio D:** El cáncer ha producido metástasis especialmente a hueso (detectados en la gammagrafía) y a ganglios linfáticos. No es curable actualmente pero hay tratamientos paliativos.

2. **Clasificación de Gleason:** El Dr. Donald F. Gleason, junto con el Grupo de Investigación del Hospital de Veteranos, diseñó y publicó en 1966 el primer sistema de grados para el cáncer de próstata, el cual lleva su nombre. La Clasificación de Gleason es una clasificación simple que se basa en los hallazgos operatorios calificando microscópicamente a las células desde bien diferenciadas (grado 1) hasta muy indiferenciadas (grado 5). Se estudian dos (2) patrones estructurales (primario y secundario) sumando un mínimo de 2 puntos y un máximo de 10 puntos. Los grados 1 y 2 son normales. El grado 3 (células moderadamente bien diferenciadas) es el más común y considerado aún normal, por tanto la suma de dos valores, igual a 6, también puede considerarse normal. El grado 4 corresponde a Cáncer y es el más importante y a veces difícil de diferenciar del grado 3. La suma de los dos valores igual a 7 sería sospechosa. Incluso el grado 8 sumando los dos valores puede ser dudoso. El grado 5 es indiferenciado, correspondiente a cáncer. Así, un Gleason 10 será en términos simples el más grave de todos, y un

Gleason 2 totalmente normal para su clara evaluación se debe reportar como la suma de los dos factores, por ejemplo 7 (3+4), y cuanto mayor más alto más grave. No es raro que la biopsia muestre un Gleason de 7 o menos y no exista cáncer sino una reacción inflamatoria, u otra enfermedad no maligna. Por esto el resultado de la biopsia no es confiable para grado Gleason menor de 8. Vale la pena considerar que la biopsia usualmente muestra resultados menores de 8, reduciendo su utilidad al mínimo

3. **Clasificación TNM:** cuyas siglas significan **T** (tamaño del tumor primario), **N** (grado de diseminación a los ganglios linfáticos) y **M** (extensión de la diseminación a otras partes del cuerpo “metástasis”). Ha reemplazado al sistema ABCD para clasificar el cáncer de próstata y sigue después de la clasificación de Gleason, valorando su extensión. La clasificación es la siguiente:

**Tabla N° 2: Clasificación TNM.**

<b>TUMOR PRIMARIO</b>		
Tx		No se puede evaluar el tumor primario.
T0		No hay evidencia de tumor primario.
T1		Tumor no evidente clínicamente, no palpable ni visible mediante técnicas de imagen.
	T1a	Tumor detectado como hallazgo fortuito en una extensión menor o igual al 5% del tejido resecado.
	T1b	Tumor detectado como hallazgo fortuito en una extensión mayor del 5% del tejido resecado.
	T1c	Tumor identificado mediante biopsia (por ejemplo, a consecuencia de un PSA elevado).
T2		Tumor confinado en la próstata.

	T2a	El tumor abarca la mitad de un lóbulo o menos.
	T2b	El tumor abarca más de la mitad de un lóbulo pero no ambos lóbulos.
	T2c	El tumor abarca ambos lóbulos.
T3		Tumor que se extiende más allá de la cápsula prostática.
	T3a	Extensión extracapsular unilateral o bilateral.
	T3b	Tumor que invade la/s vesícula/s seminal/es.
T4		Tumor fijo o que invade estructuras adyacentes distintas de las vesículas seminales: cuello vesical, esfínter externo, recto, músculos elevadores del ano y/o pared pélvica.
<b>GANGLIOS LINFÁTICOS</b>		
Nx		No se pueden evaluar los ganglios linfáticos regionales.
N0		No se demuestran metástasis ganglionares regionales.
N1		Metástasis en ganglios linfáticos regionales.
<b>METÁSTASIS</b>		
Mx		No se pueden evaluar las metástasis a distancia.
M0		No hay metástasis a distancia.
M1		Metástasis a distancia.
	M1a	Ganglio/s linfático/s no regionales.
	M1b	Hueso/s.
	M1	Otra/s localización/es.

### 2.1.9.- Órganos involucrados en el Tratamiento radioterapéutico del Cáncer de Próstata

- ♦ **Asas Intestinales:** se llama asas intestinales a cada una de las porciones del intestino delgado en forma de cordón, situado entre el estómago y acaba en el ciego del colon. Se divide en tres porciones:



duodeno, yeyuno e íleon.<sup>(9)</sup> En radioterapia es recomendable no superar en  $\frac{1}{3}$  del órgano una dosis de 5000cGy; y en el órgano completo una dosis de 4000cGy; de manera de evitar consecuencias tales como: obstrucción, perforación, fístula.<sup>(24)</sup>

- ◆ **Bulbo del Pene:** se llama bulbo del pene a la parte posterior del cuerpo esponjoso del pene. El cuerpo esponjoso es la porción más pequeña de las tres columnas de tejido eréctil que se encuentran en el interior del pene, las otras dos pertenecen al cuerpo cavernoso.<sup>(9)</sup>
- ◆ **Próstata:** se llama próstata a la glándula en forma de castaña, que está alojada en el compartimiento o nicho prostático. Está localizada delante del recto, a la salida de la vejiga urinaria y rodea una parte de la uretra. Producen parte del líquido seminal el cual surge por los conductos excretores en el momento de la eyaculación, éste líquido se encarga de proteger y nutre a los espermatozoides contenidos en el semen.<sup>(9)</sup> En radioterapia la próstata recibe diversa radiación dependiendo de la ubicación de la lesión; si la lesión se encuentra en la glándula prostática o si el paciente ha sido sometido a cirugía.
- ◆ **Recto:** se llama recto a la porción final del intestino grueso comprendiendo desde el colon sigmoide hasta el ano, éste órgano recibe los materiales de desecho que quedan después de todo el proceso de la digestión de los alimentos.<sup>(9)</sup> En radioterapia es recomendable no superar en el órgano completo una dosis de 6000cGy; de manera de evitar consecuencias tales como: proctitis severa, necrosis, fístula, estenosis, nefritis.<sup>(24)</sup>
- ◆ **Vejiga:** se llama vejiga al órgano hueco musculomembranoso que recoge la orina a través de los uréteres por medio de los riñones y se encarga de desecharla del organismo.<sup>(9)</sup> En radioterapia es recomendable no superar en  $\frac{2}{3}$  del órgano una dosis de 8000cGy; y

en el órgano completo una dosis de 6500cGy; de manera de evitar consecuencias tales como: ensanchamiento del volumen de la vejiga, incontinencia, entre otros.<sup>(24)</sup>

- ◆ **Vesículas Seminales:** se llama vesícula seminal a la estructura hueca con forma de saco que producen la mayoría del líquido seminal, que protege y nutre a los espermatozoides contenidos en el semen durante el acto sexual; esta se encuentra detrás de la vejiga.<sup>(9)</sup>.

## **Capítulo III**

### **Bases Metodológicas del Trabajo**

#### **3.- Bases Metodológicas**

En este capítulo presentamos las bases metodológicas desarrolladas en este trabajo, así como también exponemos el lugar donde se desarrollo éste trabajo, los instrumentos de medición, los equipos utilizados y la metodología utilizada.

##### **3.1.- El Servicio**

El jueves 9 de marzo del 2006, comienza a prestar servicio la Unidad de Radioterapia Oncológica GURVE; ubicada en el sótano 02 del Centro Médico Docente la Trinidad, en la Avenida Intercomunal La Trinidad, El Hatillo. Caracas, Venezuela.

El Servicio de Radioterapia GURVE La Trinidad cuenta con un moderno Acelerador Lineal de Energía Dual Clinac 2100 CD (Varian Medical Systems), cuya finalidad es suministrar a los pacientes oncológicos radioterapia extrema de alta precisión. El Clinac 2100 que se instalo en este servicio es el tercer equipo de Alta Energía que el servicio instaló en Venezuela.

En el año 2008, el grupo de Radioterapia Oncológica GURVE La Trinidad, adquiere un Clinac 2100 IX versión "Trilogy", cuya finalidad es

suministrar a los pacientes Radioterapia Oncológica y Radiocirugía (Radioterapia Estereotáctica Craneal y Extracraneal) de alta precisión.

### **3.2.- Instrumentos de Medición**

Todo equipo o aparato que pueda ser utilizado para efectuar una medición es un instrumento de medición y hace posible la observación de los fenómenos físicos y su cuantificación. Ahora bien, estos instrumentos no son sistemas ideales sino reales, con independencia de su complejidad y del tipo de magnitud que mida, cualquier instrumento se caracteriza por poseer alguna escala graduada (digital, de aguja, de cursor deslizante) que permite establecer la proporcionalidad entre la magnitud que deseamos medir y el correspondiente patrón. Entre los instrumentos que utilizamos están las cámaras de ionización de 0.6cc y de 0.125cc, el maniquí en 3D (MP3 PTW), el maniquí pélvico, los detectores tipo mosfet y el electrómetro PTW UNIDOS.

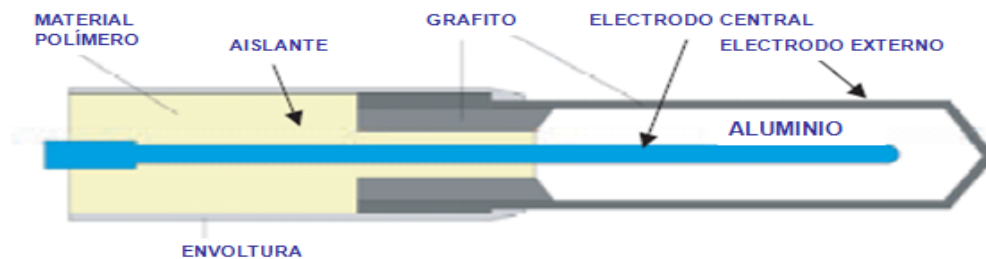
#### **3.2.1.- Cámaras de ionización de 0.6cc y de 0.125cc**

La cámara de ionización es una cavidad de aire rodeada por una pared externa conductora y un electrodo colector central. La pared y el electrodo colector están separados por un aislante para reducir la corriente de fuga cuando se aplica el voltaje de polarización.

Las cámaras de ionización nos permiten monitorear las dosis entregadas tanto en pacientes como en maniquí; este sistema está constituido por varias cámaras de ionización, en nuestro caso se utilizaron las cámaras de ionización cilíndricas de 0.6cc y de 0.125cc tipo FARMER de

la PTW, cada una de ellas cumple una función diferente dentro de todo este proceso de medición.

La cámara de ionización cilíndrica de 0.6cc tipo FARMER de la PTW utilizada fue la 30013, cuyo diámetro es 12.2mm y una longitud de 23mm. Ésta es una cámara impermeable diseñada para medir tanto en aire como en un maniquí sólido. Consta de una pared de PMMA Grafitado y un electrodo central de aluminio de 1mm de diámetro.



**Figura N° 15: Estructura de la cámara de ionización**

La cámara de ionización cilíndrica de 0.125cc utilizada fue la cámara semiflex 31010. Ésta es una cámara diseñada para medir la distribución de la dosis en maniquí de agua. Consta de una pared de grafito y un protector de PMMA y un electrodo central de aluminio. Las características de esta cámara son las siguientes: voltaje de 400volt (recomendado), positivo entre (300 y 500) volt, grosor de la pared de 0,7mm, densidad de área de 78 mg/cm<sup>2</sup>, material del electrodo de aluminio, radio interno de 5,5mm, temperatura entre 10°C y 40°C, humedad entre 10% y 80%, presión entre 700mb y 1060mb.



**Figura N° 16: Cámara Farmer**



**Figura N° 17: Camara semiflex**

### 3.2.2.- Maniquí en 3D PTW (MP3 Phantom Tank)

El maniquí en 3D (MP3 PTW) “Motorized 3D water Phantom” es un tanque utilizado en radioterapia para analizar y obtener de manera automática las medidas de las distribuciones de dosis de los haces; su dimensión volumétrica es de 600mm x 500mm x 407,5mm y pared acrílica de aproximadamente 20mm de espesor.

Posee un mecanismo de posicionamiento de acero inoxidable por el contacto con el agua, este mecanismo de posicionamiento permite mover la cámara de ionización en las 3 dimensiones dentro del tanque, la cámara de ionización puede moverse con una rapidez de 50mm/seg, dicho mecanismo y la unidad de control TBA, permiten monitorear y manejar los tres motores de manera individual en cada dimensión.



Figura N° 18: Maniquí en 3D (MP3 PTW)

### 3.2.3.- Maniquí Pélvico

El maniquí es un modelo anatómico del cuerpo humano utilizado para diversas actividades como por ejemplo en obstetricia, radioterapia, etc. En él se utilizan diversos materiales para simular en particular el tejido de alguna zona anatómica del cuerpo; a éste tejido se le conoce como “tejido sustituto” y dependerá su utilización de la actividad que se vaya a desarrollar con él. Este tejido no debe ser tóxico, cancerígeno o alérgico.

El maniquí pélvico se estableció con tejido sustituto del área pélvica y su diseño se estableció aproximadamente con las medidas geométricas de un paciente promedio.

Los maniquíes deben cumplir las siguientes características:<sup>(28)</sup>

1. Alta homogeneidad: se deben evitar porosidades o zonas de diferente composición y/o densidad que puedan proporcionar algún tipo de incertidumbres en la transmisión de la radiación o al evaluar la dosis.
2. Conocimiento de la composición y/o pureza: se debe conocer la composición del maniquí para poder establecer cuando su composición ha sido contaminada por algún medio material (especialmente por aquellos medios con alto número atómico ( $Z$ ), ejemplo para materiales con  $Z > 20$ ).
3. Alta estabilidad: se debe cumplir una estabilidad tanto interna como externa en el maniquí; con respecto a la parte interna los tejidos sustitutos utilizados deben permanecer estables e inactivos ante la irradiación y con respecto a la parte externa debe presentar suficiente resistencia para su manipulación.

4. Dimensiones acordadas: el maniquí debe cumplir con las dimensiones establecidas para el procedimiento que se va a desarrollar con éste.

El maniquí pélvico se construyó con gelatina sin sabor (de uso domestico) y agua; la gelatina es un producto obtenido por la hidrólisis parcial (ácida, alcalina o enzimática) de colágeno derivado de la piel, huesos y tejido conectivo blanco de los animales y el agua como sabemos es el más importante de todos los compuestos y uno de los principales constituyentes del mundo en que vivimos y el principal e imprescindible componente del cuerpo humano, ya que aproximadamente entre el 60% y 75% del organismo humano es agua.

#### **3.2.4.- Detectores tipo Mosfet**

Un semiconductor de óxido metálico del transistor de efecto de campo (MOSFET), es un transistor de silicio muy pequeño, consta de una excelente resolución espacial y ofrece muy poca atenuación del campo debido a su pequeño tamaño; este dispositivo es utilizado en la dosimetría in vivo. Los MOSFET son utilizados en la medición de la tensión de umbral (función lineal de absorción de dosis). La radiación ionizante penetra el óxido genera acusación de que es atrapada permanentemente, lo que produce un cambio en la tensión del umbral. Este cambio de dosis se puede medir durante o después de la irradiación.<sup>(18), (19)</sup>

El ciclo de vida de los MOSFET es limitado pero a pesar de esto tienen la capacidad de cubrir la gama completa de energía de los fotones y los electrones. Estos dispositivos son sensibles a los cambios en la tensión de polarización que se pueden producir durante o después de la irradiación;



por lo que la lectura debe ser tomada en un tiempo no muy distante después de la exposición.<sup>(18), (19)</sup>

Los detectores MOSFETs han sido utilizados en los últimos años en los tratamientos de radioterapia (estudios in Vivo e in Vitro, medidas de dosis en maniquí, etc).<sup>(18), (19)</sup>

El MOSFET posee cuatro electrodos llamados “Fuente” simbolizado por la letra S, “compuerta” simbolizado por la letra G, “drenaje” simbolizado por la letra D y finalmente el “sustrato” simbolizado por la letra B.

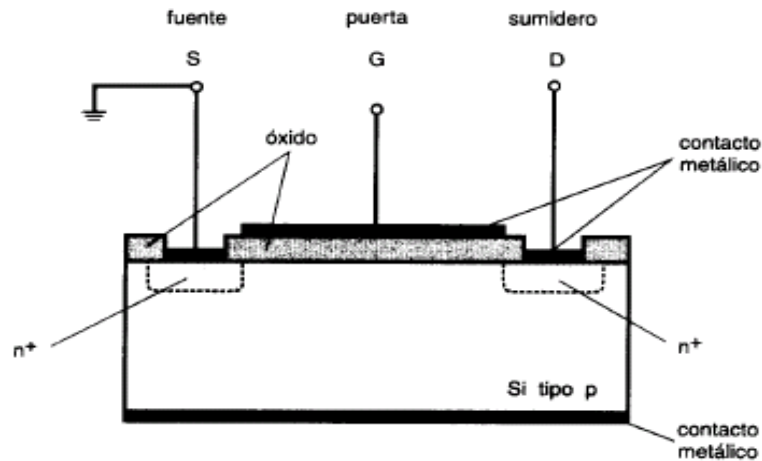


Figura N° 19: Estructura básica de Detectores tipo Mosfet

Los transistores MOSFET se dividen en dos tipos fundamentales dependiendo de cómo se haya realizado el dopaje:

- ◆ Tipo *nMOS*: Sustrato de tipo *p* y difusiones de tipo *n*. (Transistor MOSFET de empobrecimiento canal N).
- ◆ Tipo *pMOS*: Sustrato de tipo *n* y difusiones de tipo *p*. (Transistor MOSFET de empobrecimiento canal P)

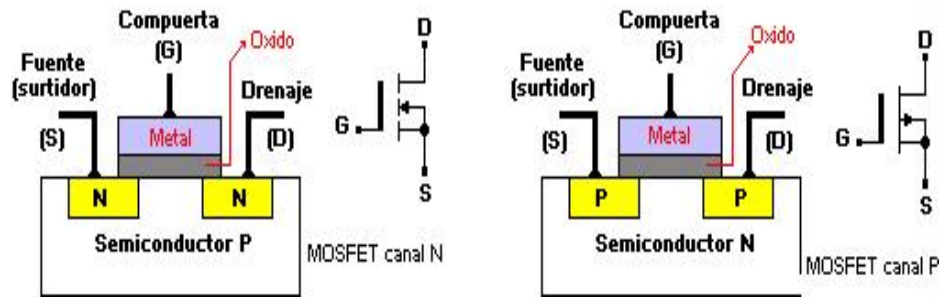


Figura N° 20: Estructura mosfet tipo P y tipo N

Este dispositivo es en consecuencia llamado NMOSFET o un PMOSFET respectivamente (también comúnmente nMOSFET, pMOSFET), dando origen a una versión NPN y otra PNP. El NPN es llamado MOSFET de canal N y el PNP es llamado MOSFET de canal P, En el MOSFET de canal N la parte "N" está conectado a la fuente y al drenaje; En el MOSFET de canal P la parte "P" está conectado a la fuente y al drenaje.

Las características de los mosfet son las siguientes:<sup>(28)</sup>

- ◆ Poseen una región activa de 0.2 x 0.2 mm.
- ◆ Son susceptible tanto a fotones como para electrones.
- ◆ Son isotrópico ( $\pm 2\%$  a  $360^\circ$ ).
- ◆ Se obtienen las lecturas de dosis de manera inmediata.
- ◆ Son dispositivos flexibles.

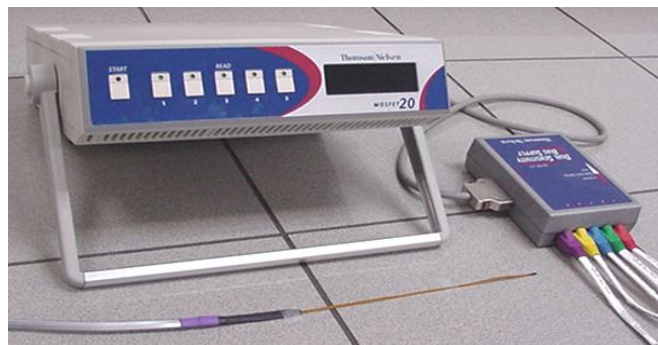


Figura N° 21: Detectores tipo Mosfet

### 3.2.5.- Electrómetro PTW UNIDOS

El Electrómetro PTW UNIDOS es un dispositivo utilizado para medir la tasa de dosis y la dosis integrada. Tiene una alta precisión y una resolución de 1fA, también posee una fuente de poder cuyos valores están comprendidos entre 0 y  $\pm 400V$ . Este dispositivo puede expresar los valores de dosis en Gy, Sv, R, Gy/min, Sv/h, R/min, y Gy.m.

La corriente de ionización o carga es muy pequeña, por lo que se han diseñado circuitos especiales de electrómetros para medir con exactitud; estos dispositivos tienen alta impedancia de entrada (menores a  $10^{12}ohm$ ), además han sido diseñados para medir exactamente corrientes de ionización, tan bajas como  $10^{-15}A$ .



Figura N° 22: Electrómetro PTW UNIDOS

### 3.3.- Equipos

Los equipos utilizados para la realización del trabajo disponibles por la Unidad de Radioterapia Oncológica GURVE, la trinidad, fueron el sistema de planificación Eclipse (versión 8.9), en el cual se realizaron los diversos planes de tratamiento con la técnica de arcos dinámicos, para pacientes con Cáncer

de Próstata luego de haber sido sometidos a una prostatectomía radical, el acelerador CLINAC 2100 VARIAN, en el cual se realizaron todas las mediciones con la finalidad de poner en práctica y comprobar los planes de tratamiento realizados en el Eclipse y finalmente el colimador multiláminas y micromultiláminas.

### **3.3.1.- ACELERADOR CLINAC 2100 VARIAN**

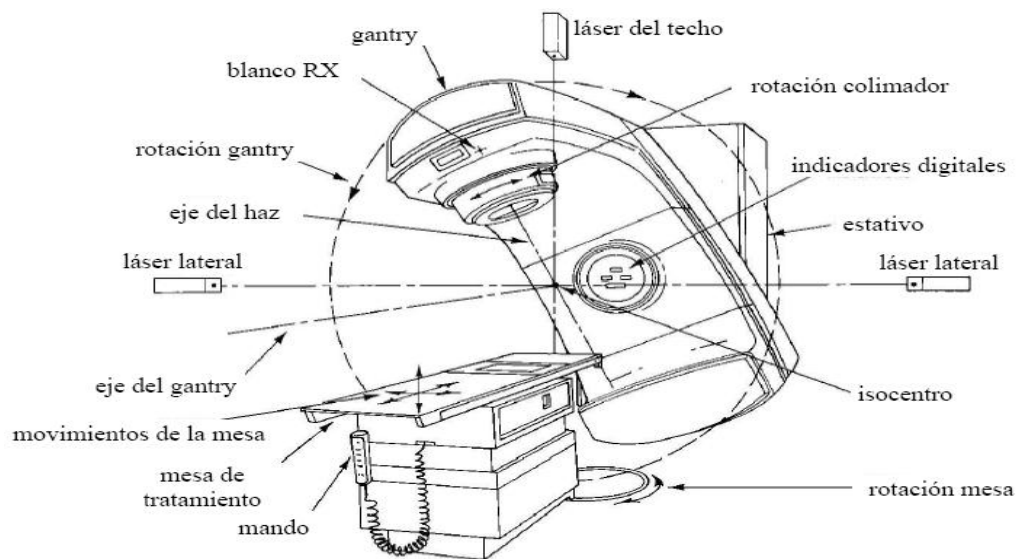
El acelerador lineal de uso clínico, llamado comúnmente CLINAC 2100 CD (Varian Medical Systems), (Figura X), es un equipo que emplean ondas electromagnéticas de alta frecuencia, para el tratamiento de tumores mediante haces colimados de electrones y/o fotones. La aceleración de electrones nos permite tratar directamente tumores superficiales, pero si a los electrones se les hace impactar sobre un blanco apropiado producen fotones de alta energía destinados para tratamiento de tumores profundos.



**Figura N° 23: ACELERADOR CLINAC 2100 VARIAN**

El acelerador lineal clínico Varian Clinac 2100 es un acelerador tipo dual de alta energía capaz de generar potenciales de aceleración para electrones con energías de 6, 9, 12, 16 Y 20 MeV y con fotones de 6 y 18 MV.

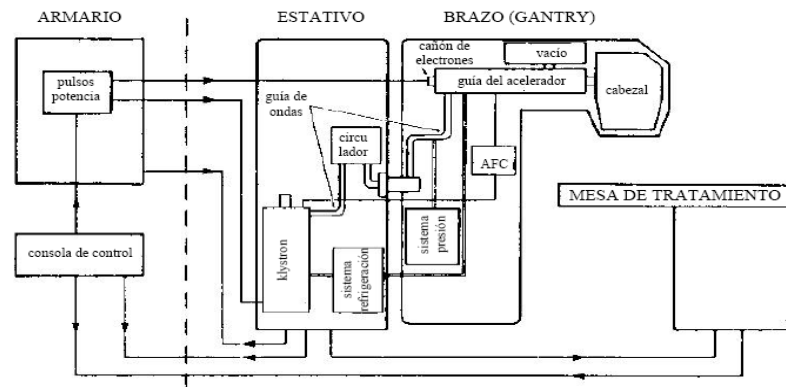
Estos equipos son muy compactos y permiten la realización de tratamientos isocéntricos (ideales para tratamientos con múltiples campos de tratamiento) disminuyendo los errores en lo que a posicionamiento del paciente y tiempo de tratamiento.<sup>(24)</sup>



**Figura Nº 24: ESTRUCTURA ACELERADOR CLINAC 2100 VARIAN**

Estos aparatos son equipos muy estables y simétricos, además poseen estabilidad y uniformidad en el haz de tratamiento mantienen una precisión en la dosis; estos equipos cuentan con cañón de electrones, guía de ondas, sistema de producción de ondas, cabezal de la unidad, búnker, unidad de control (cabina de modulación), consola de control, camilla, gantry y colimador, gran parte de estos equipos también cuentan con una gran cantidad de accesorios, como lo son los colimadores asimétricos y

multiláminas, dispositivos de imagen portal, cuñas dinámicas, aplicadores para radiocirugía, etc.



**Figura Nº 25: ESTRUCTURA ACELERADORA**

### 3.3.2.- Sistema de planificación Eclipse

El sistema de planificación computarizado es un mecanismo primordial en el proceso de tratamientos utilizando la técnica de radioterapia; debido a que con estos sistemas se diseñan y se calculan los planes de tratamiento de los pacientes. Los sistemas de planificación computarizados envuelven un rango bastante amplio de aplicaciones, entre las que tenemos: el cálculo de las distribuciones de dosis, la energía, las características del tratamiento a implementar y el cálculo de las unidades del monitor. <sup>(16)</sup>

En el Sistema de planificación Eclipse (versión 8.9) se definen los volúmenes de tratamiento (volumen blanco, los volúmenes de tejidos sanos) a partir de los cortes de la Tomografía Computarizada (TAC), ya que dicho sistema es capaz de adquirir una reconstrucción digital de los datos de la TAC; en dicho sistema también se define el protocolo de tratamiento a utilizar, y este nos permite prescribir la dosis en una zona determinada del paciente, así como también en una curva de isodosis o en un histograma de dosis volumen (HDV).

Los sistemas de planificación han mejorado la precisión de los tratamientos, ayudados con los dispositivos de inmovilización; los cuales nos permiten garantizar la reproducibilidad de la posición del paciente en el tratamiento planificado.

### **3.3.3.- Colimador Multiláminas y Micromultiláminas**

La idea de los colimadores multilaminas para máquinas de radioterapia parece haber sido originado por Gscheidlen (1959), que patentó un dispositivo en el cual cuatro sistemas de hojas dispuestas ortogonalmente se podrían mover para crear una forma irregular del campo.

El colimador multiláminas (MLC) es un dispositivo que consiste en una serie de láminas (entre 20 y 120 conocidas hasta el momento), estrechas muy próximas entre sí, ordenadas paralelamente, que se desplazan independientemente.<sup>(4)</sup>

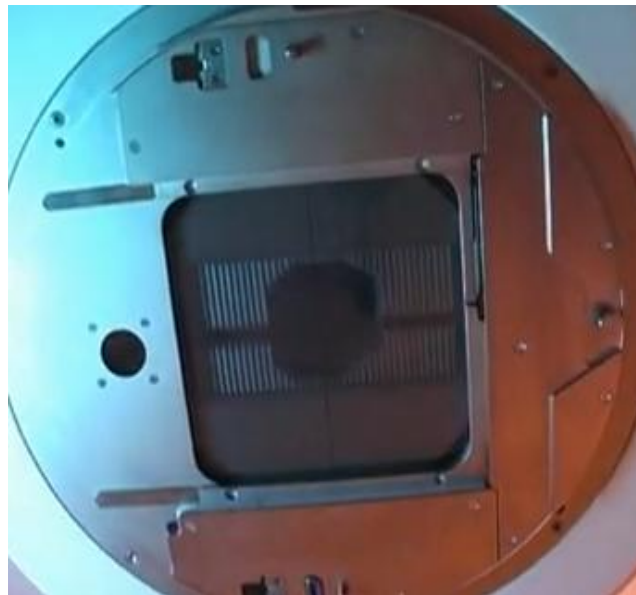
Los colimadores multiláminas son considerados como uno de los dispositivos más recientes para generar los campos de formas irregulares, lo cual ha sustituido el uso de bloques conformados. Los MLC han sido elementos de investigación en centros especializados interesados en la radioterapia conformada, ya que su uso facilita la precisión a la hora de adquirir la forma del tumor evitando así irradiar los órganos sanos que se encuentren cerca del tumor.<sup>(4)</sup>

El sistema de colimadores multiláminas (MLC) permite la apertura rápida y controlable del campo de radiación, adecuado para la modulación dinámica del campo de radiación.

Los colimadores multiláminas (MLC) han sido de mucha importancia y utilidad en la aplicación de tratamientos conformados, ya que estos nos permiten una reducción de costo y tiempo.<sup>(1)</sup>



**Figura N° 26: Colimador Multiláminas (vista lateral)**



**Figura N° 27: Colimador Multiláminas (vista anterior)**

El ancho de las láminas será la pequeña dimensión de la misma perpendicular a la dirección de la propagación del haz de rayos X y perpendicular a la dirección del movimiento de la lámina. La longitud de ésta se refiere a la dimensión de la lámina paralela a la dirección del movimiento



de ésta. La superficie estará insertada en el campo a lo largo de esta dimensión es el extremo de la lámina. Los lados de las hojas serán las superficies que estarán con contacto con las láminas vecinas. La altura de la lámina se refiere a la dimensión de la misma que esta a lo largo de la dirección de propagación del haz de radiación. La altura de ésta se extiende desde su parte superior la cual se encuentra cerca de la fuente de radiación hasta en la parte inferior de la lámina la cual se encuentra más cercana al isocentro. La altura de la lámina determina sus propiedades de atenuación.<sup>(4)</sup>

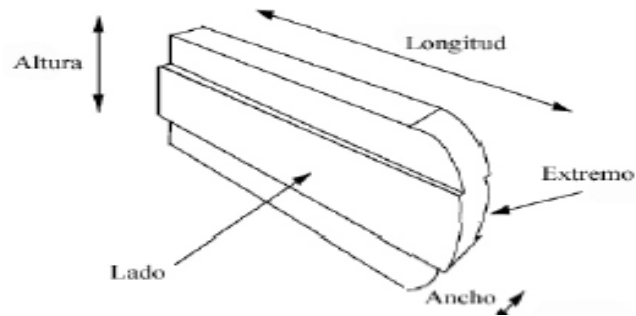


Figura N° 28: esquema de una lámina de extremo curvo (Varian).<sup>(4)</sup>

La configuración de los MLC puede clasificarse en cuanto a si tienen total o parcial sustitución de la mandíbula superior, la mandíbula inferior, o bien con configuraciones de colimadores terciarios.<sup>(4)</sup>

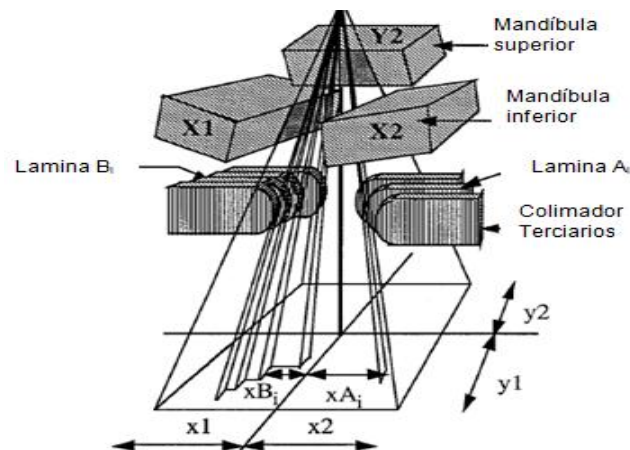


Figura N° 29: Esquema genérico de un sistema de colimación de fotones con las mandíbulas superior e inferior, colimador terciario y láminas.<sup>(4)</sup>

El eje de giro de los MLC debe coincidir con la alineación de los ejes mecánicos fundamentales del acelerador (cabezal, brazo y mesa de tratamiento) son la base sobre la cual la mayor parte de los sistemas están referidos, es necesario realizar una verificación de la alineación de éstos, abarcando tanto el ámbito mecánico como el sistema óptico.

En los sistemas de MLC, los mecanismos existentes para garantizar la seguridad del paciente y del propio equipo, dependen fundamentalmente del diseño del propio sistema MLC, al igual que de la periodicidad de las verificaciones a realizar. En todo caso deben comprobarse los sistemas relacionados con el software y con el hardware.

Las hojas del MLC deben proporcionar un grado aceptable de atenuación, deben estar en forma óptima para proporcionar la configuración del campo cuando se trabaja junto a toda una gama de tamaños de campo, y deben integrarse con el resto de las colimaciones del sistema.<sup>(4)</sup>

Los colimadores micromultilaminas son dispositivos que permiten una mayor conformación y homogeneidad de dosis en el volumen blanco que tengan formas irregulares y que sean de pequeño tamaño.<sup>(27)</sup>

### **3.4.- Metodología**

En la primera parte del presente trabajo se tomaron al azar 40 pacientes con ADC de Próstata y Prostatectomía Radical, haciendo uso de la técnica de radioterapia conformada, los cuales fueron tratados en la Unidad de Radioterapia Oncológica GURVE del Centro Médico Docente la Trinidad en los años 2007, 2008, 2009 y 2010, para estos pacientes se realizó una encuesta de dosis, en la cual se evaluó la dosis que recibieron los órganos involucrados en este tratamiento radioterapéutico (tanto el lecho tumoral como los órganos a riesgo). Los órganos que consideramos fueron: asas

intestinales, recto, vejiga, vesículas seminales, bulbo y próstata. En ésta encuesta se extrajeron haciendo uso de los histogramas dosis volumen la dosis que recibieron en el 30%, 50%, 70% y 100% del volumen de cada uno de estos órganos, en la fase inicial del tratamiento; así como también para la 1<sup>era</sup> Reducción y 2<sup>da</sup> Reducción.

Al culminar con esta primera parte se procedió a tomar nota del volumen y diámetro del lecho tumoral, para cada uno de estos pacientes para así obtener los patrones de volumen y diámetro, que se tomaron en cuenta para la realización del maniquí pélvico.

Posteriormente se procedió a escoger al azar 10 de los 40 pacientes con ADC de próstata y prostatectomía radical escogidos anteriormente, comprendidos también en los años 2007, 2008, 2009 y 2010. A cada uno de estos pacientes se le realizaron 33 planes de tratamiento haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos, tomando 11 planes de tratamiento para la fase inicial, 11 planes para la 1<sup>era</sup> Reducción y 11 planes para la 2<sup>da</sup> Reducción, con la finalidad promediar los resultados obtenidos y así poder escoger un plan de tratamiento para la fase inicial, un plan para la 1<sup>era</sup> Reducción y un plan para la 2<sup>da</sup> Reducción; los cuales reflejaran las ventajas que tiene la técnica de arcos dinámicos frente la técnica de radioterapia conformada.

Con el plan escogido en la parte anterior se procedió a ponerlo en práctica, por lo que haciendo uso de la dosimetría in vitro se logró determinar las dosis obtenidas con la técnica de arcos dinámicos.

Finalmente se procedió a la realización de la propuesta del protocolo haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos.

### 3.4.1.- Dosis Entregadas en pacientes con Prostatectomía Radical (Radioterapia Conformada)

Para la realización de esta sección se tomaron en cuenta al azar 40 pacientes con ADC de Próstata y Prostatectomía Radical, tratados en la Unidad de Radioterapia Oncológica GURVE del Centro Médico Docente la Trinidad. La escogencia fue la siguiente: 7 pacientes del año 2007, 17 pacientes del año 2008, 12 pacientes del año 2009 y finalmente 4 pacientes del año 2010.

Los pacientes escogidos fueron sometidos a tratamiento de radioterapia conformada bajo las siguientes características:

**Tabla Nº 3: Características Plan conformado**

<b><i>Campos</i></b>	<b><i>Potencial de Aceleración</i></b>	<b><i>Dosis Diaria</i></b>	<b><i>Dosis Total</i></b>
6 Campos Coplanares	23X	200cGy	6600cGy

Los 6 campos coplanares son: Lateral Derecho (cuyo ángulo en gantry es 270°), lateral Izquierdo (cuyo ángulo en gantry es 90°), Oblicuo Anterior Derecho (cuyo ángulo en gantry es 305°), Oblicuo Anterior Izquierdo (cuyo ángulo en gantry es 55°), Oblicuo Posterior derecho (cuyo ángulo en gantry es 225°), Oblicuo Posterior Izquierdo (cuyo ángulo en gantry es 135°).

Se considero de gran importancia la dosis que recibieron los órganos involucrados en este tratamiento radioterapéutico tanto el lecho tumoral como los órganos a riesgo. Los órganos que consideramos fueron: Asas Intestinales, Recto, Vejiga, Vesículas Seminales, Bulbo y Próstata; por lo que se planteó la necesidad de adquirir la dosis que recibieran en el 30%, 50%, 70%, 100% del volumen de cada uno de estos órganos.

### 3.4.2.- Volumen y Diámetro de Próstata en pacientes con Prostatectomía Radical (Radioterapia Conformada)

Para la realización de esta sección se tomaron los 40 pacientes estudiados en la sección anterior. Haciendo uso del sistema de planificación Eclipse se obtuvieron los valores del volumen y del diámetro del lecho tumoral de cada uno de estos pacientes.

Estas medidas se organizaron en 4 grupos de 10 pacientes cada grupo, y los resultados obtenidos para los valores del volumen y del diámetro del lecho tumoral se presentan en las siguientes tablas:

**Tabla Nº 4: Volumen y Diámetro de Próstata (Grupo Nº 1 y Nº 2)**

Grupo Nº 1		Grupo Nº 2	
Volumen (cm <sup>3</sup> )	Diámetro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Diámetro (cm)
43.27	4.4	56.49	4.8
16.50	3.2	59.18	4.8
46.21	4.5	61.26	4.9
28.41	3.8	46.27	4.5
69.70	5.1	30.45	3.9
26.53	3.7	50.89	4.6
45.42	4.4	51.60	4.6
36.12	4.1	29.81	3.8
36.43	4.1	42.57	4.3
22.89	3.5	39.66	4.2
<b>39.26</b>	<b>4.16</b>	<b>46.81</b>	<b>4.44</b>

**Tabla Nº 5: Volumen y Diámetro de Próstata (Grupo Nº 3 y Nº 4)**

Grupo N° 3		Grupo N° 4	
Volumen (cm <sup>3</sup> )	Diámetro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Diámetro (cm)
37.51	4.2	47.97	4.5
28.80	3.8	47.47	4.5
42.70	4.3	23.68	3.6
31.59	3.9	41.83	4.3
34.32	4.0	53.24	4.7
15.22	3.1	39.33	4.2
21.60	3.5	17.55	3.2
21.50	3.4	48.07	4.5
23.56	3.6	56.82	4.8
36.19	4.1	46.80	4.5
<b>29.29</b>	<b>3.79</b>	<b>42.27</b>	<b>4.28</b>

El grupo N° 1 se constituyó con 1 paciente del año 2007, 4 pacientes del año 2008, 3 pacientes del año 2009 y 2 pacientes del año 2010, cuyo volumen y diámetro promedio fueron 39.26 y 4.16 respectivamente. El grupo N° 2 se constituyó con 6 paciente del año 2007, 4 pacientes del año 2008, cuyo volumen y diámetro promedio fueron 46.81 y 4.44 respectivamente. El grupo N° 3 se constituyó con 9 pacientes del año 2008, 1 pacientes del año 2009, cuyo volumen y diámetro promedio fueron 29.29 y 3.79 respectivamente. El grupo N° 4 se constituyó con un 8 pacientes del año 2009 y 2 pacientes del año 2010, cuyo volumen y diámetro promedio fueron 42.27 y 4.28 respectivamente. Finalmente el promedio de los 40 pacientes fue de 39.40 para el volumen de la próstata y de 4.16 para el diámetro de la misma.

### **3.4.3.- Dosis planificada en pacientes haciendo uso de la técnica de Arcos Dinámicos.**

Para la realización de esta sección se tomaron en cuenta al azar 10 de los 40 pacientes con ADC de Próstata y Prostatectomía Radical escogidos anteriormente con tratamiento de radioterapia conformada.

La escogencia fue la siguiente: 1 paciente del año 2007, 4 pacientes del año 2008, 3 pacientes del año 2009 y finalmente 2 pacientes del año 2010; los cuales constituían los pacientes del grupo N° 1, cuyo volumen y diámetro promedio, fueron expuestos en la sección anterior.

A cada uno de estos pacientes se les realizaron 33 planes de tratamiento haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos; tomando 11 planes de tratamiento para la fase inicial, 11 planes para la 1<sup>era</sup> Reducción y 11 planes para la 2<sup>da</sup> Reducción; las características de cada uno de los planes de arcos dinámicos se repitió para las diferentes etapas de tratamiento.

La característica de cada uno de esos planes fue la siguiente:

**Tabla N° 6: Planes de Tratamiento con la Técnica de Arcos Dinámicos**

Plan	Descripción		
	Campo	Ángulos	
		Start Gantry:	Stop Gantry:
Arco 0	Arco Único	260.0	100.0
Arco 1	Arco Único	230.0	130.0
Arco 2	Arco Único D	285.0	10.0
	Arco Único I	75.0	20.0
Arco 3	Arco Único D	240.0	345.0
	Arco Único I	125.0	15.0
Arco 4	Arco Único D	240.0	345.0
	Arco Único I	125.0	15.0
Arco 5	Arco 1	285.0	83.0
	Arco 2	125.0	90.0
	Arco 3	235.0	270.0
Arco 6	Arco 1	280.0	345.0
	Arco 2	160.0	105.0
	Arco 3	200.0	260.0
	Arco 4	78.0	12.0
Arco 7	Arco 1	320.0	40.0
	Arco 2	170.0	120.0
	Arco 3	230.0	270.0
Arco 8	Arco Único D	210.0	345.0
	Arco Único I	150.0	15.0
Arco 9	Arco Único D	185.0	280.0
	Arco Único I	175.0	75.0
Arco 10	Arco Único	290.0	70.0



El Arco 3 y El Arco 4 tienen las mismas características por que con estos dos planes se quería demostrar que al hacer un pequeño cambio en el isocentro del tratamiento el plan de tratamiento varia.

#### 3.4.4.- Calibración de los Mosfet

En Radioterapia es de suma importancia la calibración de los Mosfet; ya que estos detectores nos permiten una verificación de la dosis impartida en los tratamientos tanto en la dosimetría in vitro como en la dosimetría in vivo.

Para dicha calibración se utilizó como referencia el manual de Mosfet<sup>(23)</sup> y el Protocolo TRS398<sup>(15)</sup>; con el mosfet modelo TN-502RD, cuyas características son:

- ◆ Cuentan con un área activa de  $0.1\text{mm}^2$ .
- ◆ Poseen un cable flexible de 1.4cm de largo y 3mm de ancho aproximadamente
- ◆ Poseen un área plana y otro abultado
- ◆ Poseen una fuente de poder “Bias Supply”, la cual cuenta con 5 canales donde se conectan los mosfet.
- ◆ Cuentan con un lector de voltaje.

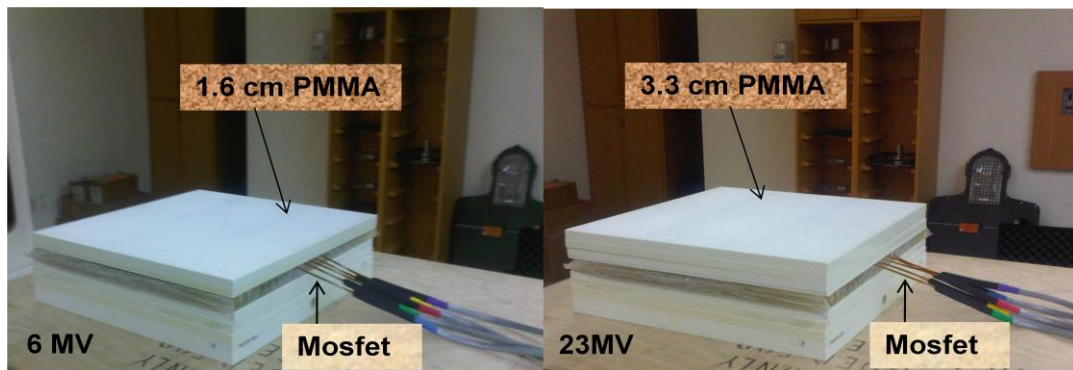


Figura N° 30: Detectores Mosfet

Para determinar el factor de calibración de los mosfet se plantearon las siguientes condiciones de referencia:

**Tabla Nº 7: Condiciones de Referencia**

Energía	Campo	Profundidad (PMMA)	Colimador y Gantry	Distancia Fuente Piel (DFP)	Unidades Monitor (UM)	Bolus
6MV	10x10	1.6 cm	0°	100 cm	100	1.5
23MV	10x10	3.3 cm	0°	100 cm	100	1.5



**Figura Nº 31: Condiciones de referencia para determinar Factor de Calibración de los Mosfet**

Para la calibración de los Mosfet es necesario determinar con antelación la dosis absorbida en aire en haces de fotones, utilizando la cámara de ionización<sup>(15),(23)</sup>, en este particular se utilizó la cámara de ionización cilíndrica de 0.6cc tipo FARMER de la PTW.

**Maquina**

**Consola**



**Figura Nº 32: Dosis absorbida utilizando cámara de ionización 0.6cc tipo FARMER de la PTW**

Finalmente para determinar el Factor de Calibración de los Mosfet<sup>(15),(23)</sup>, hacemos uso de la siguiente expresión:

$$F_c = \frac{\text{Lectura (mv)}}{\text{Dosis absorbida de Referencia}}$$

### **3.4.5.- Preparación del Maniquí**

Para la puesta en práctica de la dosimetría in vitro, en tratamientos de Cáncer de Próstata, fue necesario la construcción de un maniquí Pélvico.

El primer paso para la realización del maniquí fue la adquisición del mismo, una vez que adquirido procedimos a cortar el maniquí, de manera de trabajar únicamente con el área pélvica.



**Figura N° 33: Cortes del Maniquí**

Posteriormente se procedió a construir el maniquí, bajo las características descritas en la sección 3.2.3.



**Figura N° 34: Maniquí Construido**

#### **3.4.6.- Simulación del Tratamiento**

Los sistemas de inmovilización en los tratamientos de radioterapia son de vital importancia, ya que estos nos garantizan el éxito y la efectividad de la

reproducibilidad de la radioterapia; por eso a los pacientes con cáncer de próstata, se les inmovilizan con un colchón al vacío.

Simulando el maniquí como un paciente con cáncer de próstata, se le realizó la inmovilización con el colchón; posteriormente se procedió a realizar la tomografía computarizada (CT) del maniquí.



**Figura Nº 35: Simulación Del Tratamiento**

Con la CT se pudo comprobar de manera muy sencilla que la preparación de la gelatina (colocada dentro del maniquí) posee una densidad aproximada a la de la próstata, esto se logró midiendo las unidades de Hounsfield en la gelatina en la imagen de CT.

Luego de confirmar las unidades de Hounsfield, en la imagen obtenida del maniquí es enviada al sistema de planificación para realizar la reconstrucción 3D de las imágenes obtenidas, seguidamente se procedió a la

delimitación del volumen a tratar; se realizó el plan de tratamiento, haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos.

Finalmente se transfiere el plan de tratamiento a la consola del acelerador para dar inicio a la dosimetría in vitro.

### 3.4.7.- Planificación de la “Dosimetría in Vitro”

Para realizar la planificación del tratamiento utilizamos el Sistema de planificación Eclipse, versión 8.9 (ver sección 3.3.2); en la cual se realizó la reconstrucción de la imagen obtenida del maniquí en tomografía, posteriormente se procedió a delimitar las estructuras de interés.

Para simular los órganos de interés en el maniquí (órganos a riesgos, que en nuestros casos serían: Recto, Vejiga, Bulbo del Pene y el lecho tumoral “Próstata”); se colocaron unos marcadores radiopacos (estaño) dentro del maniquí, y unos marcadores fiduciales fuera del maniquí; todos los marcadores son usados como referencias para la planificación del tratamiento.

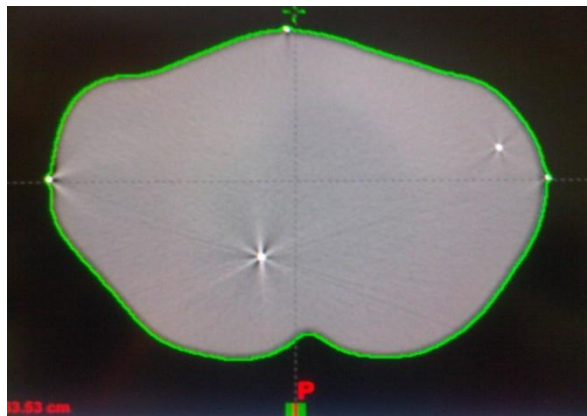
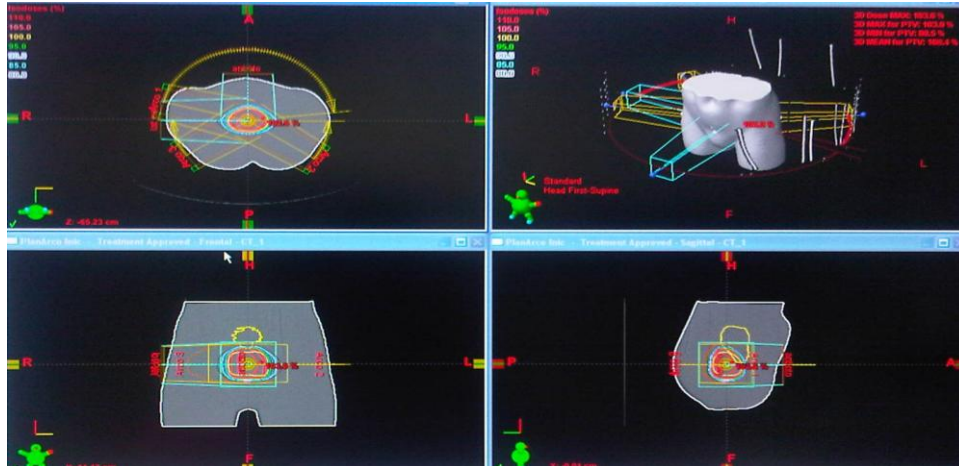


Figura N° 36: Marcadores radiopacos y fiduciales.

Se diseñó un plan de tratamiento isocéntrico, con una dosis diaria de 200cGy y con 5 sesiones para cada plan (fase inicial, 1<sup>era</sup> Reducción y 2<sup>da</sup>

Reducción); cumpliendo con las características del plan de arcos dinámicos escogido; estos planes se realizaron para los potenciales de aceleración de 6MV y 23MV.



**Figura Nº 37: Planificación con técnica de Arco dinámicos**

Procedimos a colocar los dosímetros mosfet dentro del maniquí, de manera que quedaran varios detectores dentro del volumen tumoral, otro en la periferia de dicho volumen o cerca de las estructuras consideradas como órganos a riesgos y finalmente un mosfet alejado del volumen tumoral; posteriormente se procedió a posicionar el maniquí dentro del inmovilizador para luego realizar la entrega de tratamiento.



**Figura Nº 38: Posicionamiento Maniquí**

## Capítulo IV

### Resultados Experimentales

#### 4.- Resultados Experimentales.

En este capítulo presentamos los resultados derivados de la estadística de dosis entregadas en los pacientes con prostatectomía radical haciendo uso de la Radioterapia Conformada y la estadística de dosis planificada en pacientes haciendo uso de los arcos dinámicos. Para ambas estadísticas se elaboraron representaciones graficas “de modo histogramas” de la dosis que recibieron las asas intestinales, el recto, la vejiga, las vesículas seminales, el bulbo y la próstata para el 30%, 50%, 70% y 100% del volumen de cada uno de estos órganos, así como también se estableció una comparación órgano a órgano de la dosis planificada para cada uno de los planes de arcos dinámicos, representándose también gráficamente esta estadística.

Posteriormente se procedió hacer uso de la dosimetría in vitro, y con estos resultados se diseño finalmente la propuesta de Protocolo para pacientes con ADC de Próstata y Prostatectomía Radical, haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos.



#### 4.1.- Estadística de Dosis Entregadas en pacientes con Prostatectomía Radical (Radioterapia Conformada)

Para desarrollar esta estadística de dosis tomamos 40 pacientes con ADC de Próstata y Prostatectomía Radical, distribuidos tal como se expuso en la sección 3.4.1.

Consideramos las dosis que recibieron dichos pacientes durante su tratamiento (fase inicial, 1<sup>era</sup> reducción, 2<sup>da</sup> reducción); ésta estadística se obtuvo haciendo uso de los histogramas dosis volumen en los cuales se reflejaban las dosis impartidas a los diferentes órganos involucrados (Asas Intestinales, Recto, Vejiga, Vesículas seminales, Bulbo y Próstata) en el tratamiento conformado de cáncer de próstata.

Los resultados en promedio obtenidos para los 40 pacientes y considerando el 30%, 50%, 70%, 100% del volumen de cada uno de los órganos involucrados en el tratamiento fueron los siguientes:

**Tabla N° 8: Dosis en pacientes (Radioterapia Conformada “Plan Inicial”)**

<b>PLAN INICIAL</b>				
<b>ÓRGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	1.619 ± 0.001	1.134 ± 0.001	0.576 ± 0.001	0.231 ± 0.001
RECTO	39.649 ± 0.001	28.322 ± 0.001	18.705 ± 0.001	1.222 ± 0.001
VEJIGA	36.000 ± 0.001	20.587 ± 0.001	11.205 ± 0.001	0.870 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	48.717 ± 0.001	48.488 ± 0.001	48.099 ± 0.001	44.275 ± 0.001
PROSTATA	47.651 ± 0.001	47.544 ± 0.001	47.528 ± 0.001	44.262 ± 0.001
BULBO	18.864 ± 0.001	16.589 ± 0.001	10.866 ± 0.001	7.007 ± 0.001

**Tabla Nº 9: Dosis en pacientes (Radioterapia Conformada “1<sup>ERA</sup> Reducción”)**

<b>1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ÓRGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.145 ± 0.001	0.118 ± 0.001	0.085 ± 0.001	0.039 ± 0.001
RECTO	6.177 ± 0.001	2.766 ± 0.001	1.273 ± 0.001	0.239 ± 0.001
VEJIGA	7.165 ± 0.001	3.165 ± 0.001	1.883 ± 0.001	0.168 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	13.051 ± 0.001	10.421 ± 0.001	7.715 ± 0.001	2.718 ± 0.001
PROSTATA	14.965 ± 0.001	14.530 ± 0.001	14.862 ± 0.001	14.314 ± 0.001
BULBO	6.747 ± 0.001	5.294 ± 0.001	4.058 ± 0.001	2.396 ± 0.001

**Tabla Nº 10: Dosis en pacientes (Radioterapia Conformada “2<sup>DA</sup> Reducción”)**

<b>2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ÓRGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.057 ± 0.001	0.044 ± 0.001	0.033 ± 0.001	0.014 ± 0.001
RECTO	1.952 ± 0.001	1.090 ± 0.001	0.455 ± 0.001	0.044 ± 0.001
VEJIGA	2.216 ± 0.001	0.832 ± 0.001	0.383 ± 0.001	0.078 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	4.636 ± 0.001	3.669 ± 0.001	2.401 ± 0.001	1.293 ± 0.001
PROSTATA	6.594 ± 0.001	6.559 ± 0.001	6.513 ± 0.001	6.196 ± 0.001
BULBO	3.303 ± 0.001	1.780 ± 0.001	1.301 ± 0.001	0.795 ± 0.001

Los histogramas dosis volumen (HDV), especifican para el tratamiento planificado generalmente, la fracción del volumen, estructuras u órganos a riesgo (OAR) irradiado en función del valor de dosis recibido. Los HDV son una herramienta fundamental cuando se desea comparar planes de tratamiento, ya que nos permite visualizar con mayor claridad los aspectos involucrados en la planificación.<sup>(17)</sup>

Gracias a las mejoras que han surgido en los tratamientos conformados se espera que en los HDV el volumen blanco reciba la dosis completa prescrita, y se mantengan a baja dosis los OAR de manera de controlar las complicaciones a dichos órganos. <sup>(27)</sup>

Representamos gráficamente en forma de histogramas los promedios obtenidos para la planificación conformada de próstata, para visualizar la dosis tal como lo obtenemos en el sistema de planificación eclipse, con la finalidad de mostrar las dosis recibida por el blanco y OAR.

Figura N° 39: Histograma Dosis Volumen Plan Conformado Tratamiento Inicial

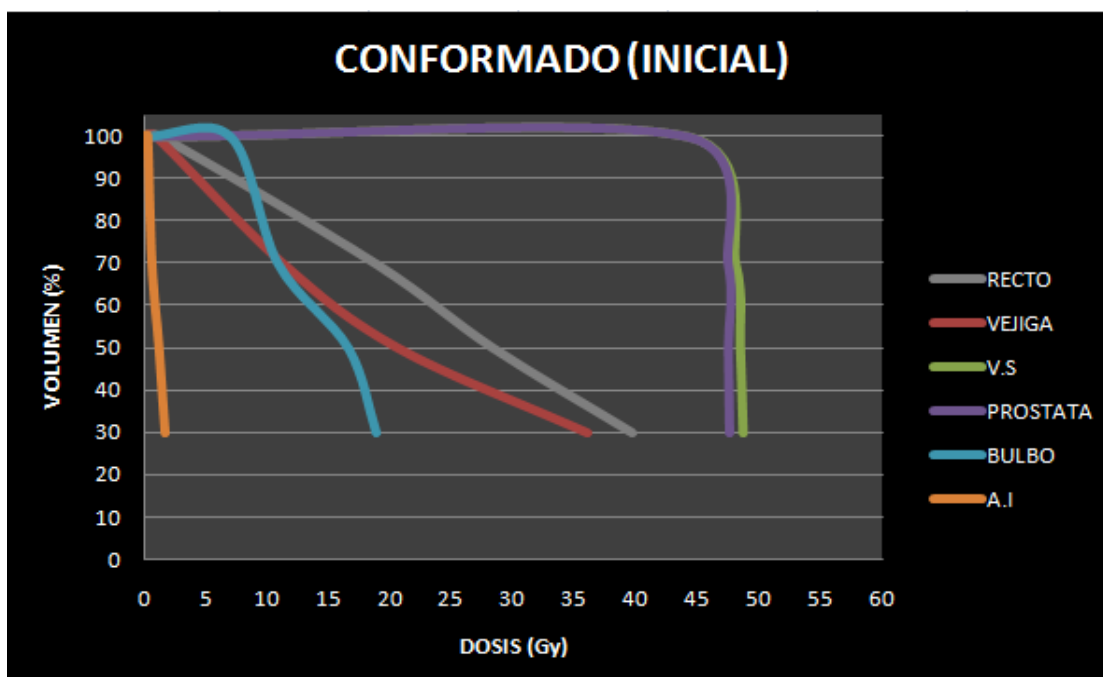


Figura Nº 40: Histograma Dosis Volúmen Plan Conformado 1<sup>ERA</sup> Reducción

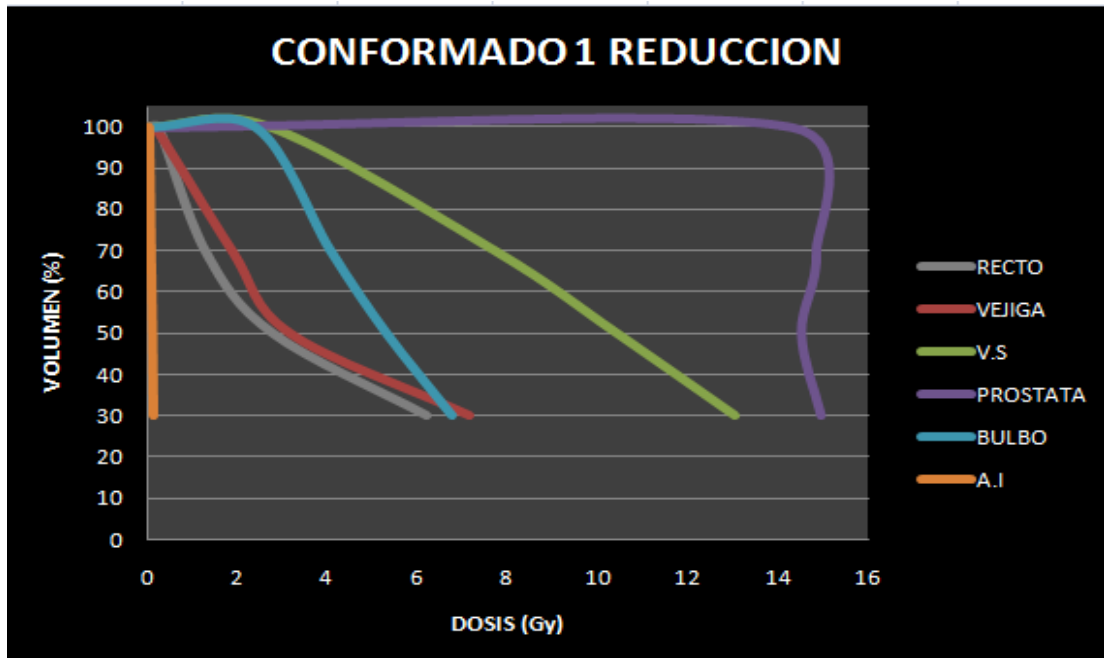
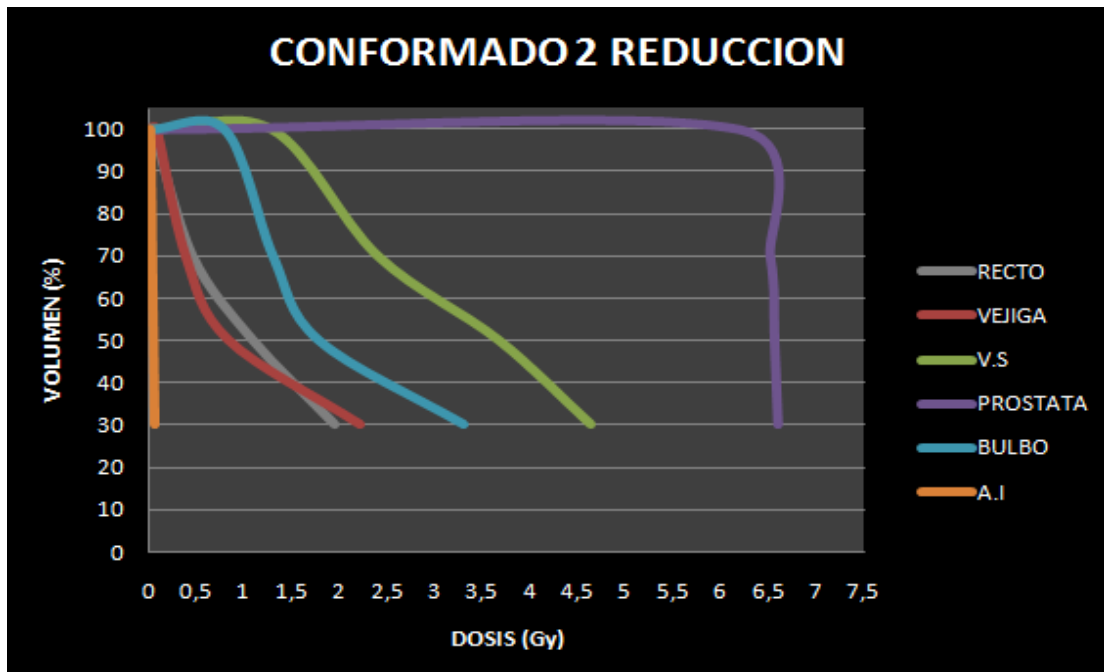


Figura Nº 41: Histograma Dosis Volúmen Plan Conformado 2<sup>DA</sup> Reducción



#### 4.2.- Estadística de Dosis Planificada en pacientes haciendo uso de los Arcos Dinámicos.

Para desarrollar esta estadística de dosis tomamos al azar 10 de los 40 pacientes con ADC de Próstata y Prostatectomía Radical escogidos anteriormente con tratamiento de radioterapia conformada, distribuidos tal como se expuso en la sección 3.4.3.

A cada uno de estos pacientes se les realizaron 33 planes de tratamiento haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos; tomando 11 planes de tratamiento para la fase inicial, 11 planes para la 1<sup>era</sup> Reducción y 11 planes para la 2<sup>da</sup> Reducción; las características de cada uno de los planes de arcos dinámicos se repitió para las diferentes etapas de tratamiento. Obteniendo para cada uno de ellos el histograma dosis volumen con el cual se pudo determinar de forma teórica las dosis que recibirían los pacientes de haber sido tratados con dicha técnica radioterapéutica.

Los resultados en promedio obtenidos para los 10 pacientes y considerando el 30%, 50%, 70%, 100% del volumen de cada uno de los órganos involucrados en el tratamiento y para cada uno de los planes de arcos dinámicos fueron los siguientes:

**Tabla N° 11: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 0” Plan Inicial)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 0</b>	<b>PLAN INICIAL</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.305 ± 0.001	0.198 ± 0.001	0.133 ± 0.001	0.050 ± 0.001
RECTO	36.254 ± 0.001	30.713 ± 0.001	21.506 ± 0.001	1.956 ± 0.001
VEJIGA	38.162 ± 0.001	23.845 ± 0.001	15.417 ± 0.001	5.688 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	43.513 ± 0.001	42.989 ± 0.001	42.523 ± 0.001	39.165 ± 0.001
PROSTATA	47.957 ± 0.001	46.802 ± 0.001	45.781 ± 0.001	41.757 ± 0.001
BULBO	21.260 ± 0.001	16.205 ± 0.001	12.191 ± 0.001	6.611 ± 0.001

**Tabla Nº 12: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 1” Plan Inicial)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 1</b>	<b>PLAN INICIAL</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.332 ± 0.001	0.218 ± 0.001	0.160 ± 0.001	0.050 ± 0.001
RECTO	37.666 ± 0.001	31.276 ± 0.001	21.509 ± 0.001	1.923 ± 0.001
VEJIGA	36.856 ± 0.001	22.531 ± 0.001	14.254 ± 0.001	4.439 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	41.867 ± 0.001	44.060 ± 0.001	43.715 ± 0.001	41.820 ± 0.001
PROSTATA	46.915 ± 0.001	45.342 ± 0.001	45.359 ± 0.001	42.603 ± 0.001
BULBO	20.968 ± 0.001	16.051 ± 0.001	12.070 ± 0.001	6.441 ± 0.001

**Tabla Nº 13: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 2” Plan Inicial)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 2</b>	<b>PLAN INICIAL</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.305 ± 0.001	0.200 ± 0.001	0.137 ± 0.001	0.041 ± 0.001
RECTO	37.498 ± 0.001	33.704 ± 0.001	23.939 ± 0.001	2.058 ± 0.001
VEJIGA	40.650 ± 0.001	25.470 ± 0.001	16.915 ± 0.001	6.457 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	43.202 ± 0.001	42.373 ± 0.001	41.725 ± 0.001	38.598 ± 0.001
PROSTATA	48.517 ± 0.001	47.239 ± 0.001	46.133 ± 0.001	41.776 ± 0.001
BULBO	21.617 ± 0.001	16.531 ± 0.001	12.612 ± 0.001	6.932 ± 0.001

**Tabla Nº 14: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 3” Plan Inicial)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 3</b>	<b>PLAN INICIAL</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.314 ± 0.001	0.210 ± 0.001	0.150 ± 0.001	0.048 ± 0.001
RECTO	36.649 ± 0.001	29.611 ± 0.001	20.095 ± 0.001	1.900 ± 0.001
VEJIGA	35.713 ± 0.001	20.831 ± 0.001	12.828 ± 0.001	3.862 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	44.350 ± 0.001	44.066 ± 0.001	43.644 ± 0.001	41.751 ± 0.001
PROSTATA	46.926 ± 0.001	45.766 ± 0.001	45.343 ± 0.001	42.457 ± 0.001
BULBO	20.971 ± 0.001	15.947 ± 0.001	12.074 ± 0.001	6.370 ± 0.001

**Tabla Nº 15: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 4” Plan Inicial)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 4</b>	<b>PLAN INICIAL</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.308 ± 0.001	0.206 ± 0.001	0.148 ± 0.001	0.044 ± 0.001
RECTO	35.899 ± 0.001	29.074 ± 0.001	19.554 ± 0.001	1.821 ± 0.001
VEJIGA	34.627 ± 0.001	20.375 ± 0.001	12.452 ± 0.001	4.044 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	43.259 ± 0.001	42.685 ± 0.001	42.664 ± 0.001	41.332 ± 0.001
PROSTATA	45.429 ± 0.001	44.811 ± 0.001	44.147 ± 0.001	41.373 ± 0.001
BULBO	20.353 ± 0.001	15.371 ± 0.001	11.566 ± 0.001	5.958 ± 0.001

**Tabla Nº 16: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 5” Plan Inicial)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 5</b>	<b>PLAN INICIAL</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.351 ± 0.001	0.241 ± 0.001	0.175 ± 0.001	0.062 ± 0.001
RECTO	37.347 ± 0.001	28.844 ± 0.001	18.219 ± 0.001	1.617 ± 0.001
VEJIGA	33.763 ± 0.001	19.147 ± 0.001	11.187 ± 0.001	2.862 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	45.743 ± 0.001	45.562 ± 0.001	45.390 ± 0.001	44.020 ± 0.001
PROSTATA	45.368 ± 0.001	45.190 ± 0.001	44.895 ± 0.001	42.163 ± 0.001
BULBO	20.362 ± 0.001	15.351 ± 0.001	11.457 ± 0.001	6.208 ± 0.001

**Tabla Nº 17: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 6” Plan Inicial)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 6</b>	<b>PLAN INICIAL</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.403 ± 0.001	0.267 ± 0.001	0.193 ± 0.001	0.082 ± 0.001
RECTO	41.530 ± 0.001	36.408 ± 0.001	25.166 ± 0.001	1.892 ± 0.001
VEJIGA	37.416 ± 0.001	22.900 ± 0.001	14.813 ± 0.001	4.774 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	45.531 ± 0.001	45.097 ± 0.001	44.823 ± 0.001	44.001 ± 0.001
PROSTATA	45.937 ± 0.001	45.474 ± 0.001	45.121 ± 0.001	42.672 ± 0.001
BULBO	20.315 ± 0.001	15.454 ± 0.001	11.556 ± 0.001	6.444 ± 0.001

**Tabla Nº 18: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 7” Plan Inicial)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 7</b>	<b>PLAN INICIAL</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.437 ± 0.001	0.293 ± 0.001	0.206 ± 0.001	0.077 ± 0.001
RECTO	42.317 ± 0.001	38.401 ± 0.001	27.659 ± 0.001	2.460 ± 0.001
VEJIGA	37.341 ± 0.001	22.601 ± 0.001	14.781 ± 0.001	6.102 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	46.789 ± 0.001	45.973 ± 0.001	45.164 ± 0.001	43.061 ± 0.001
PROSTATA	44.998 ± 0.001	44.562 ± 0.001	44.218 ± 0.001	41.847 ± 0.001
BULBO	20.867 ± 0.001	16.168 ± 0.001	12.281 ± 0.001	6.429 ± 0.001

**Tabla Nº 19: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 8” Plan Inicial)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 8</b>	<b>PLAN INICIAL</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.386 ± 0.001	0.249 ± 0.001	0.172 ± 0.001	0.056 ± 0.001
RECTO	39.772 ± 0.001	34.307 ± 0.001	24.730 ± 0.001	2.421 ± 0.001
VEJIGA	35.319 ± 0.001	19.666 ± 0.001	12.504 ± 0.001	3.931 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	44.823 ± 0.001	44.713 ± 0.001	44.575 ± 0.001	43.163 ± 0.001
PROSTATA	45.503 ± 0.001	45.246 ± 0.001	44.917 ± 0.001	42.541 ± 0.001
BULBO	21.581 ± 0.001	16.817 ± 0.001	12.989 ± 0.001	6.630 ± 0.001

**Tabla Nº 20: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 9” Plan Inicial)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 9</b>	<b>PLAN INICIAL</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.511 ± 0.001	0.329 ± 0.001	0.235 ± 0.001	0.105 ± 0.001
RECTO	43.809 ± 0.001	39.269 ± 0.001	28.289 ± 0.001	2.235 ± 0.001
VEJIGA	33.801 ± 0.001	20.708 ± 0.001	11.613 ± 0.001	4.032 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	48.091 ± 0.001	47.545 ± 0.001	46.923 ± 0.001	44.257 ± 0.001
PROSTATA	43.893 ± 0.001	43.053 ± 0.001	42.283 ± 0.001	38.406 ± 0.001
BULBO	19.499 ± 0.001	14.985 ± 0.001	11.210 ± 0.001	5.750 ± 0.001



**Tabla Nº 21: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 10” Plan Inicial)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 10</b>	<b>PLAN INICIAL</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.332 ± 0.001	0.209 ± 0.001	0.131 ± 0.001	0.036 ± 0.001
RECTO	37.674 ± 0.001	34.234 ± 0.001	26.255 ± 0.001	2.703 ± 0.001
VEJIGA	40.448 ± 0.001	22.797 ± 0.001	17.049 ± 0.001	7.503 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	42.673 ± 0.001	41.933 ± 0.001	41.241 ± 0.001	38.585 ± 0.001
PROSTATA	47.860 ± 0.001	47.324 ± 0.001	46.057 ± 0.001	41.685 ± 0.001
BULBO	23.504 ± 0.001	18.628 ± 0.001	14.717 ± 0.001	7.852 ± 0.001

Los promedios obtenidos para los 11 planes de tratamiento de la 1<sup>era</sup> reducción, haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos, son los siguientes:

**Tabla Nº 22: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 0” 1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 0</b>	<b>1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.053 ± 0.001	0.031 ± 0.001	0.019 ± 0.001	0.003 ± 0.001
RECTO	7.166 ± 0.001	3.712 ± 0.001	0.923 ± 0.001	0.140 ± 0.001
VEJIGA	15.647 ± 0.001	3.001 ± 0.001	1.951 ± 0.001	0.227 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	10.807 ± 0.001	9.383 ± 0.001	7.669 ± 0.001	2.890 ± 0.001
PROSTATA	14.545 ± 0.001	14.188 ± 0.001	13.851 ± 0.001	12.540 ± 0.001
BULBO	6.738 ± 0.001	4.983 ± 0.001	3.485 ± 0.001	1.581 ± 0.001

**Tabla Nº 23: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 1” 1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ORGANO</b>	<b>ARCO 1</b>	<b>1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>		
	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.055 ± 0.001	0.033 ± 0.001	0.021 ± 0.001	0.003 ± 0.001
RECTO	6.966 ± 0.001	3.450 ± 0.001	0.835 ± 0.001	0.137 ± 0.001
VEJIGA	5.468 ± 0.001	2.870 ± 0.001	1.786 ± 0.001	0.233 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	11.033 ± 0.001	9.588 ± 0.001	7.786 ± 0.001	2.829 ± 0.001
PROSTATA	14.176 ± 0.001	13.935 ± 0.001	13.717 ± 0.001	12.704 ± 0.001
BULBO	6.533 ± 0.001	4.866 ± 0.001	3.449 ± 0.001	1.609 ± 0.001

**Tabla Nº 24: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 2” 1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 2 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.048 ± 0.001	0.029 ± 0.001	0.018 ± 0.001	0.002 ± 0.001
RECTO	8.408 ± 0.001	4.380 ± 0.001	1.030 ± 0.001	0.144 ± 0.001
VEJIGA	5.793 ± 0.001	3.119 ± 0.001	2.093 ± 0.001	0.224 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	10.785 ± 0.001	9.446 ± 0.001	7.878 ± 0.001	2.876 ± 0.001
PROSTATA	14.822 ± 0.001	14.398 ± 0.001	13.995 ± 0.001	12.519 ± 0.001
BULBO	6.956 ± 0.001	5.119 ± 0.001	3.545 ± 0.001	1.577 ± 0.001

**Tabla Nº 25: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 3” 1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 3 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.056 ± 0.001	0.035 ± 0.001	0.297 ± 0.001	0.111 ± 0.001
RECTO	6.244 ± 0.001	2.851 ± 0.001	0.751 ± 0.001	0.113 ± 0.001
VEJIGA	5.362 ± 0.001	2.833 ± 0.001	1.702 ± 0.001	0.236 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	10.949 ± 0.001	9.424 ± 0.001	7.510 ± 0.001	2.609 ± 0.001
PROSTATA	14.247 ± 0.001	13.985 ± 0.001	13.733 ± 0.001	12.619 ± 0.001
BULBO	6.625 ± 0.001	4.956 ± 0.001	3.522 ± 0.001	1.638 ± 0.001

**Tabla Nº 26: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 4” 1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 4 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.062 ± 0.001	0.034 ± 0.001	0.023 ± 0.001	0.003 ± 0.001
RECTO	6.058 ± 0.001	2.756 ± 0.001	0.744 ± 0.001	0.130 ± 0.001
VEJIGA	5.267 ± 0.001	2.704 ± 0.001	1.564 ± 0.001	0.222 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	10.747 ± 0.001	9.224 ± 0.001	7.297 ± 0.001	2.427 ± 0.001
PROSTATA	13.905 ± 0.001	13.674 ± 0.001	13.449 ± 0.001	12.412 ± 0.001
BULBO	6.551 ± 0.001	4.919 ± 0.001	3.511 ± 0.001	1.628 ± 0.001

**Tabla Nº 27: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 5” 1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 5 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.067 ± 0.001	0.042 ± 0.001	0.029 ± 0.001	0.007 ± 0.001
RECTO	5.464 ± 0.001	2.139 ± 0.001	0.630 ± 0.001	0.126 ± 0.001
VEJIGA	5.108 ± 0.001	2.672 ± 0.001	1.516 ± 0.001	0.244 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	11.311 ± 0.001	9.741 ± 0.001	7.693 ± 0.001	2.422 ± 0.001
PROSTATA	13.768 ± 0.001	13.664 ± 0.001	13.555 ± 0.001	12.801 ± 0.001
BULBO	6.295 ± 0.001	4.749 ± 0.001	3.450 ± 0.001	1.669 ± 0.001

**Tabla Nº 28: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 6” 1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 6 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.063 ± 0.001	0.041 ± 0.001	0.027 ± 0.001	0.009 ± 0.001
RECTO	8.261 ± 0.001	4.064 ± 0.001	0.873 ± 0.001	0.130 ± 0.001
VEJIGA	5.284 ± 0.001	2.741 ± 0.001	1.712 ± 0.001	0.236 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	11.390 ± 0.001	10.074 ± 0.001	8.205 ± 0.001	2.924 ± 0.001
PROSTATA	13.854 ± 0.001	13.755 ± 0.001	13.645 ± 0.001	12.932 ± 0.001
BULBO	6.377 ± 0.001	4.784 ± 0.001	3.443 ± 0.001	1.640 ± 0.001

**Tabla Nº 29: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 7” 1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 7 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.065 ± 0.001	0.043 ± 0.001	0.029 ± 0.001	0.006 ± 0.001
RECTO	9.017 ± 0.001	4.785 ± 0.001	0.960 ± 0.001	0.137 ± 0.001
VEJIGA	5.359 ± 0.001	2.770 ± 0.001	1.772 ± 0.001	0.235 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	11.612 ± 0.001	10.354 ± 0.001	8.514 ± 0.001	2.948 ± 0.001
PROSTATA	13.647 ± 0.001	13.551 ± 0.001	13.439 ± 0.001	12.817 ± 0.001
BULBO	6.104 ± 0.001	4.592 ± 0.001	3.332 ± 0.001	1.616 ± 0.001

**Tabla Nº 30: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 8” 1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 8 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.060 ± 0.001	0.039 ± 0.001	0.026 ± 0.001	0.006 ± 0.001
RECTO	7.342 ± 0.001	3.468 ± 0.001	0.782 ± 0.001	0.129 ± 0.001
VEJIGA	5.261 ± 0.001	2.774 ± 0.001	1.656 ± 0.001	0.237 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	11.223 ± 0.001	9.750 ± 0.001	7.866 ± 0.001	2.782 ± 0.001
PROSTATA	13.919 ± 0.001	13.780 ± 0.001	13.644 ± 0.001	12.873 ± 0.001
BULBO	6.399 ± 0.001	4.806 ± 0.001	3.458 ± 0.001	1.650 ± 0.001

**Tabla Nº 31: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 9” 1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 9 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.071 ± 0.001	0.049 ± 0.001	0.035 ± 0.001	0.014 ± 0.001
RECTO	8.718 ± 0.001	4.561 ± 0.001	0.776 ± 0.001	0.120 ± 0.001
VEJIGA	4.874 ± 0.001	2.485 ± 0.001	1.419 ± 0.001	0.240 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	11.879 ± 0.001	10.503 ± 0.001	8.580 ± 0.001	2.757 ± 0.001
PROSTATA	13.354 ± 0.001	13.135 ± 0.001	12.896 ± 0.001	11.934 ± 0.001
BULBO	5.709 ± 0.001	4.375 ± 0.001	3.281 ± 0.001	1.664 ± 0.001

**Tabla Nº 32: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 10” 1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 10 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.047 ± 0.001	0.028 ± 0.001	0.018 ± 0.001	0.002 ± 0.001
RECTO	8.868 ± 0.001	4.833 ± 0.001	1.127 ± 0.001	0.144 ± 0.001
VEJIGA	5.935 ± 0.001	3.181 ± 0.001	2.119 ± 0.001	0.219 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	10.779 ± 0.001	9.481 ± 0.001	7.920 ± 0.001	3.023 ± 0.001
PROSTATA	14.830 ± 0.001	14.394 ± 0.001	13.991 ± 0.001	12.547 ± 0.001
BULBO	6.903 ± 0.001	5.055 ± 0.001	3.481 ± 0.001	1.534 ± 0.001

Los promedios obtenidos para los 11 planes de tratamiento de la 2<sup>da</sup> reducción, haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos, son los siguientes:

**Tabla Nº 33: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 0” 2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 0 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.016 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.005 ± 0.001	0.001 ± 0.001
RECTO	2.628 ± 0.001	1.162 ± 0.001	0.231 ± 0.001	0.046 ± 0.001
VEJIGA	1.581 ± 0.001	0.760 ± 0.001	0.286 ± 0.001	0.049 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	3.979 ± 0.001	3.080 ± 0.001	2.079 ± 0.001	0.525 ± 0.001
PROSTATA	6.169 ± 0.001	6.014 ± 0.001	5.865 ± 0.001	5.219 ± 0.001
BULBO	3.067 ± 0.001	2.337 ± 0.001	1.636 ± 0.001	0.691 ± 0.001

**Tabla Nº 34: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 1” 2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 1 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.017 ± 0.001	0.011 ± 0.001	0.008 ± 0.001	0.001 ± 0.001
RECTO	2.535 ± 0.001	1.054 ± 0.001	0.213 ± 0.001	0.131 ± 0.001
VEJIGA	1.523 ± 0.001	0.709 ± 0.001	0.285 ± 0.001	0.094 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	4.083 ± 0.001	3.159 ± 0.001	2.115 ± 0.001	0.522 ± 0.001
PROSTATA	6.009 ± 0.001	5.907 ± 0.001	5.805 ± 0.001	5.302 ± 0.001
BULBO	2.984 ± 0.001	2.286 ± 0.001	1.616 ± 0.001	0.693 ± 0.001

**Tabla Nº 35: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 2” 2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 2 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.015 ± 0.001	0.008 ± 0.001	0.005 ± 0.001	0.001 ± 0.001
RECTO	3.047 ± 0.001	1.364 ± 0.001	0.252 ± 0.001	0.044 ± 0.001
VEJIGA	1.633 ± 0.001	0.813 ± 0.001	0.286 ± 0.001	0.046 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	3.942 ± 0.001	3.088 ± 0.001	2.157 ± 0.001	0.510 ± 0.001
PROSTATA	6.281 ± 0.001	6.097 ± 0.001	5.921 ± 0.001	5.200 ± 0.001
BULBO	3.149 ± 0.001	2.398 ± 0.001	1.666 ± 0.001	0.693 ± 0.001

**Tabla Nº 36: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 3” 2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 3 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.017 ± 0.001	0.011 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.001 ± 0.001
RECTO	2.251 ± 0.001	0.878 ± 0.001	0.194 ± 0.001	0.043 ± 0.001
VEJIGA	1.493 ± 0.001	0.664 ± 0.001	0.284 ± 0.001	0.053 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	4.061 ± 0.001	3.090 ± 0.001	2.029 ± 0.001	0.484 ± 0.001
PROSTATA	6.042 ± 0.001	5.930 ± 0.001	5.814 ± 0.001	5.269 ± 0.001
BULBO	3.021 ± 0.001	2.314 ± 0.001	1.634 ± 0.001	0.696 ± 0.001

**Tabla Nº 37: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 4” 2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 4 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.017 ± 0.001	0.010 ± 0.001	0.006 ± 0.001	0.001 ± 0.001
RECTO	2.201 ± 0.001	0.860 ± 0.001	0.193 ± 0.001	0.043 ± 0.001
VEJIGA	1.467 ± 0.001	0.652 ± 0.001	0.280 ± 0.001	0.052 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	3.987 ± 0.001	3.034 ± 0.001	1.994 ± 0.001	0.539 ± 0.001
PROSTATA	5.844 ± 0.001	5.795 ± 0.001	5.689 ± 0.001	5.180 ± 0.001
BULBO	2.972 ± 0.001	2.292 ± 0.001	1.629 ± 0.001	0.695 ± 0.001

**Tabla Nº 38: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 5” 2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 5 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.021 ± 0.001	0.013 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.002 ± 0.001
RECTO	1.963 ± 0.001	0.665 ± 0.001	0.172 ± 0.001	0.043 ± 0.001
VEJIGA	1.413 ± 0.001	0.618 ± 0.001	0.282 ± 0.001	0.058 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	4.241 ± 0.001	3.225 ± 0.001	2.090 ± 0.001	0.483 ± 0.001
PROSTATA	5.846 ± 0.001	5.792 ± 0.001	5.723 ± 0.001	5.373 ± 0.001
BULBO	2.904 ± 0.001	2.234 ± 0.001	1.587 ± 0.001	0.697 ± 0.001

**Tabla Nº 39: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 6” 2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 6 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.020 ± 0.001	0.013 ± 0.001	0.008 ± 0.001	0.002 ± 0.001
RECTO	2.967 ± 0.001	1.290 ± 0.001	0.219 ± 0.001	0.042 ± 0.001
VEJIGA	1.468 ± 0.001	0.691 ± 0.001	0.288 ± 0.001	0.056 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	4.230 ± 0.001	3.302 ± 0.001	2.208 ± 0.001	0.535 ± 0.001
PROSTATA	5.885 ± 0.001	5.828 ± 0.001	5.751 ± 0.001	5.420 ± 0.001
BULBO	2.944 ± 0.001	2.257 ± 0.001	1.598 ± 0.001	0.700 ± 0.001

**Tabla Nº 40: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 7” 2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 7 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.021 ± 0.001	0.013 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.002 ± 0.001
RECTO	3.323 ± 0.001	1.496 ± 0.001	0.238 ± 0.001	0.043 ± 0.001
VEJIGA	1.503 ± 0.001	0.746 ± 0.001	0.293 ± 0.001	0.120 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	4.323 ± 0.001	3.420 ± 0.001	2.312 ± 0.001	0.479 ± 0.001
PROSTATA	5.803 ± 0.001	5.743 ± 0.001	5.673 ± 0.001	5.331 ± 0.001
BULBO	2.858 ± 0.001	2.209 ± 0.001	1.572 ± 0.001	0.712 ± 0.001

**Tabla Nº 41: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 8” 2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 8 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.019 ± 0.001	0.012 ± 0.001	0.008 ± 0.001	0.001 ± 0.001
RECTO	2.632 ± 0.001	1.052 ± 0.001	0.199 ± 0.001	0.042 ± 0.001
VEJIGA	1.461 ± 0.001	0.659 ± 0.001	0.285 ± 0.001	0.054 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	4.156 ± 0.001	3.203 ± 0.001	2.124 ± 0.001	0.511 ± 0.001
PROSTATA	5.905 ± 0.001	5.839 ± 0.001	5.761 ± 0.001	5.387 ± 0.001
BULBO	2.943 ± 0.001	2.265 ± 0.001	1.612 ± 0.001	0.709 ± 0.001

**Tabla Nº 42: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 9” 2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 9 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.024 ± 0.001	0.016 ± 0.001	0.011 ± 0.001	0.003 ± 0.001
RECTO	3.205 ± 0.001	1.412 ± 0.001	0.197 ± 0.001	0.038 ± 0.001
VEJIGA	1.370 ± 0.001	0.617 ± 0.001	0.311 ± 0.001	0.060 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	4.420 ± 0.001	3.489 ± 0.001	2.316 ± 0.001	0.510 ± 0.001
PROSTATA	5.659 ± 0.001	5.556 ± 0.001	5.450 ± 0.001	4.908 ± 0.001
BULBO	2.699 ± 0.001	2.107 ± 0.001	1.525 ± 0.001	0.689 ± 0.001

**Tabla Nº 43: Dosis en pacientes (Arcos Dinámicos “Plan Arco 10” 2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ARCO 10 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN</b>				
<b>ORGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.015 ± 0.001	0.008 ± 0.001	0.005 ± 0.001	0.001 ± 0.001
RECTO	3.254 ± 0.001	1.510 ± 0.001	0.273 ± 0.001	0.045 ± 0.001
VEJIGA	1.667 ± 0.001	0.839 ± 0.001	0.287 ± 0.001	0.046 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	3.934 ± 0.001	3.093 ± 0.001	2.133 ± 0.001	0.522 ± 0.001
PROSTATA	6.283 ± 0.001	6.094 ± 0.001	5.918 ± 0.001	5.217 ± 0.001
BULBO	3.140 ± 0.001	2.390 ± 0.001	1.656 ± 0.001	0.691 ± 0.001

Representamos gráficamente en forma de histogramas los promedios obtenidos para la planificación haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos, para visualizar la dosis tal como lo obtenemos en el sistema de planificación eclipse, con la finalidad de mostrar las dosis recibida por el blanco y los órganos a riesgo.



### Histograma: Plan Inicial

Figura Nº 42: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 0

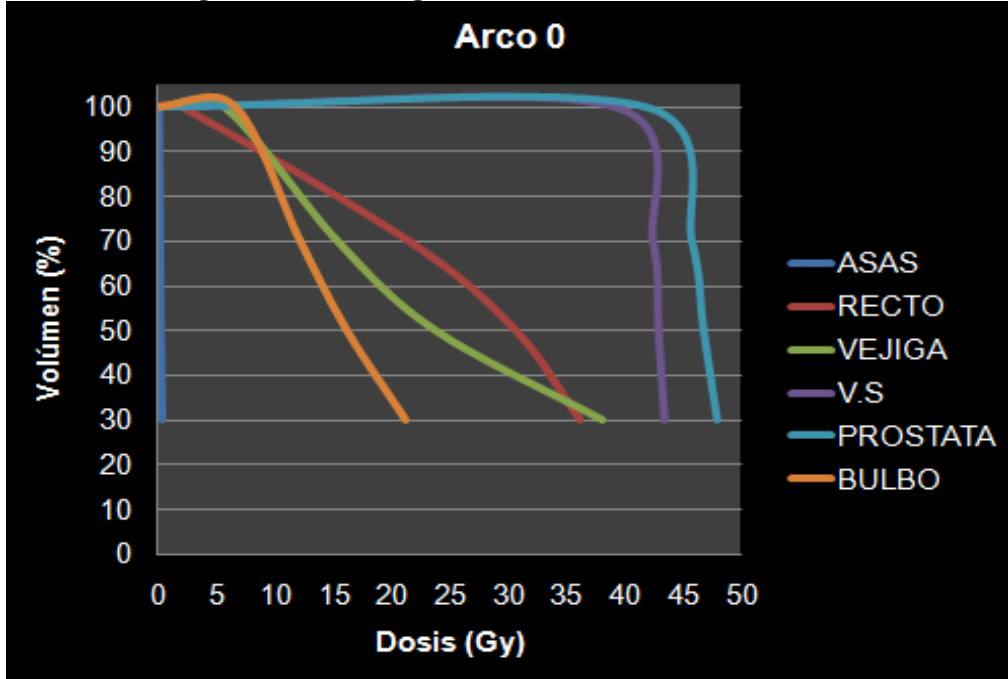


Figura Nº 43: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 1

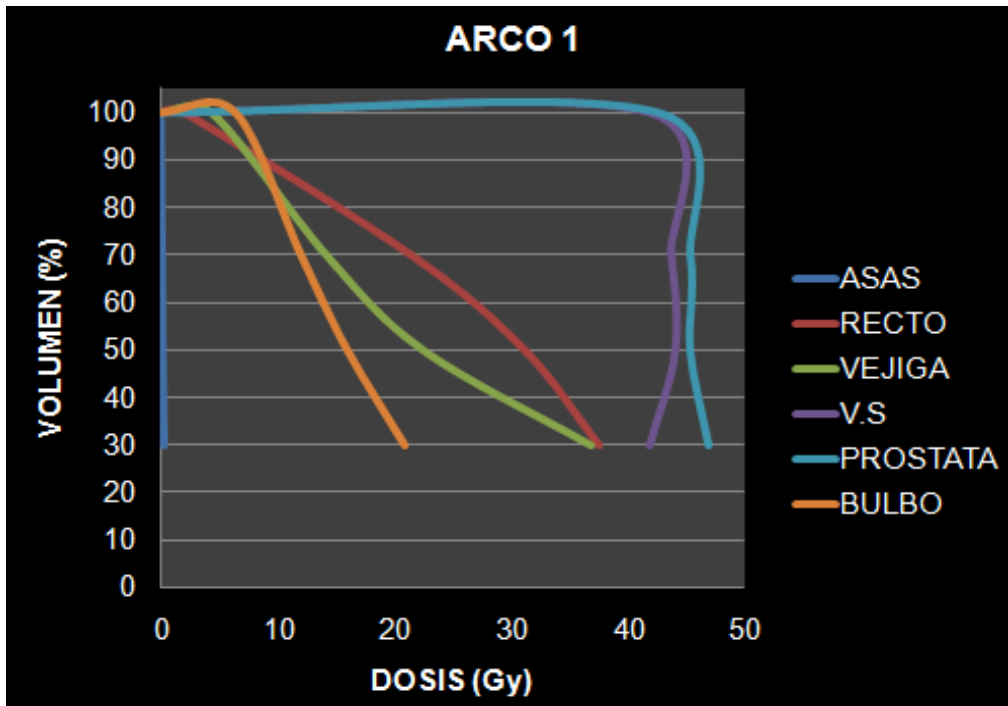


Figura N° 44: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 2

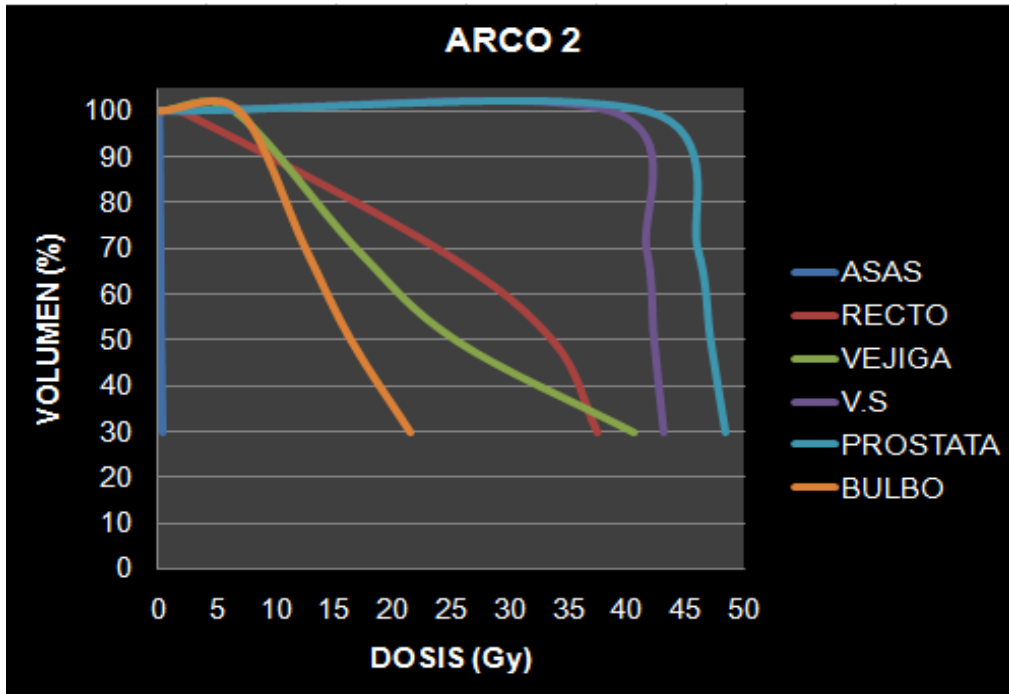


Figura N° 45: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 3

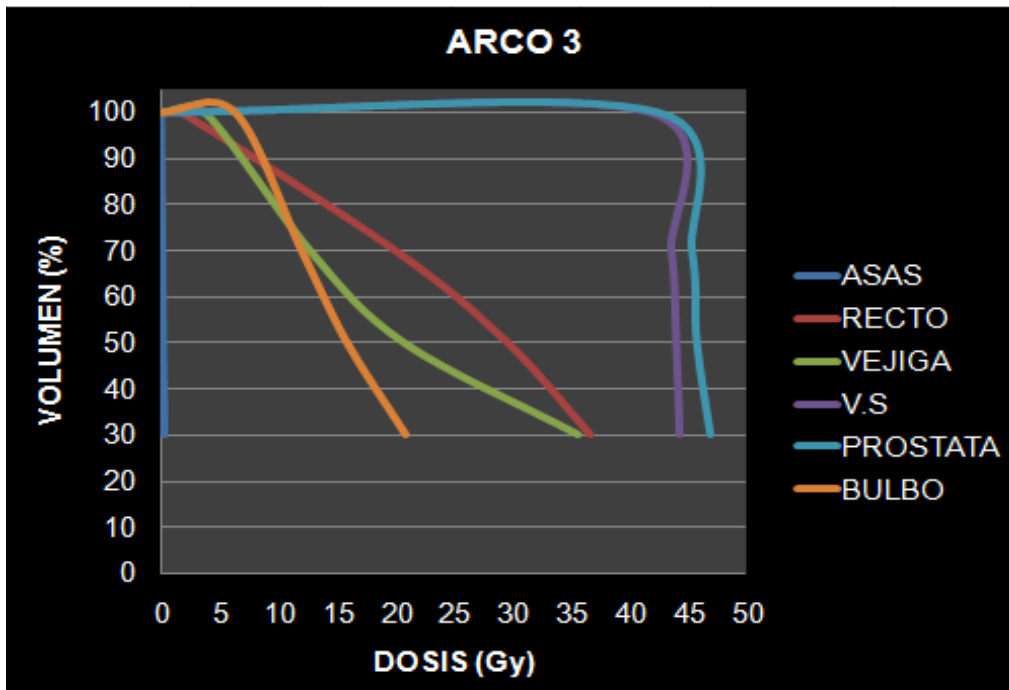


Figura N° 46: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 4

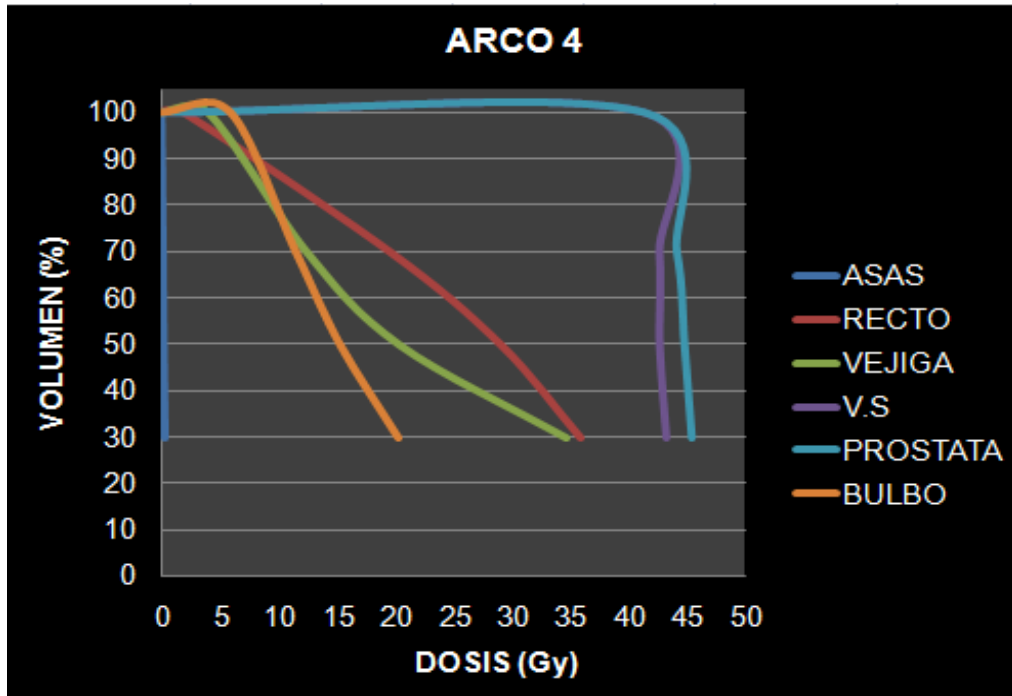


Figura N° 47: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 5

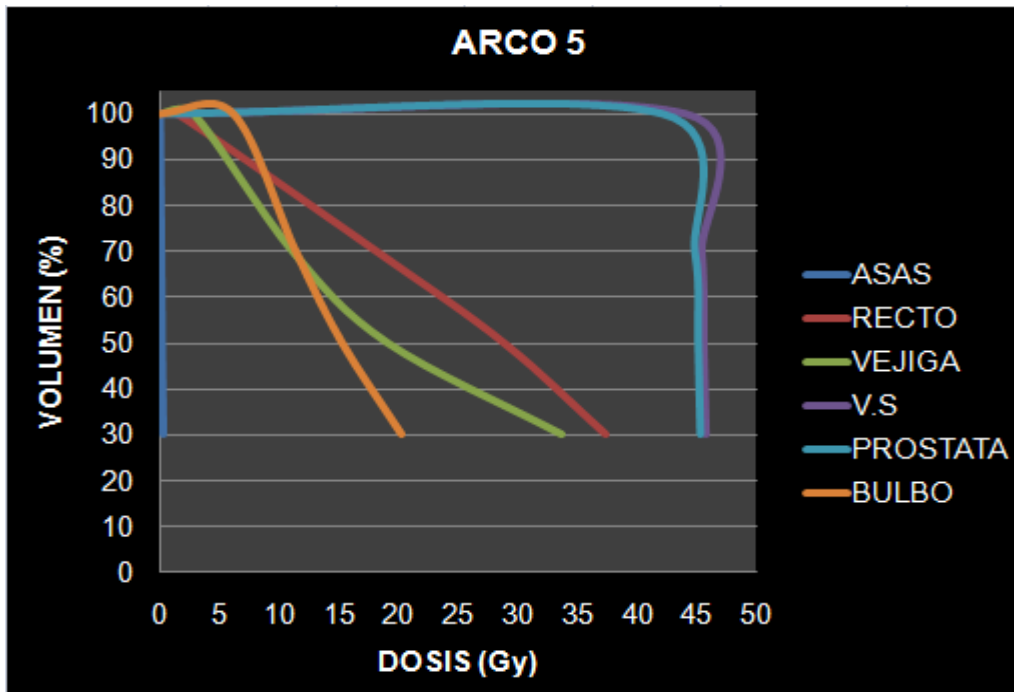


Figura N° 48: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 6

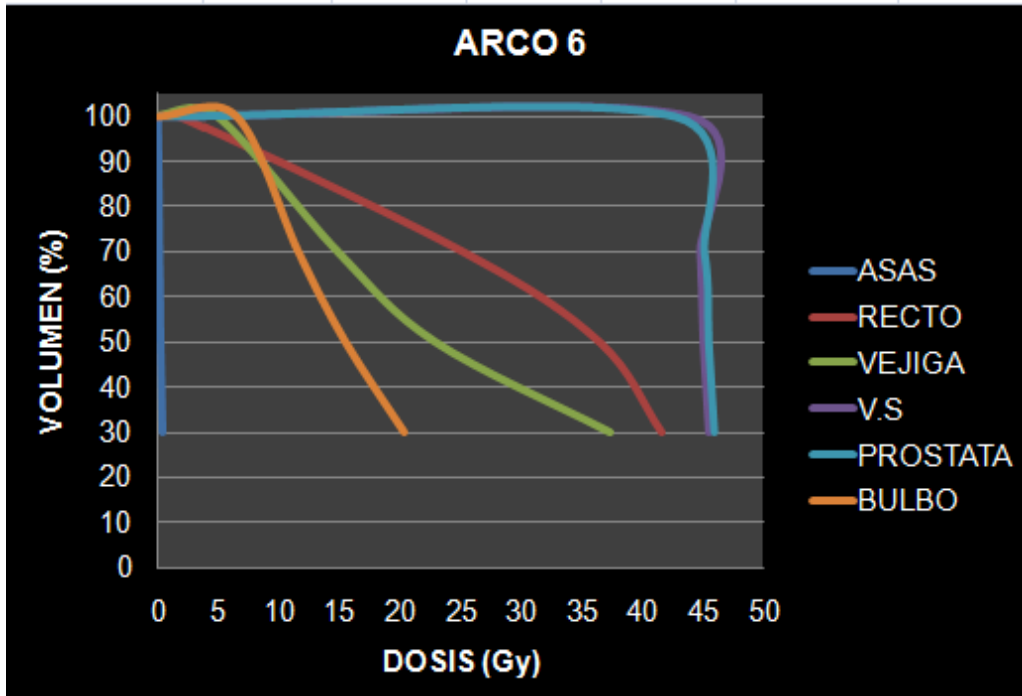


Figura N° 49: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 7

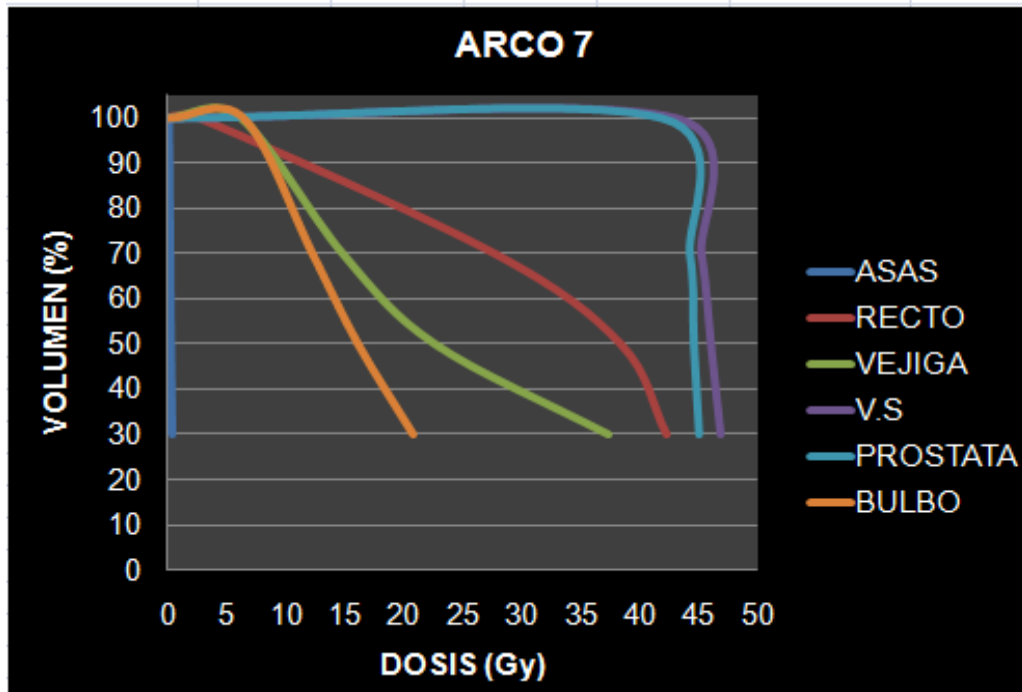


Figura N° 50: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 8

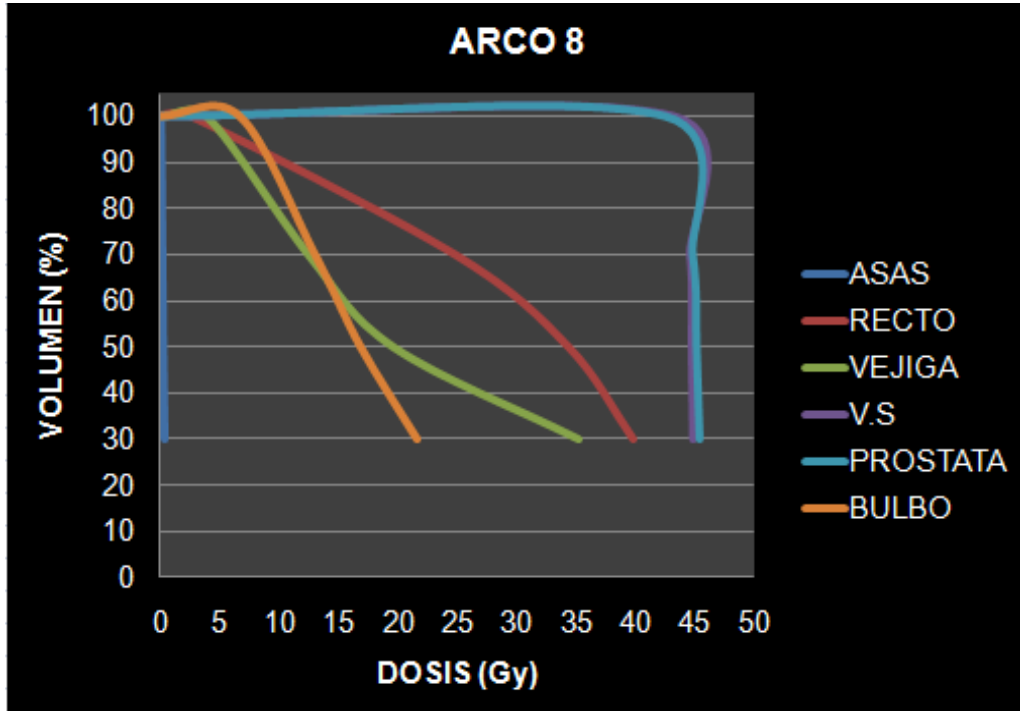


Figura N° 51: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 9

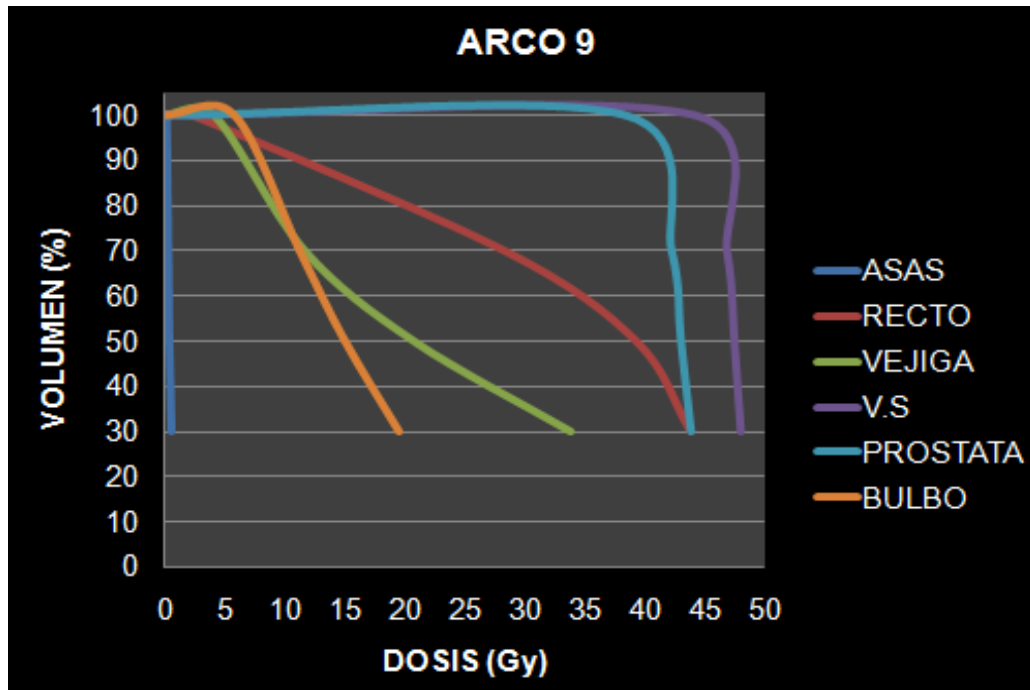
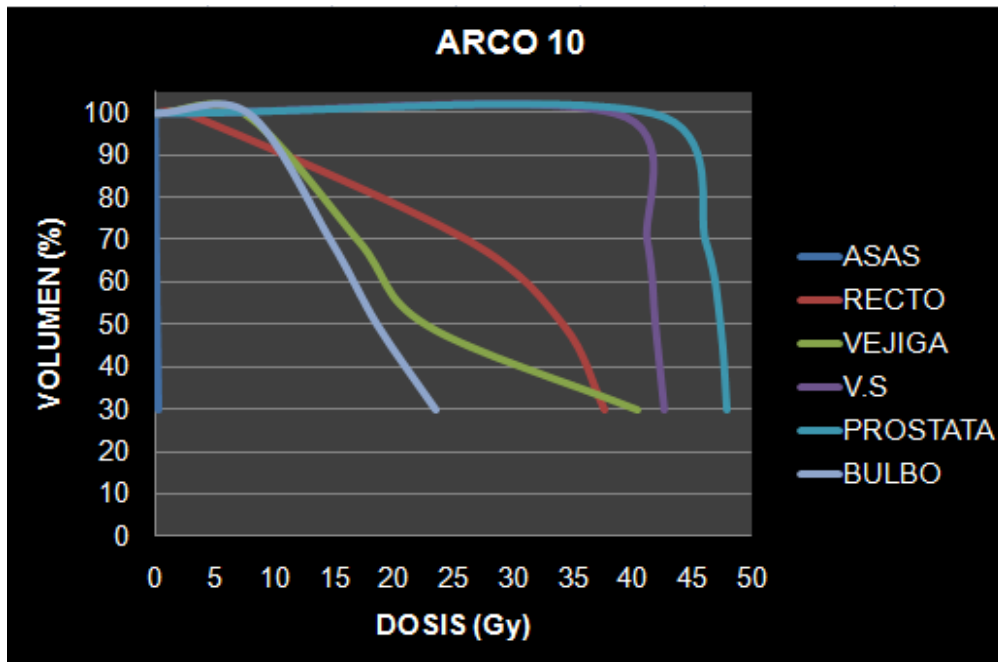


Figura Nº 52: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 10



Histograma: Plan 1<sup>era</sup> reducción

Figura Nº 53: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 0

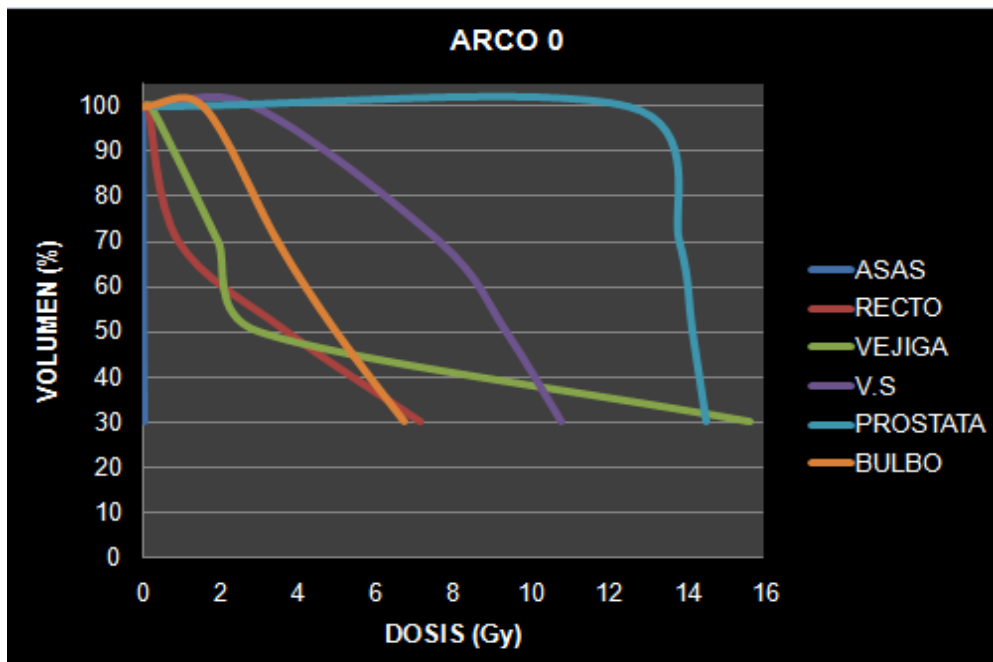


Figura N° 54: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 1

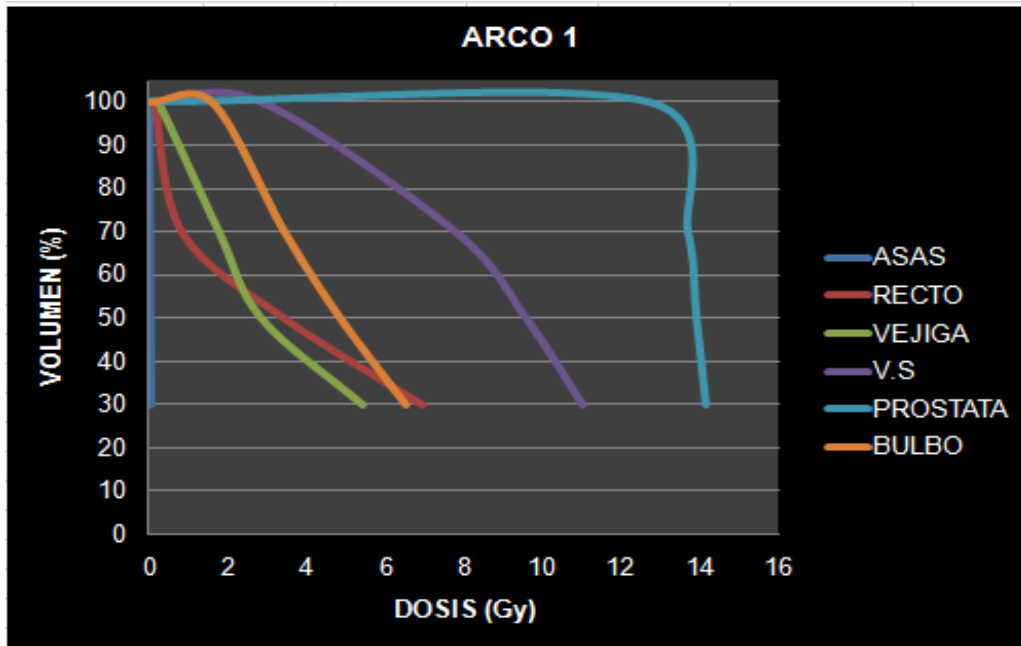


Figura N° 55: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 2

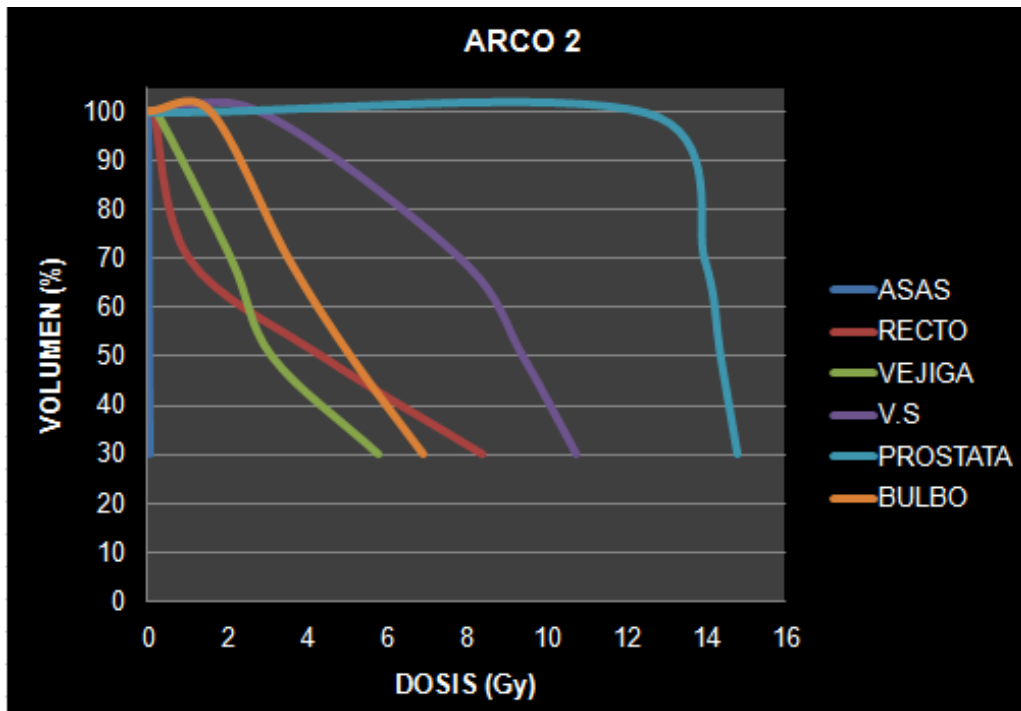


Figura Nº 56: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 3

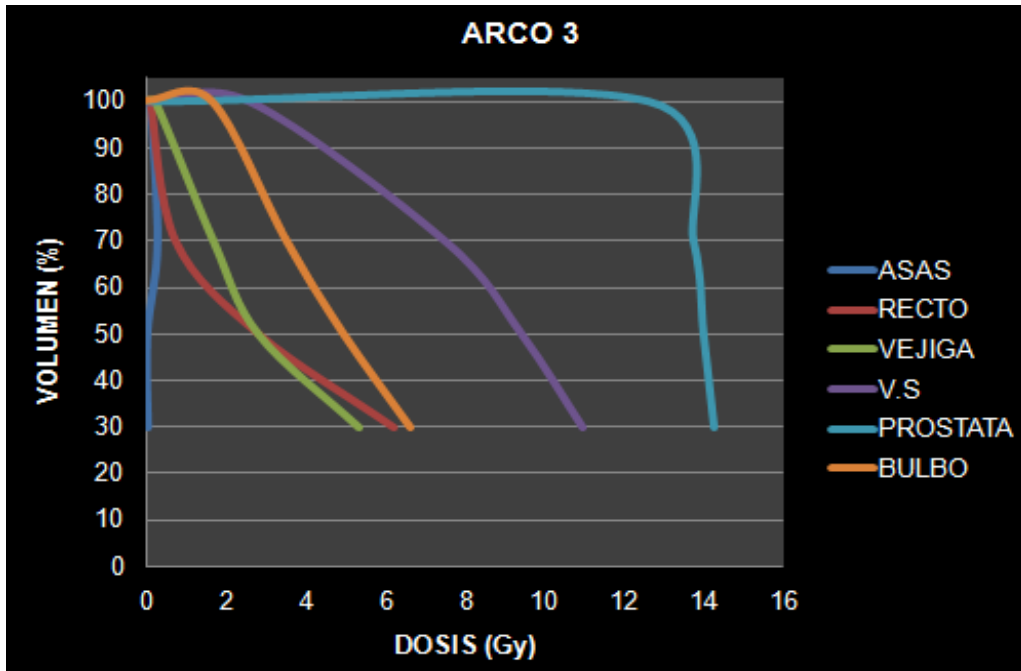


Figura Nº 57: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 4

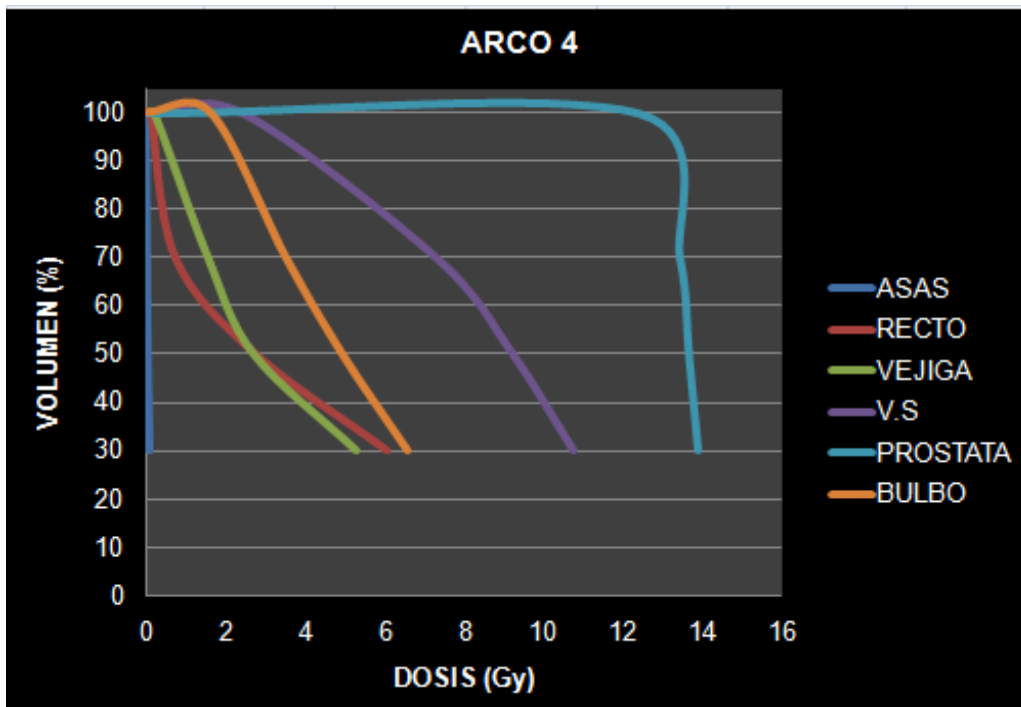




Figura Nº 58: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 5

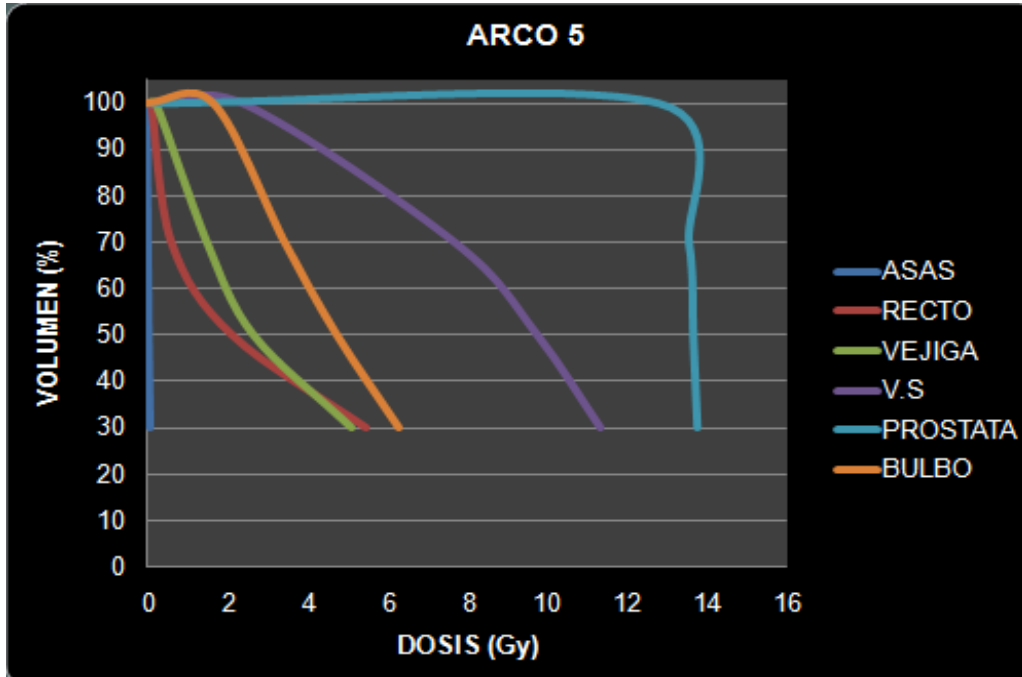


Figura Nº 59: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 6

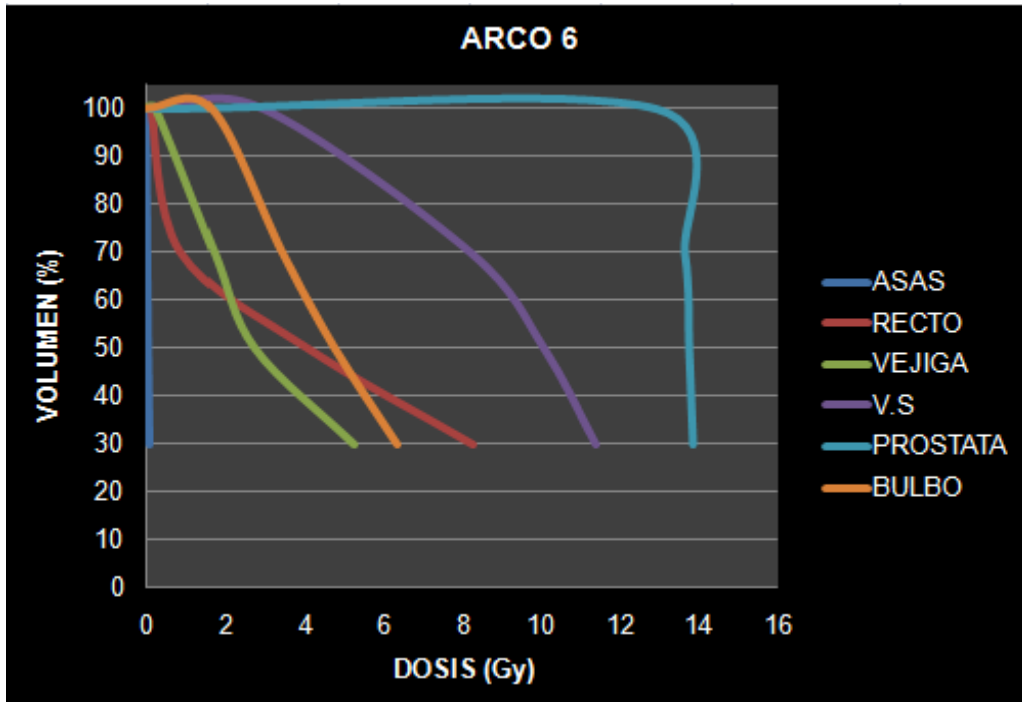


Figura Nº 60: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 7

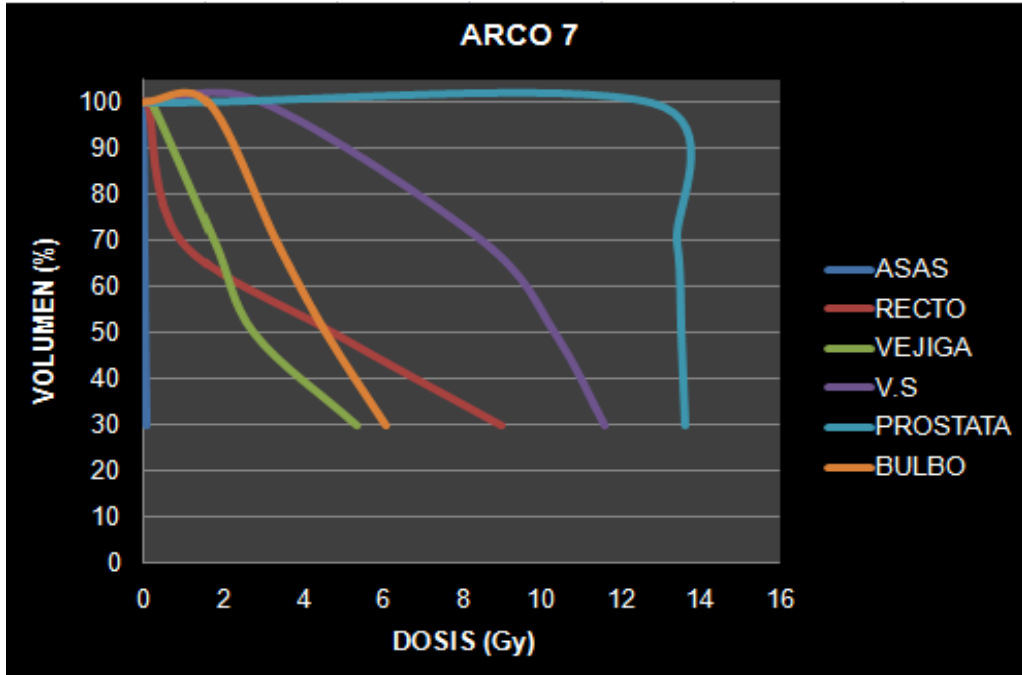


Figura Nº 61: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 8

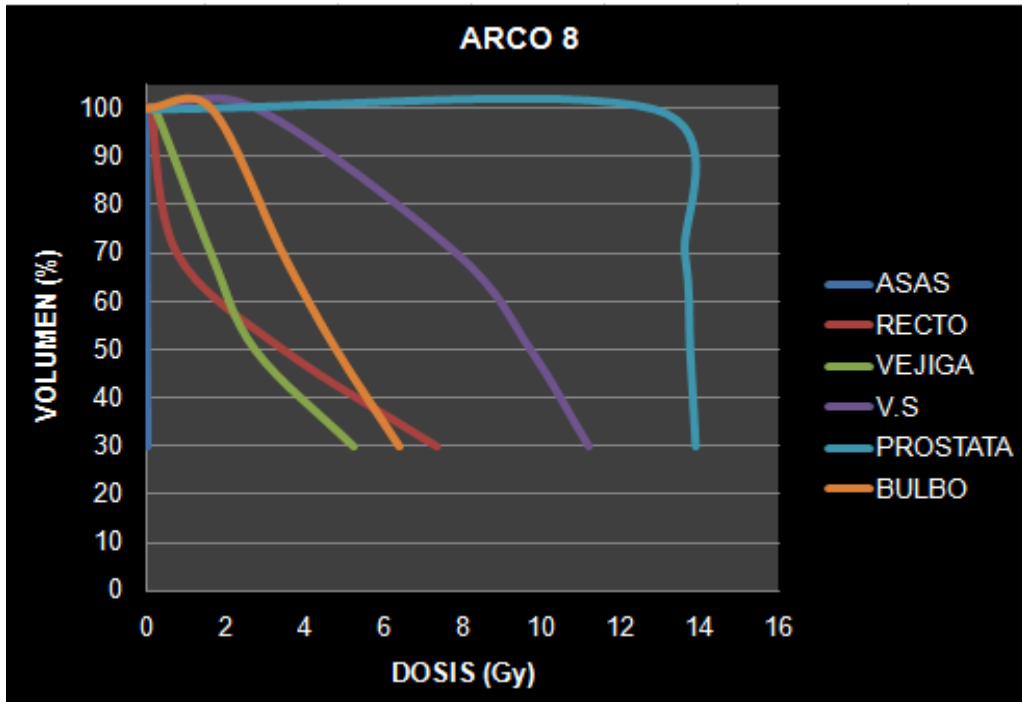


Figura Nº 62: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 9

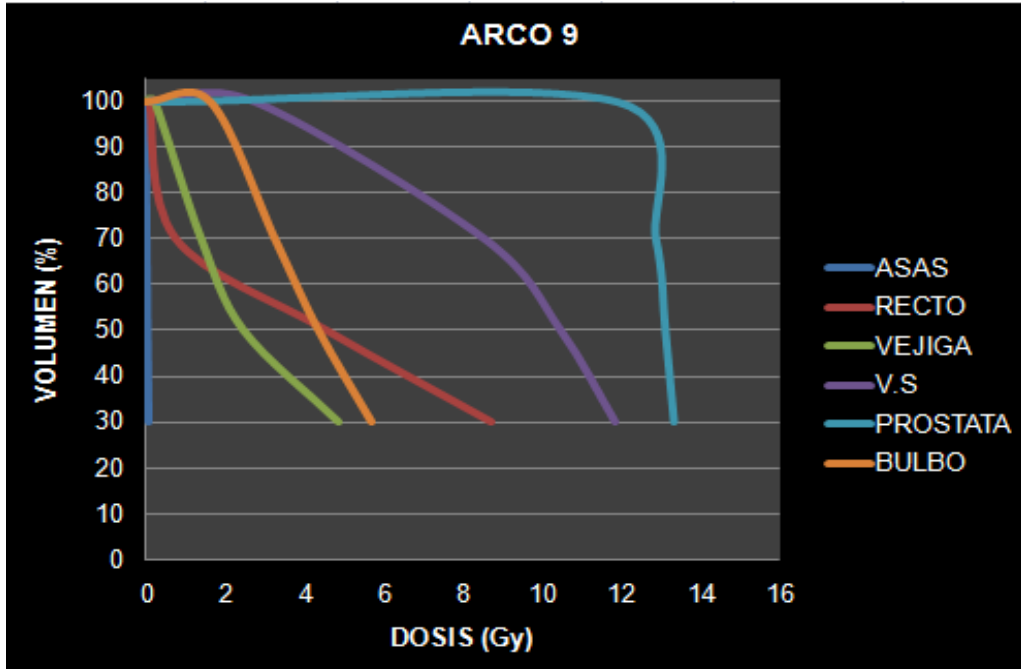
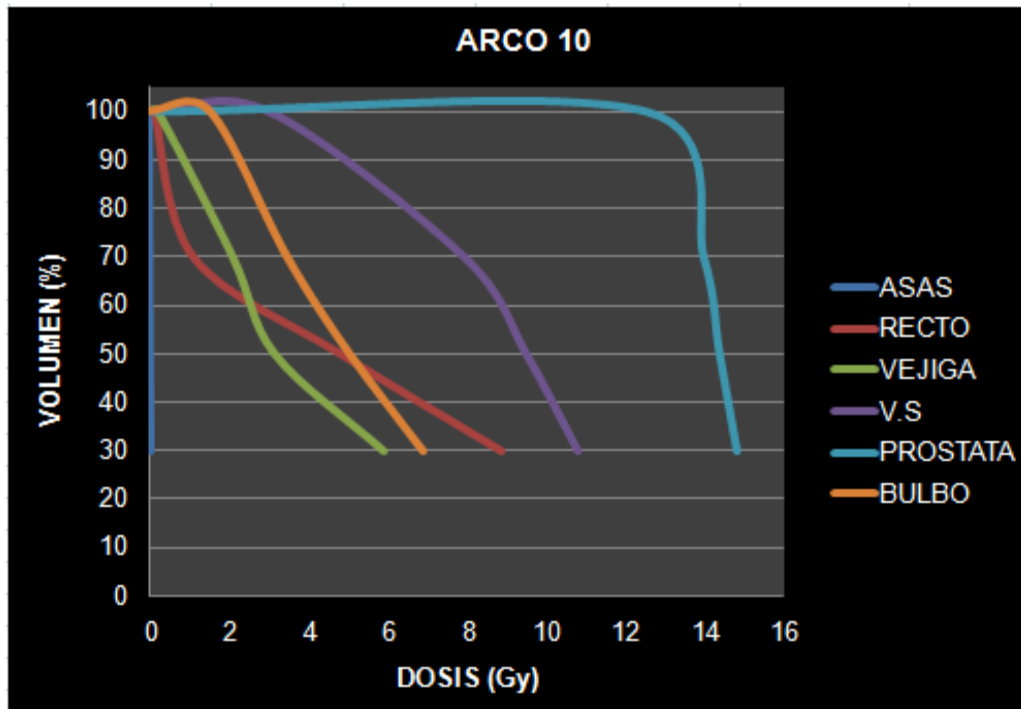


Figura Nº 63: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 10



### Histograma: Plan 2<sup>da</sup> reducción

Figura N° 64: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 0

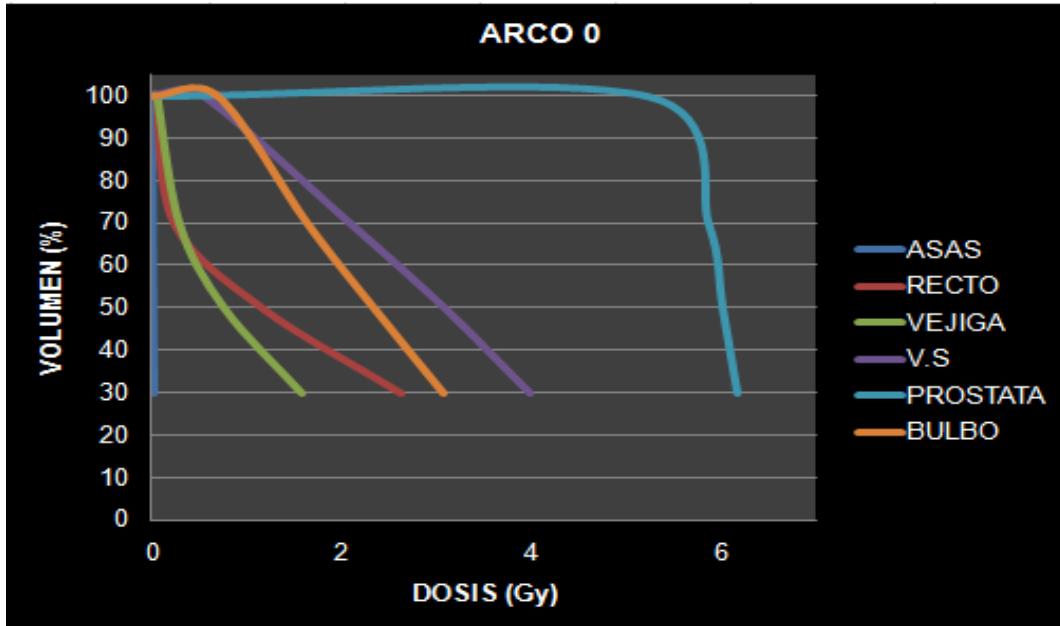


Figura N° 65: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 1

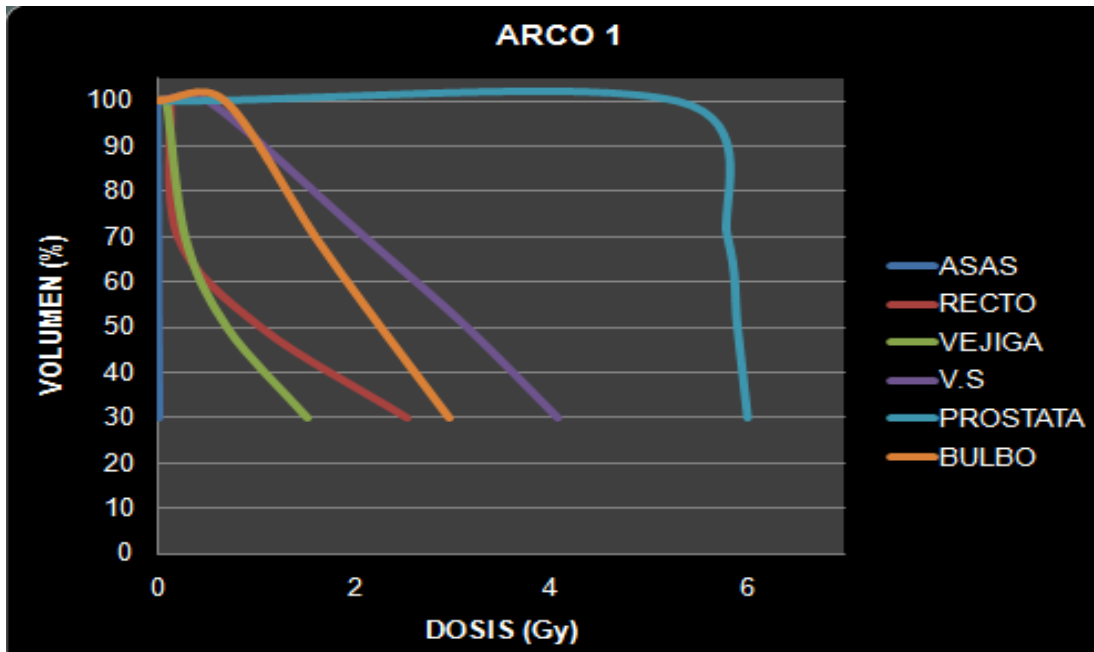


Figura Nº 66: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 2

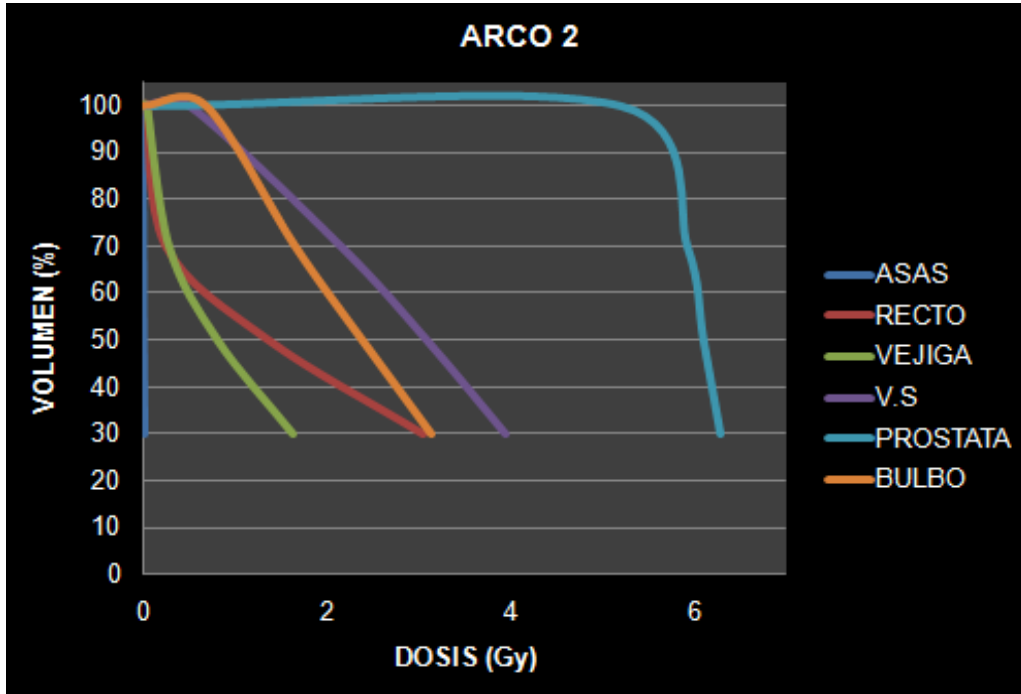


Figura Nº 67: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 3

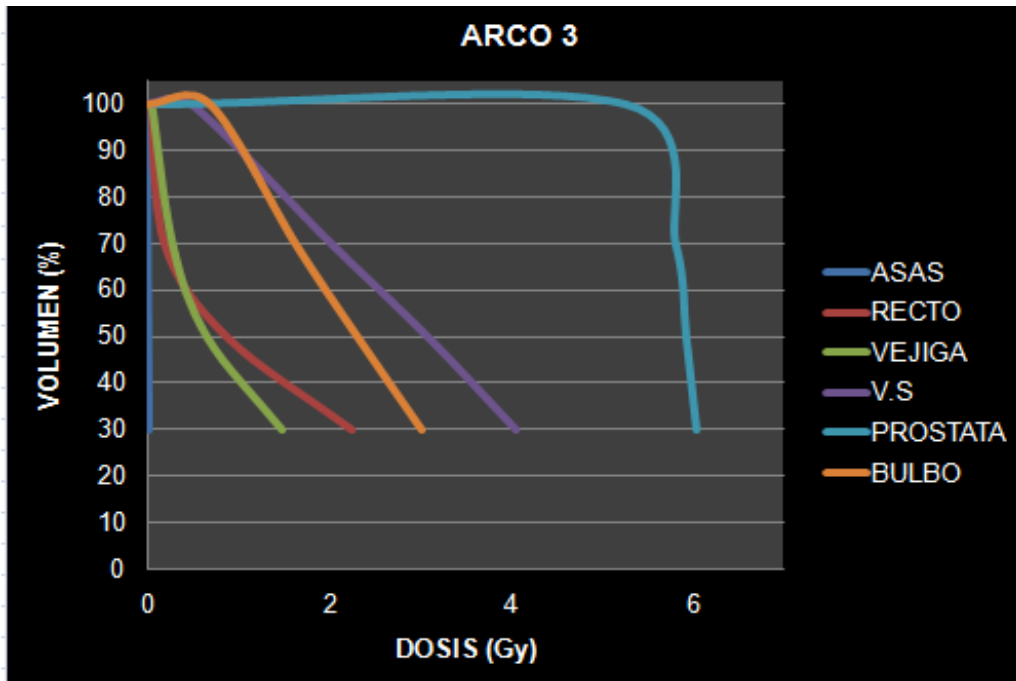


Figura N° 68: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 4

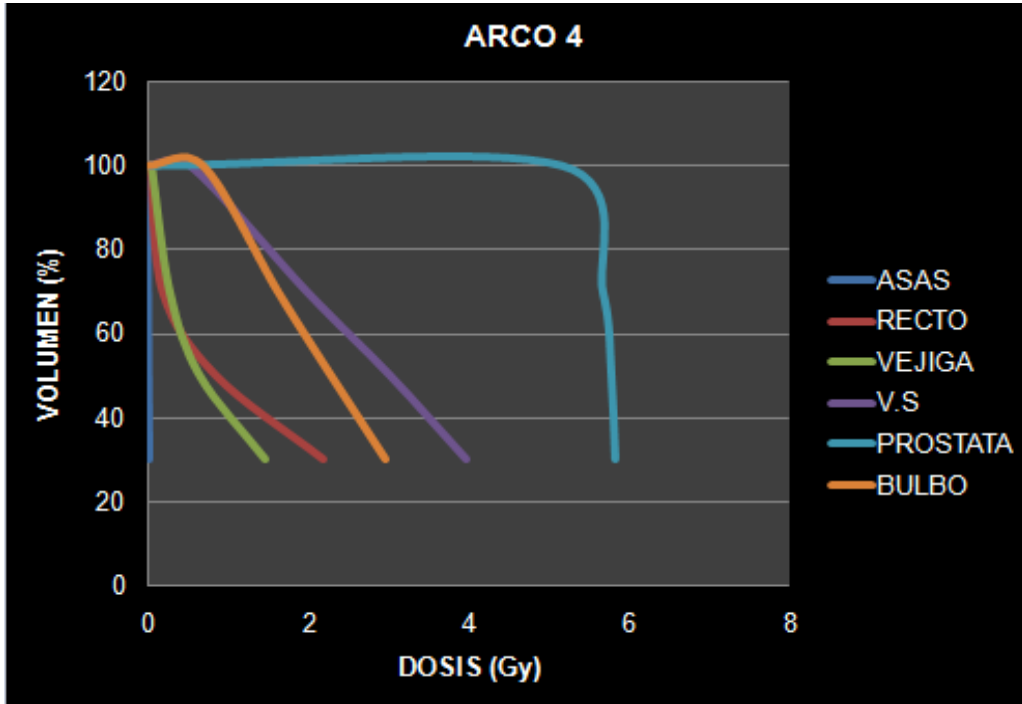


Figura N° 69: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 5

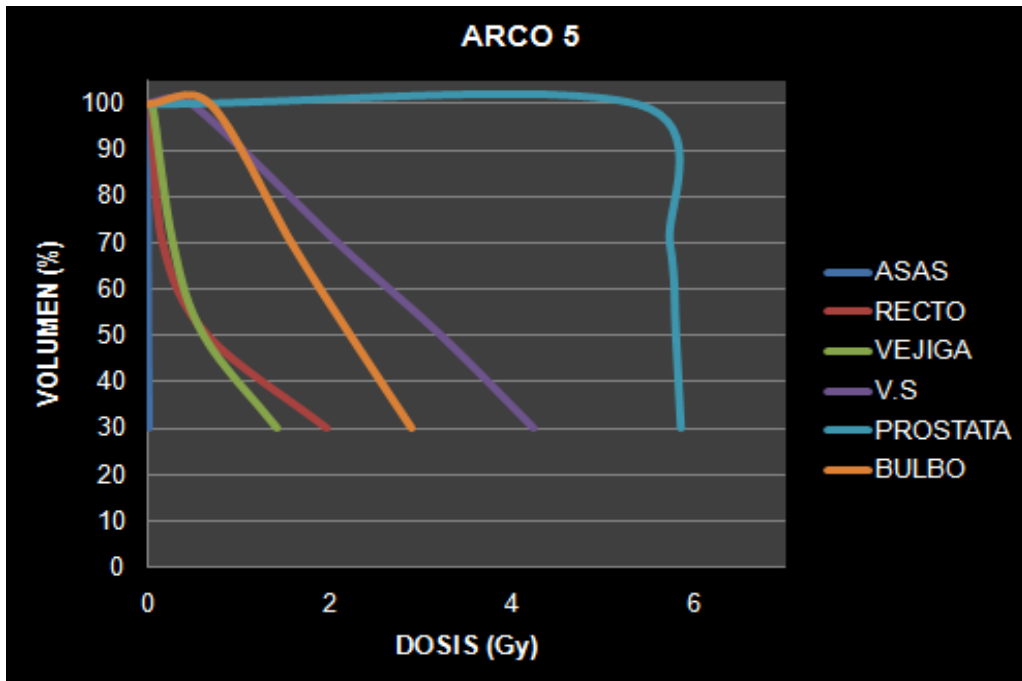


Figura N° 70: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 6

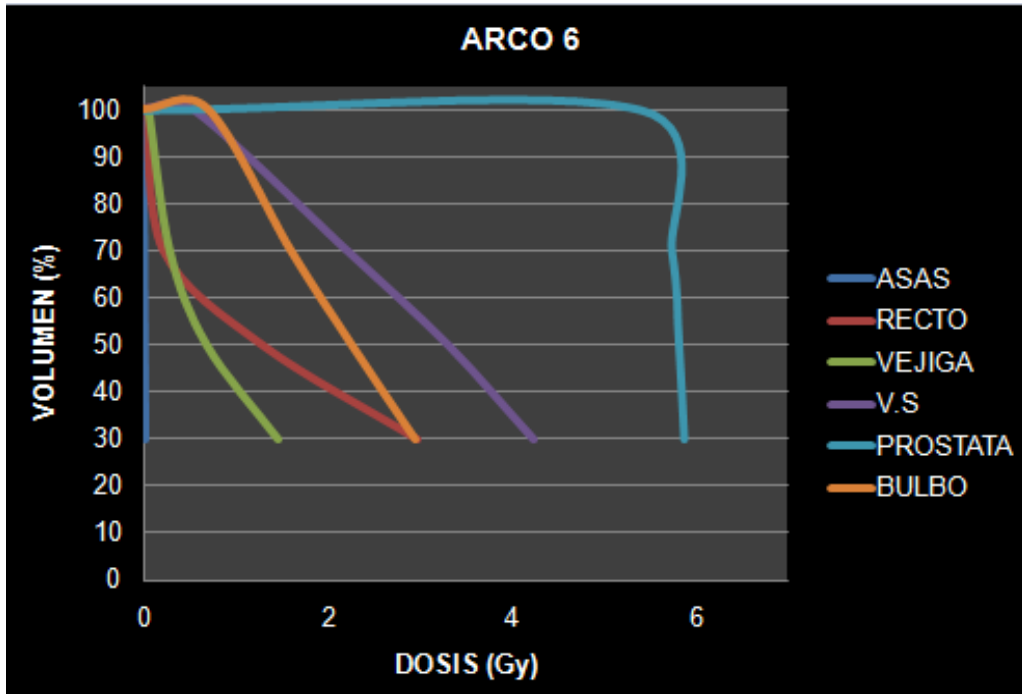


Figura N° 71: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 7

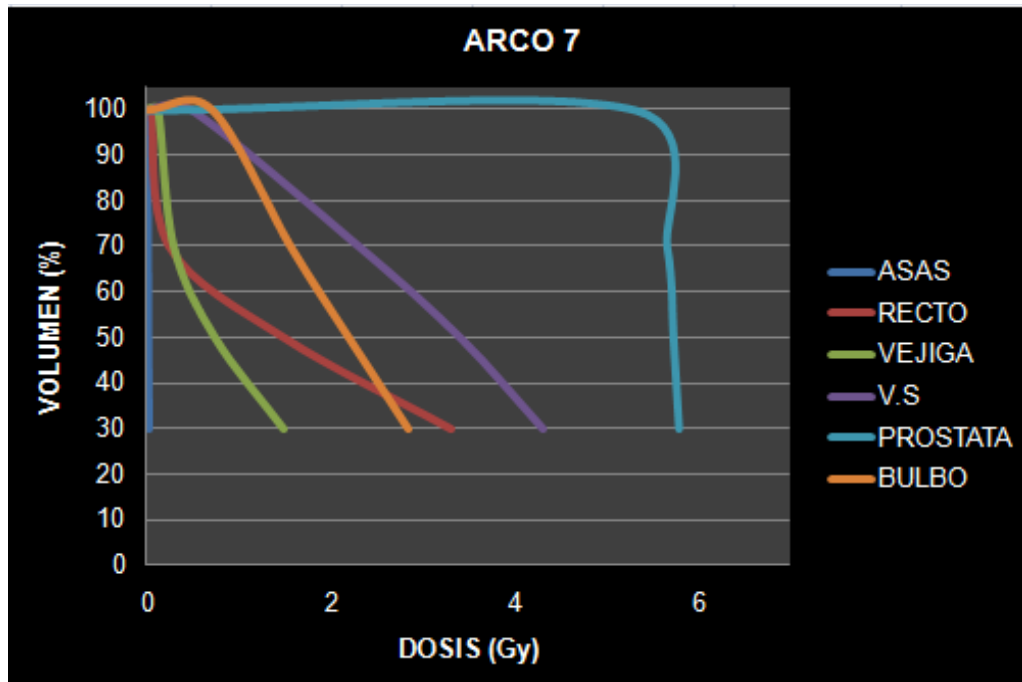


Figura N° 72: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 8

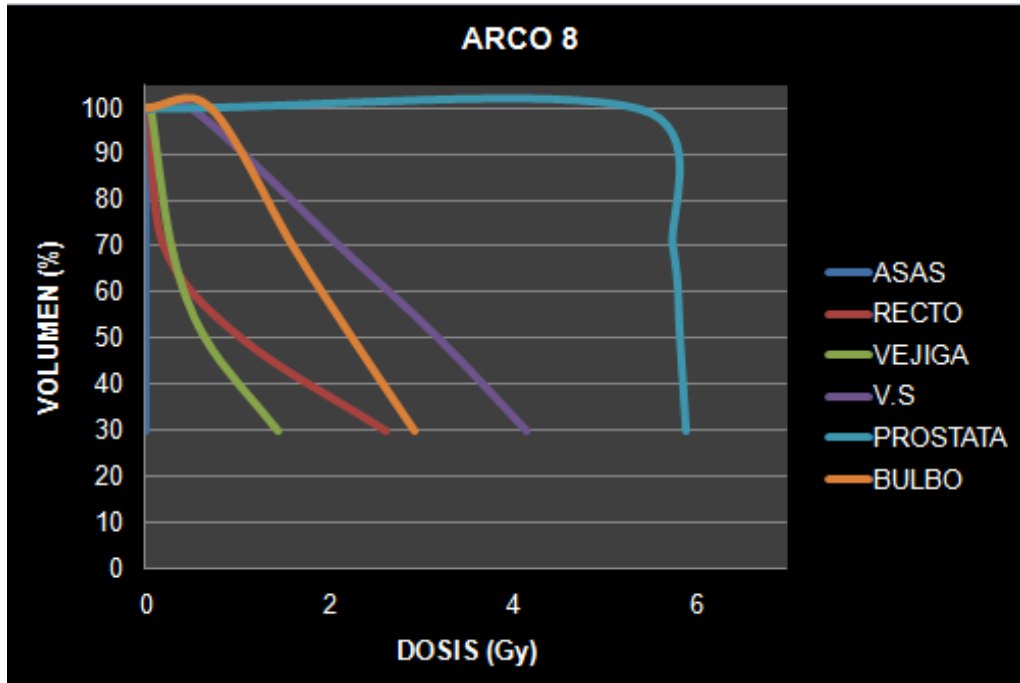


Figura N° 73: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 9

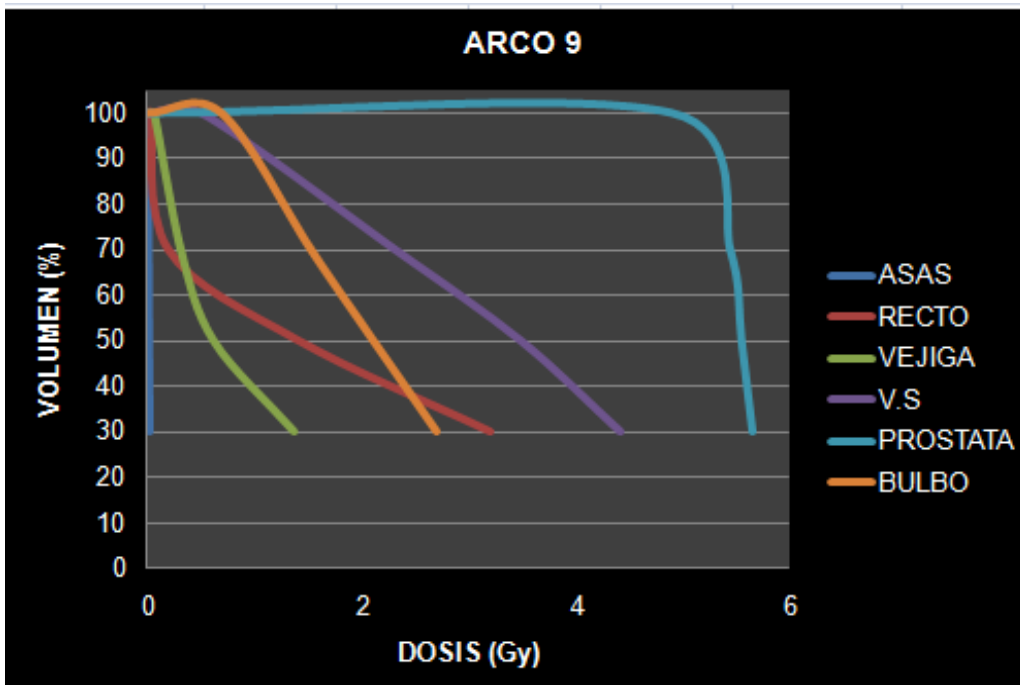
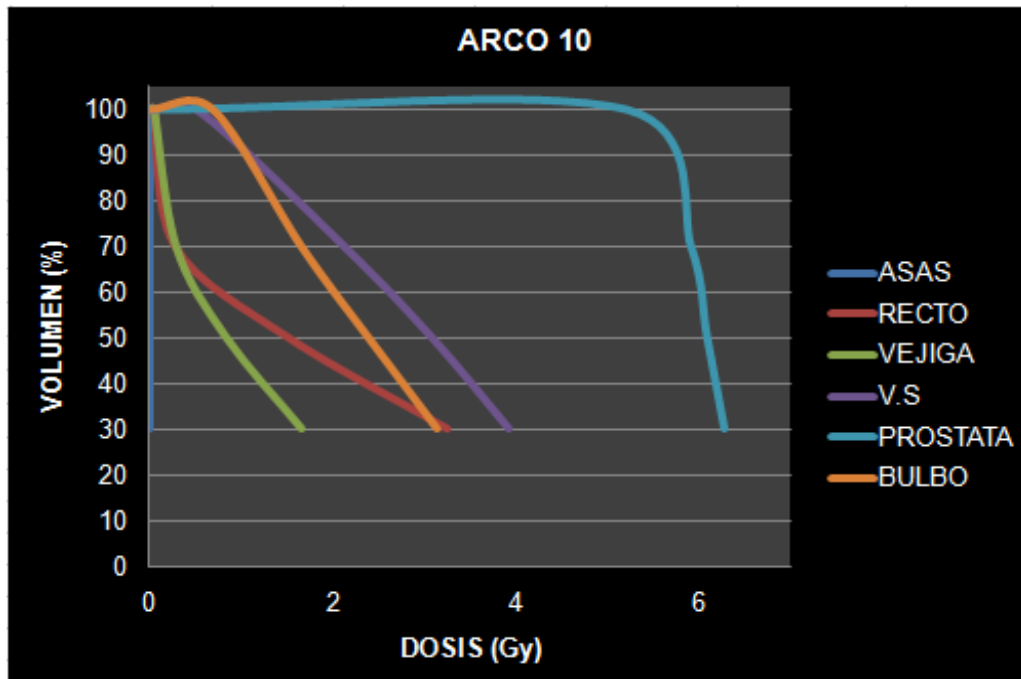




Figura Nº 74: Histograma Dosis Volumen Plan Arco 10



#### 4.3.- Comparación órgano a órgano de la dosis planificada bajo la técnica de arcos dinámicos.

Se estableció una comparación órgano a órgano entre los órganos a riesgos (adyacentes a la próstata) y el lecho tumoral (próstata); de la dosis planificada para cada uno de los planes de arcos dinámicos (Plan Inicial, 1<sup>era</sup> y 2<sup>da</sup> Reducción) y se representaron gráficamente (histograma) según la fase de tratamiento (Inicial, 1<sup>era</sup> y 2<sup>da</sup> Reducción):

Figura N° 75: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Recto (Plan Inicial)

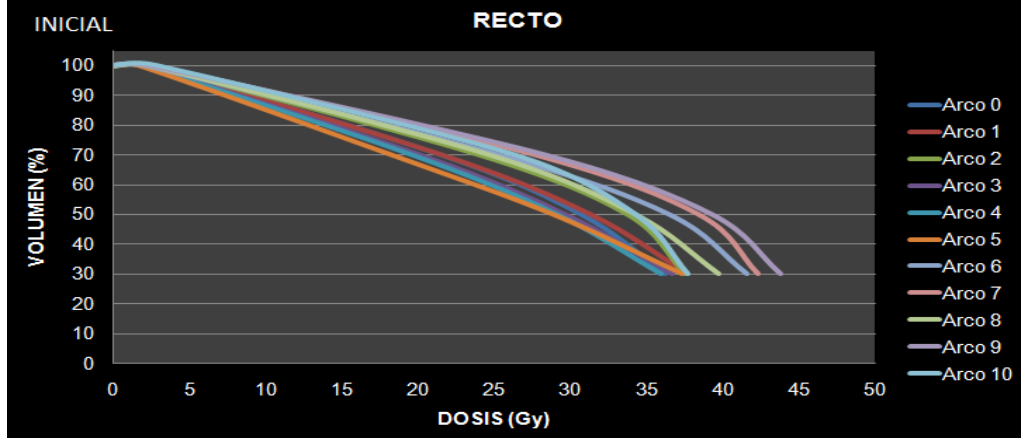


Figura N° 76: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Recto (1<sup>ERA</sup> Reducción)

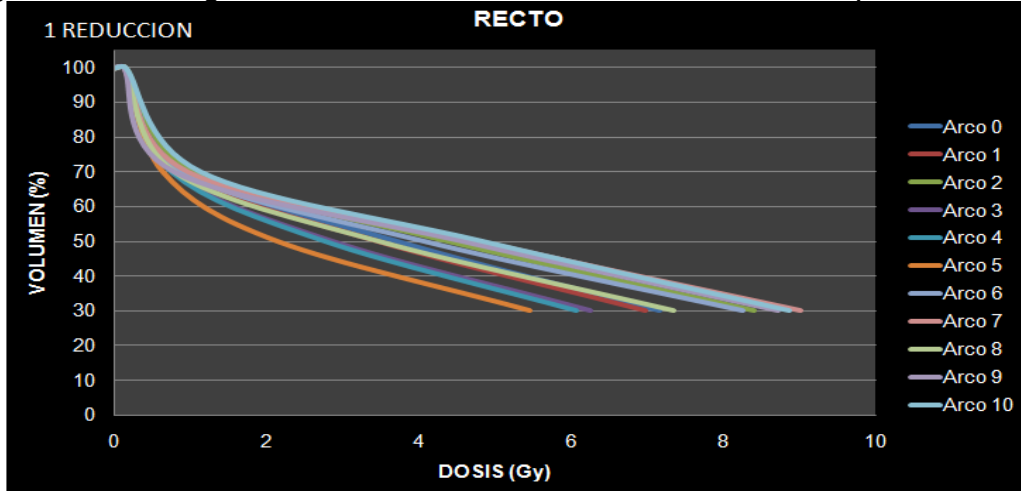


Figura N° 77: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Recto (2<sup>DA</sup> Reducción)

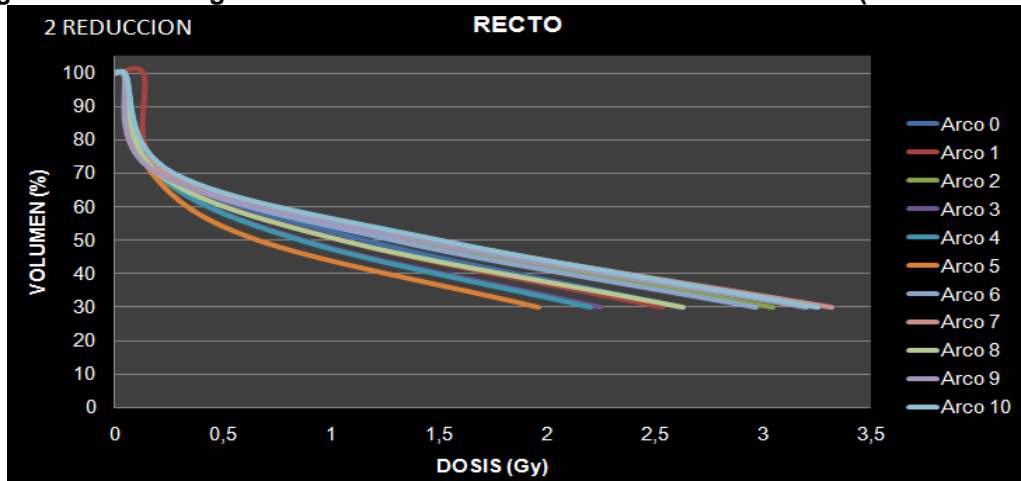


Figura N° 78: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Vejiga (Plan Inicial)

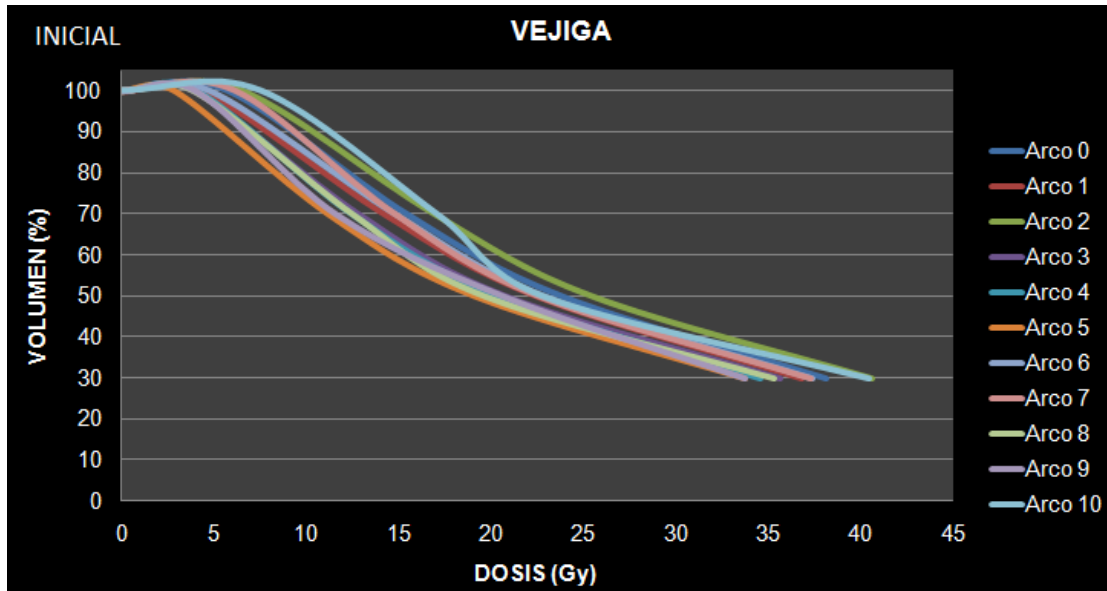


Figura N° 79: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Vejiga (1<sup>ERA</sup> Reducción)

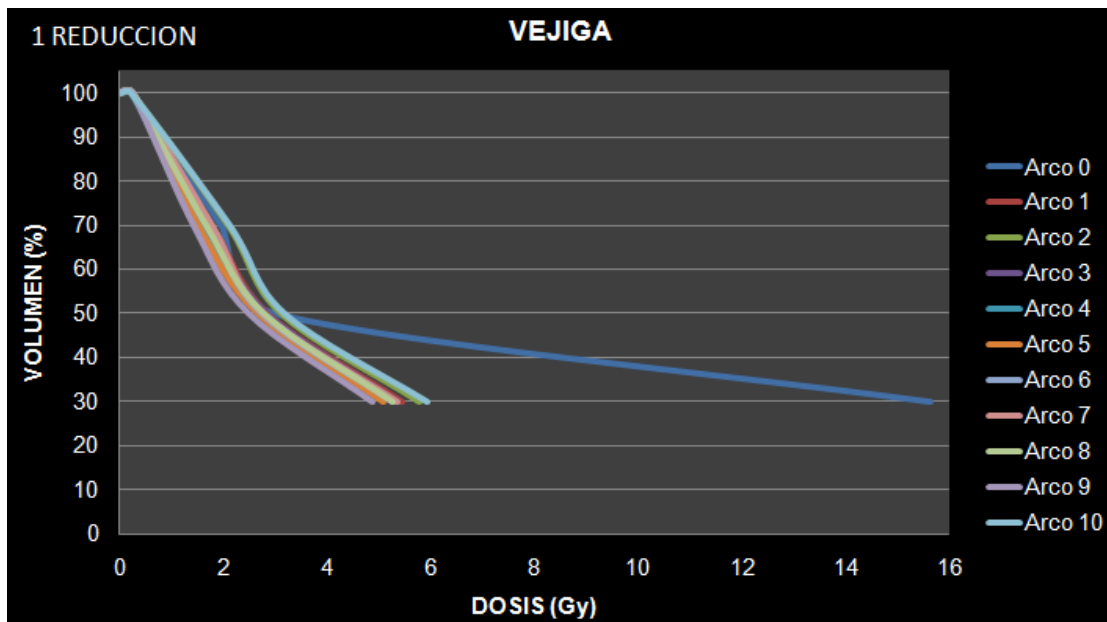


Figura N° 80: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
Vejiga (2<sup>DA</sup> Reducción)

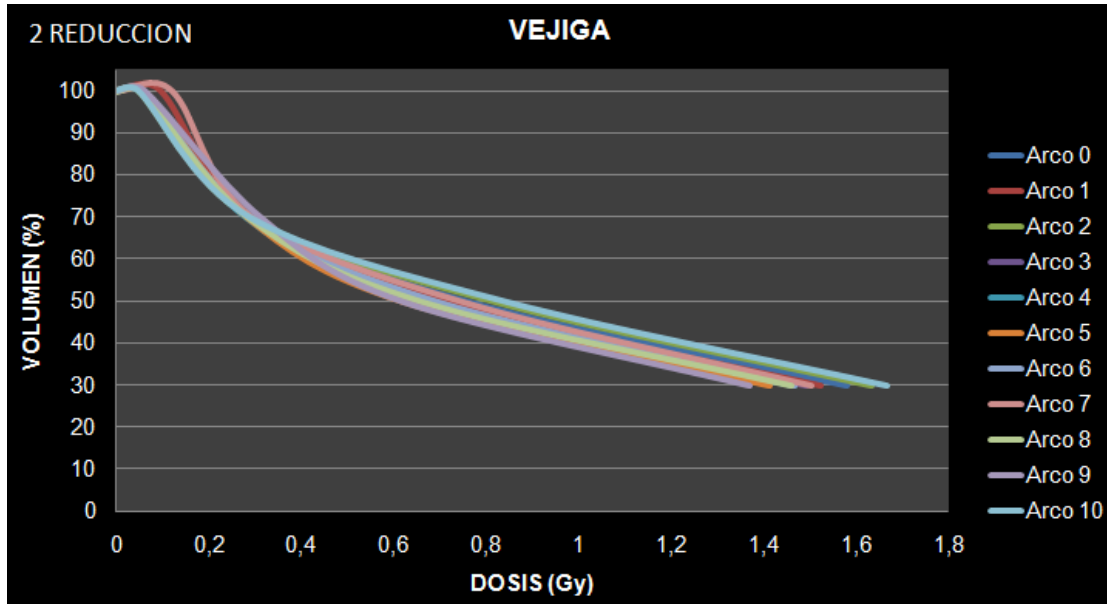


Figura N° 81: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos Próstata (Plan Inicial)

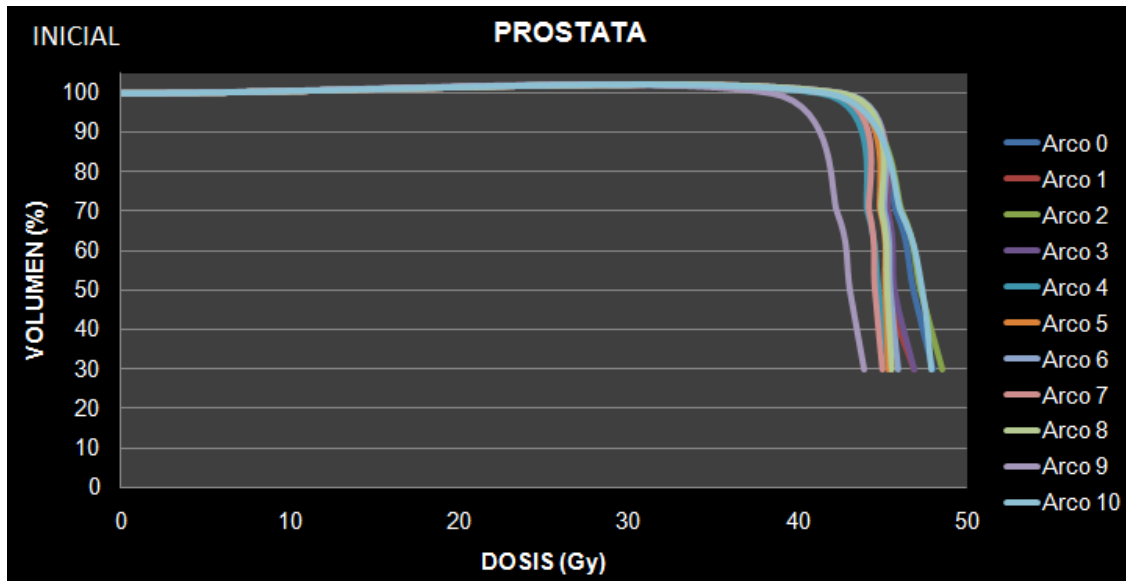


Figura N° 82: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
Próstata (1<sup>ERA</sup> Reducción)

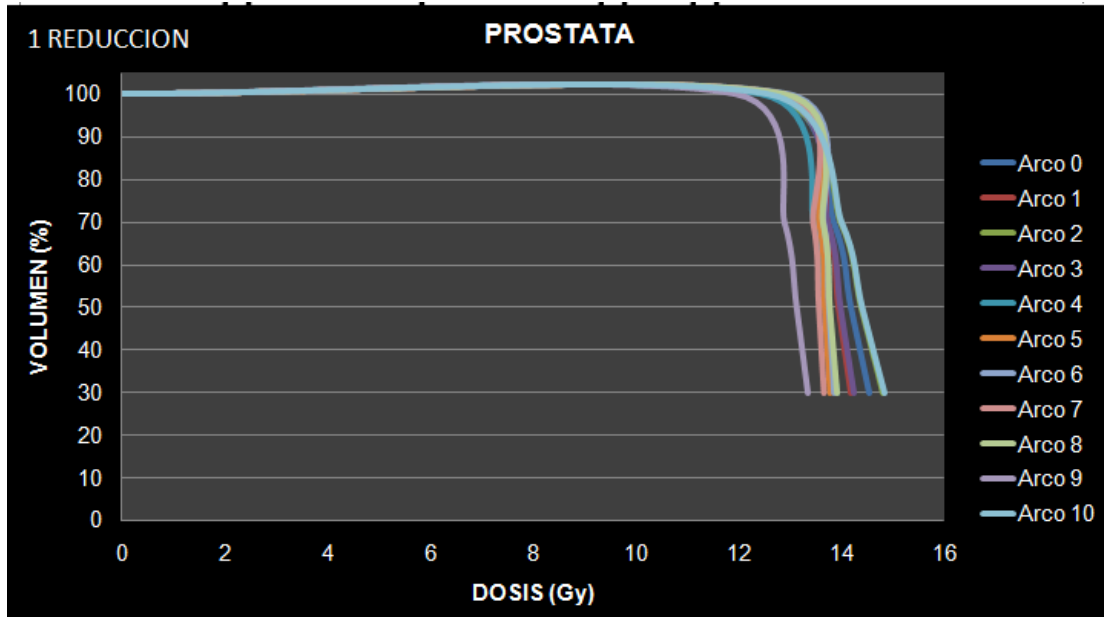


Figura N° 83: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
Próstata (2<sup>DA</sup> Reducción)

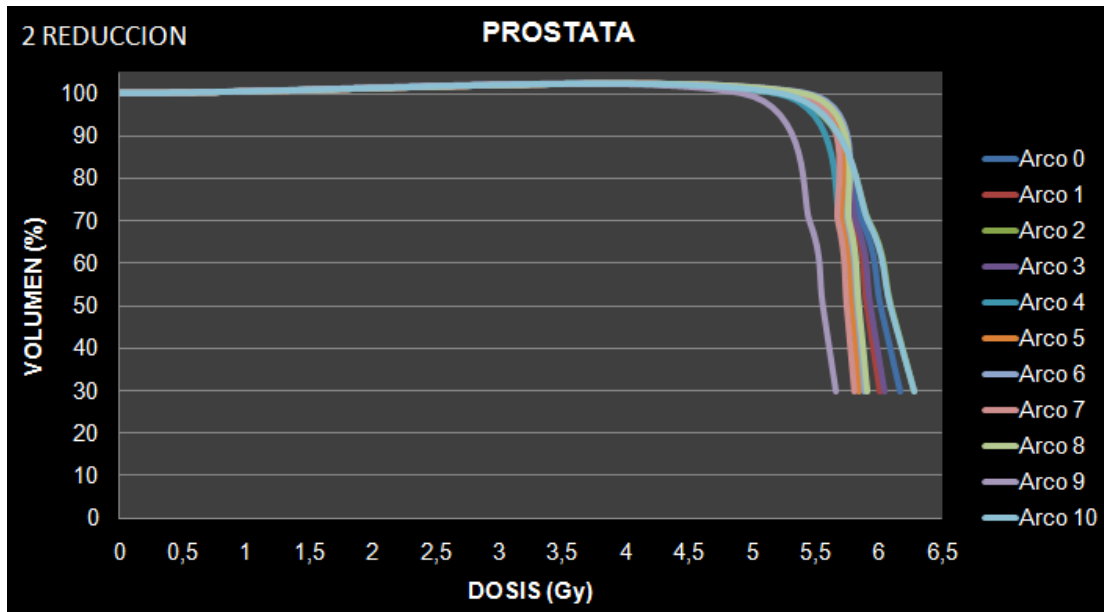


Figura Nº 84: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
Asas Intestinales (Plan Inicial)

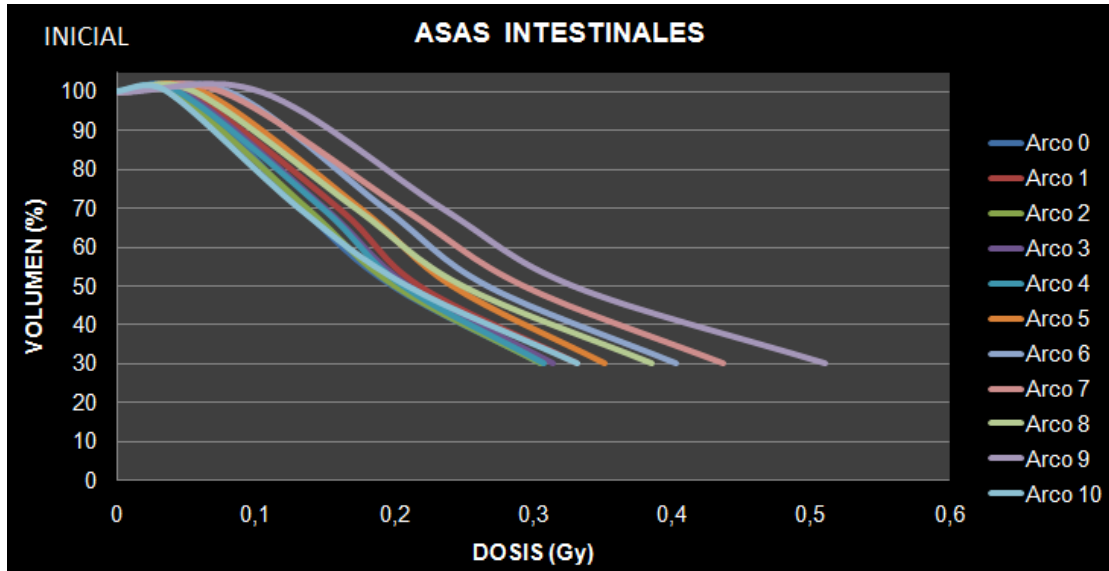


Figura Nº 85: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
Asas Intestinales (1<sup>ERA</sup> Reducción)

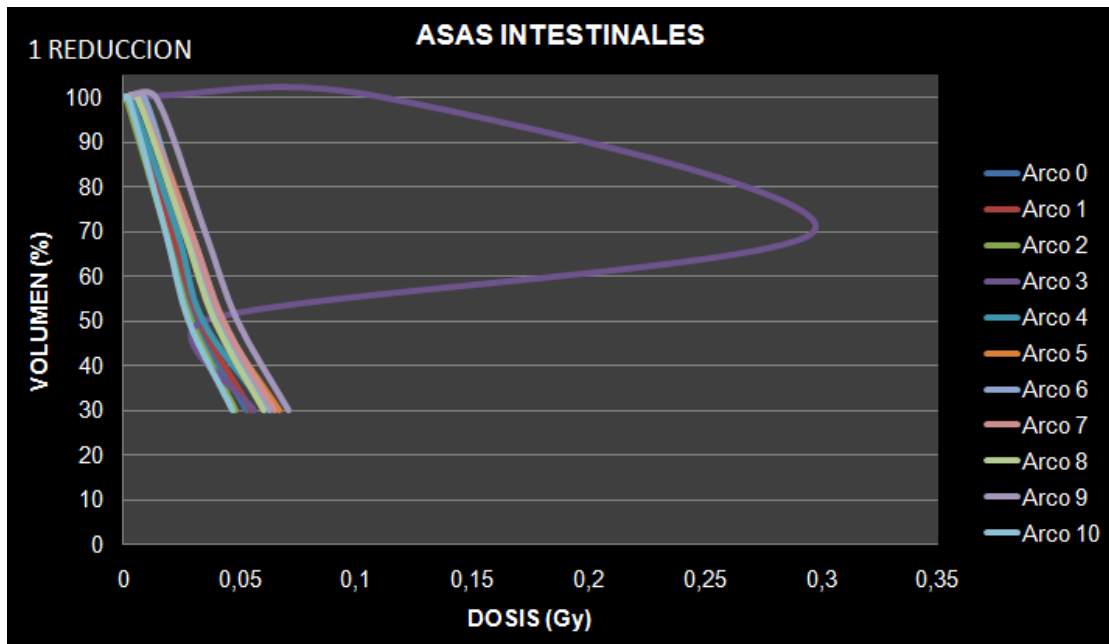


Figura N° 86: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
 Asas Intestinales (2<sup>DA</sup> Reducción)

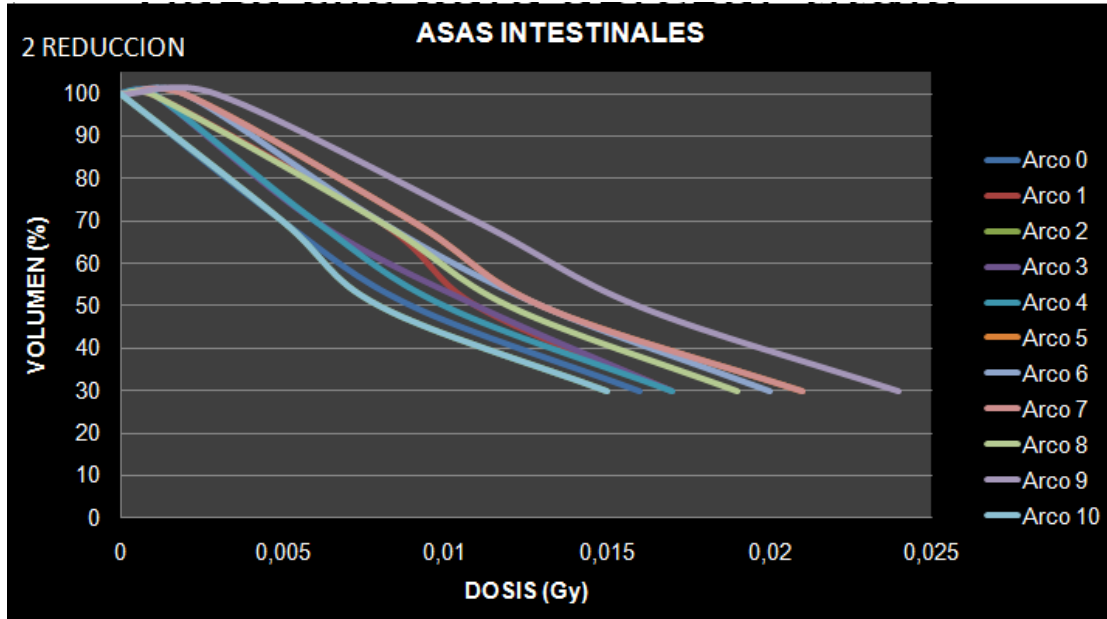


Figura N° 87: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
 Vesículas Seminales (Plan Inicial)

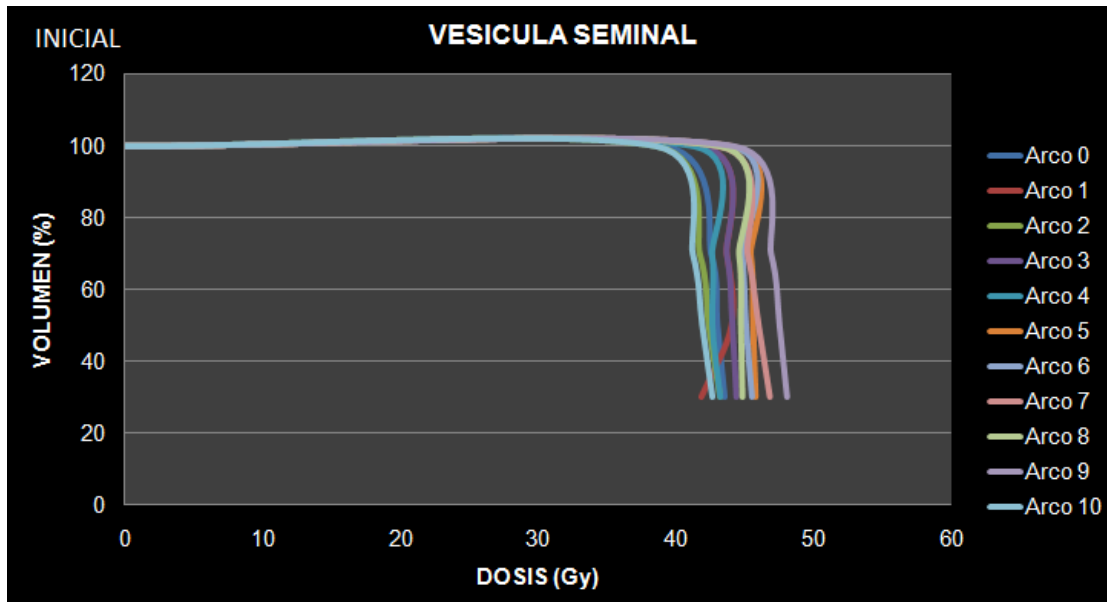


Figura Nº 88: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
Vesículas Seminales (1<sup>ERA</sup> Reducción)

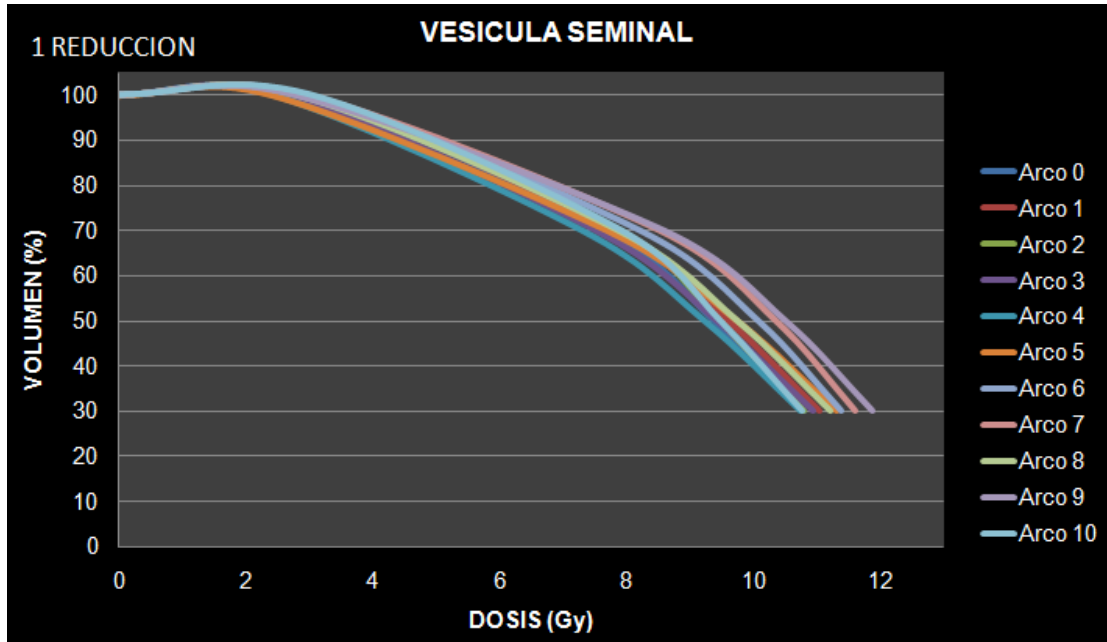


Figura Nº 89: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
Vesículas Seminales (2<sup>DA</sup> Reducción)

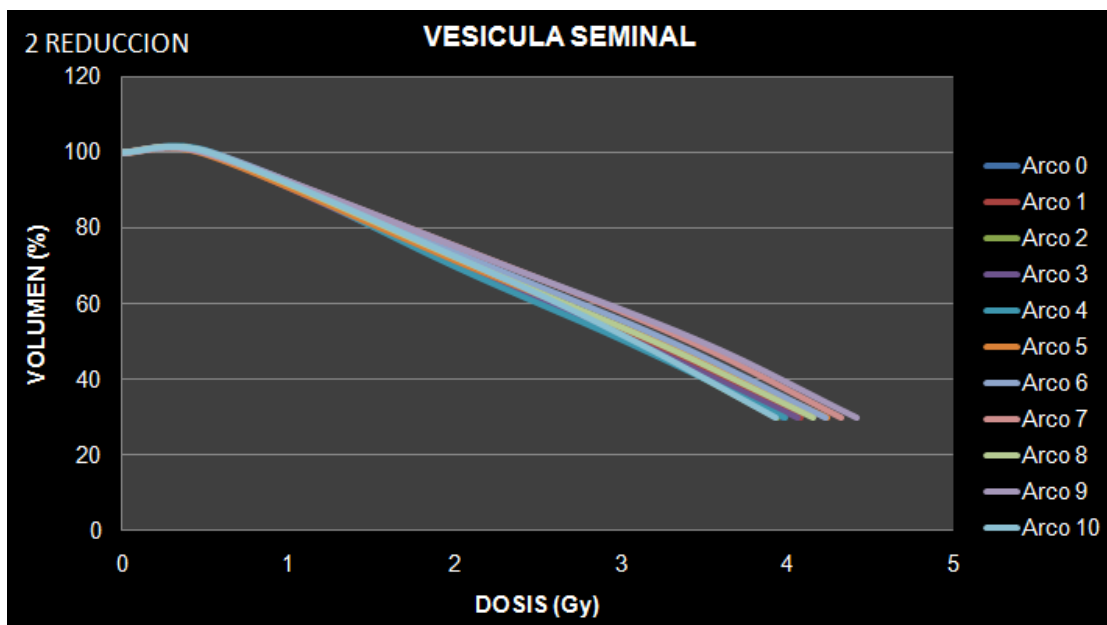




Figura Nº 90: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
 Bulbo Del Pene (Plan Inicial)

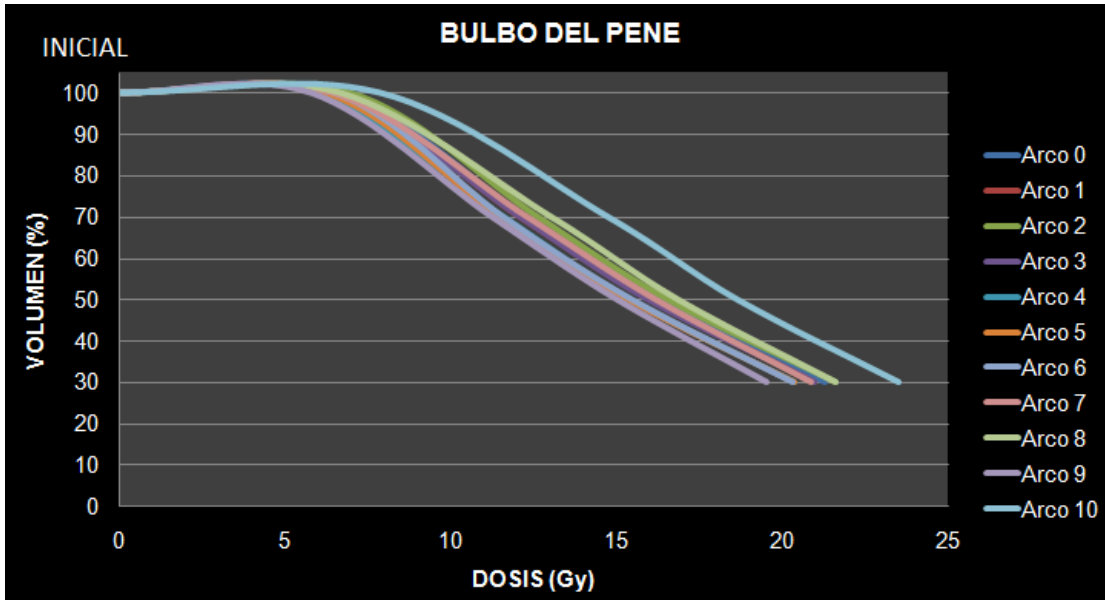


Figura Nº 91: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
 Bulbo Del Pene (1<sup>ERA</sup> Reducción)

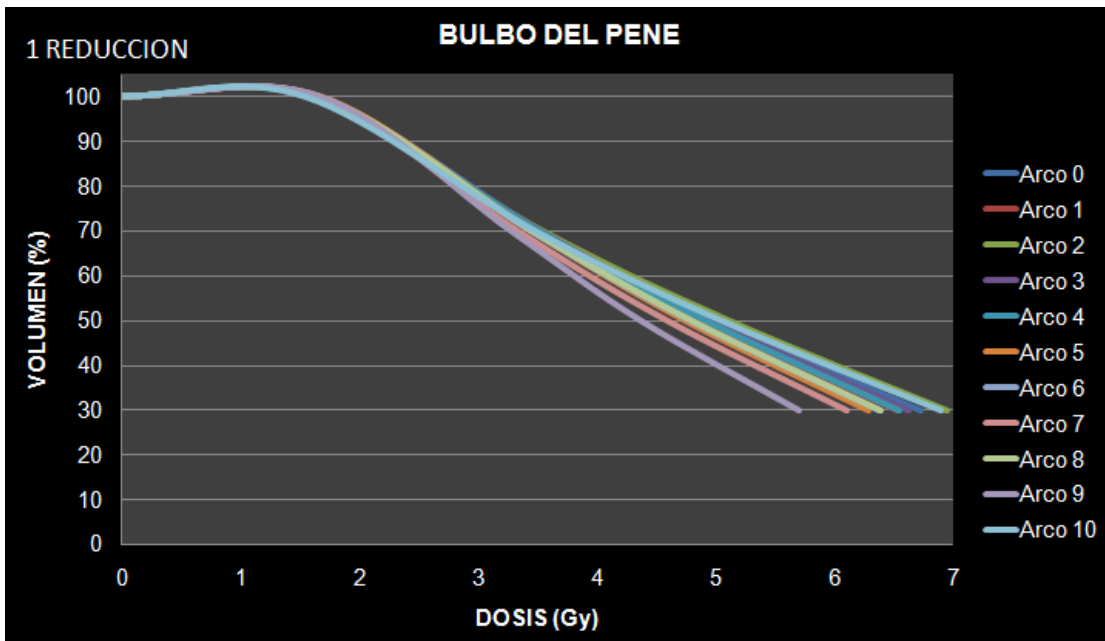
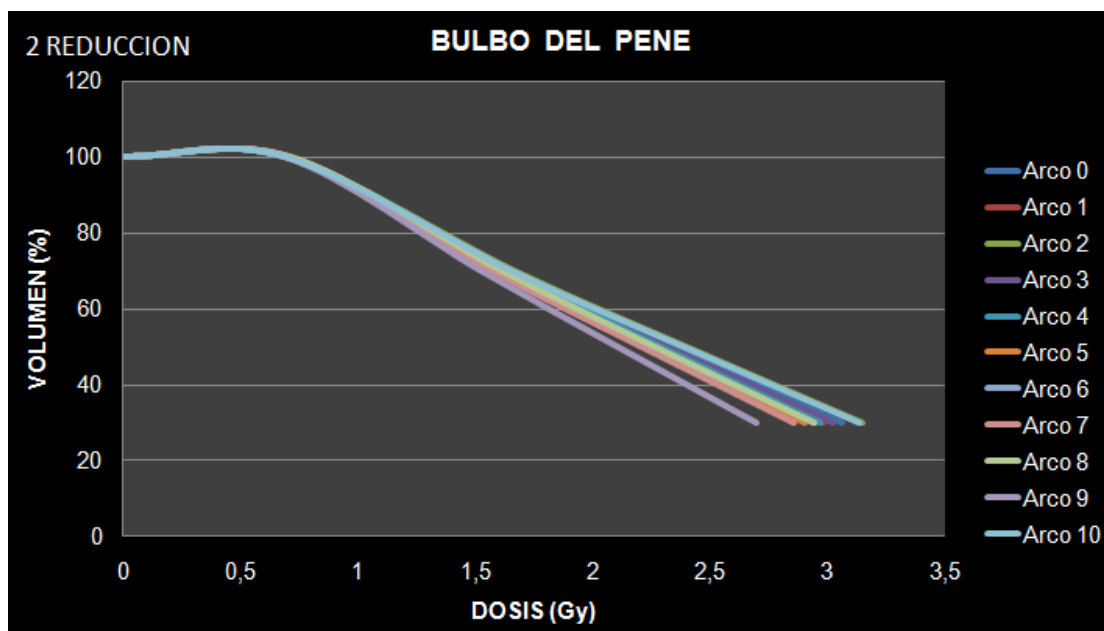


Figura N° 92: Histograma Dosis Volumen con Arcos Dinámicos  
Bulbo Del Pene (2<sup>DA</sup> Reducción)



#### 4.4.- Factor de Calibración de los Mosfet

La dosis absorbida obtenida por la cámara de ionización se determino para un potencial de aceleración de 6mv y 23MV de la siguiente manera:

Tabla N° 44: Lecturas cámara 0.6cc tipo FARMER para 6MV

Medición	Presión	Temperatura (°C)	Lectura 1 (L1) nc	Lectura 2 (L2) nc	Lectura 3 (L3) nc	Promedio (Lprom) nc
1	893.2	23.1	16.55 ± 0.01	16.54 ± 0.01	16.54 ± 0.01	16.54 ± 0.01
2	892.5	24.3	16.52 ± 0.01	16.52 ± 0.01	16.52 ± 0.01	16.52 ± 0.01
3	892.3	24.8	16.45 ± 0.01	16.45 ± 0.01	16.45 ± 0.01	16.45 ± 0.01

**Tabla N° 45: Lecturas cámara 0.6cc tipo FARMER para 23MV**

<b>Medición</b>	<b>Presión</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Lectura 1 (L1) nc</b>	<b>Lectura 2 (L2) nc</b>	<b>Lectura 3 (L3) nc</b>	<b>Promedio (Lprom) nc</b>
<b>1</b>	893.1	23.2	16.45 ± 0.01	16.46 ± 0.01	16.46 ± 0.01	16.45 ± 0.01
<b>2</b>	892.3	24.4	16.41 ± 0.01	16.40 ± 0.01	16.40 ± 0.01	16.40 ± 0.01
<b>3</b>	892.3	24.6	16.38 ± 0.01	16.38 ± 0.01	16.37 ± 0.01	16.37 ± 0.01

Haciendo uso del Protocolo TRS398<sup>(15)</sup>; se determino el Kpt, Kref y la dosis de referencia para cada una de las mediciones y para ambos potenciales de aceleración, cuyos resultados se exponen a continuación:

**Tabla N° 46: Kpt, Kref y la Dosis de referencia para 6MV**

<b>Energía</b>	<b>Promedio (Lprom) nc</b>	<b>Kpt</b>	<b>Kref</b>	<b>Dosis</b>
6MV	16.54 ± 0.01	1.1464	0.0615	1.0172
	16.52 ± 0.01	1.1519	0.0617	1.0192
	16.45 ± 0.01	1.1541	0.0619	1.0182

**Tabla N° 47: Kpt, Kref y la Dosis de referencia para y 23MV**

<b>Energía</b>	<b>Promedio (Lprom) nc</b>	<b>Kpt</b>	<b>Kref</b>	<b>Dosis</b>
23MV	16.45 ± 0.01	1.1469	0.0615	1.0116
	16.40 ± 0.01	1.1525	0.0618	1.0135
	16.37 ± 0.01	1.1533	0.0618	1.0116

Concluyendo con la cámara que la dosis promedio para un potencial de aceleración de 6MV es de 1.0182 Gy y para un potencial de aceleración de 23MV es de 1.0122 Gy.

Bajo las condiciones de referencia planteadas en la sección 3.4.4, se realizaron las mediciones correspondientes con los mosfet para determinar el factor de calibración de los mismos.

Se tomó la lectura inicial de los dosímetros, bajo las condiciones propuestas en la sección 3.4.4; y posteriormente se irradiaron 3 veces, para los potenciales de aceleración de 6MV y 23MV cuyas lecturas de cada potencial, se exponen a continuación:

**Tabla N° 48: Calibración Mosfet 6MV**

Dosímetros Mosfet		Lectura	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3
CANAL	COLOR	Inicial (mv)	(L1) (mv)	(L2) (mv)	(L3) (mv)
1	AZUL	739 ± 1	847 ± 1	963 ± 1	1070 ± 1
2	VERDE	720 ± 1	826 ± 1	933 ± 1	1046 ± 1
3	AMARILLO	723 ± 1	834 ± 1	946 ± 1	1058 ± 1
4	MORADO	726 ± 1	839 ± 1	950 ± 1	1058 ± 1
5	ROJO	727 ± 1	836 ± 1	945 ± 1	1058 ± 1

**Tabla N° 49: Calibración Mosfet 23MV**

Dosímetros Mosfet		Lectura	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3
CANAL	COLOR	Inicial (mv)	(L1) (mv)	(L2) (mv)	(L3) (mv)
1	AZUL	425 ± 1	531 ± 1	636 ± 1	739 ± 1
2	VERDE	412 ± 1	516 ± 1	616 ± 1	720 ± 1
3	AMARILLO	411 ± 1	517 ± 1	620 ± 1	723 ± 1
4	MORADO	416 ± 1	520 ± 1	625 ± 1	726 ± 1
5	ROJO	413 ± 1	518 ± 1	622 ± 1	727 ± 1

Se realizó las restas de las lecturas para obtener el valor medido de mv, de cada uno de los mosfet en cada irradiación, posteriormente determinamos el promedio de las restas.

Finalmente para determinar el factor de calibración de cada dosímetro

hacemos uso de la ecuación planteada en la sección 3.4.4, la cual plantea la división del promedio de cada lectura entre la dosis promedio obtenida para la cámara, con respecto a cada potencial de aceleración (6MV y 23MV).

**Tabla Nº 50: Cálculo Factor de Calibración 6MV**

Dosímetros Mosfet		Restas de Lecturas (mv)			Promedio Restas (mv)	Factor de Calibración (mv/Gy)
CANAL	COLOR	1	2	3		
1	<b>AZUL</b>	108 ± 1	116 ± 1	107 ± 1	110.33 ± 0.01	<b>1.0835</b>
2	<b>VERDE</b>	106 ± 1	107 ± 1	113 ± 1	108.66 ± 0.01	<b>1.0671</b>
3	<b>AMARILLO</b>	111 ± 1	112 ± 1	112 ± 1	111.66 ± 0.01	<b>1.0966</b>
4	<b>MORADO</b>	113 ± 1	111 ± 1	108 ± 1	110.66 ± 0.01	<b>1.0868</b>
5	<b>ROJO</b>	109 ± 1	109 ± 1	113 ± 1	110.33 ± 0.01	<b>1.0835</b>

**Tabla Nº 51: Cálculo Factor de Calibración 23MV**

Dosímetros Mosfet		Restas de Lecturas (mv)			Promedio Restas (mv)	Factor de Calibración
CANAL	COLOR	1	2	3		
1	<b>AZUL</b>	106 ± 1	105 ± 1	103 ± 1	104.66 ± 0.01	<b>1.0339</b>
2	<b>VERDE</b>	104 ± 1	100 ± 1	104 ± 1	102.66 ± 0.01	<b>1.0142</b>
3	<b>AMARILLO</b>	106 ± 1	103 ± 1	103 ± 1	104.00 ± 0.01	<b>1.0274</b>
4	<b>MORADO</b>	104 ± 1	105 ± 1	101 ± 1	103.33 ± 0.01	<b>1.0208</b>
5	<b>ROJO</b>	105 ± 1	104 ± 1	105 ± 1	104.66 ± 0.01	<b>1.0339</b>

#### **4.5.- Aplicación de la Dosimetría in Vitro**

Una vez ubicado el maniquí con su inmovilizador en la mesa de tratamiento se procedió a posicionarlo por medio de los laser con respecto al isocentro; se le realizó en la sala de tratamiento con el acelerador una tomografía con el sistema Cone Beam CT y unas placas de localización con

el Portal Vision; de manera de ubicar exactamente la posición de cada mosfet y así poder estimar la dosis que recibe cada uno de ellos.



**Figura Nº 93: Posicionamiento Del Maniquí**

Se tomó la lectura de los dosímetros inicialmente para luego proceder a irradiar 5 veces por cada plan de tratamiento (fase inicial, 1<sup>era</sup> Reducción y 2<sup>da</sup> Reducción) para los potenciales de aceleración de 6MV y 23MV; para un total de dosis de 6000 cGy. Se procedió a tomar las lecturas de cada detector luego de cada irradiación.

**Tabla Nº 52: Lecturas Mosfet PLAN INICIAL 6MV**

Dosímetros Mosfet		Lectura Inicial (mv)	Lectura 1 (L1) (mv)	Lectura 2 (L2) (mv)	Lectura 3 (L3) (mv)	Lectura 4 (L4) (mv)	Lectura 5 (L5) (mv)
CANAL	COLOR						
1	AZUL	1107 ± 1	1314 ± 1	1523 ± 1	1732 ± 1	1936 ± 1	2145 ± 1
2	VERDE	1075 ± 1	1290 ± 1	1497 ± 1	1701 ± 1	1915 ± 1	2130 ± 1

3	AMARILLO	1091 ± 1	1280 ± 1	1459 ± 1	1647 ± 1	1831 ± 1	2017 ± 1
4	MORADO	1086 ± 1	1293 ± 1	1500 ± 1	1705 ± 1	1915 ± 1	2120 ± 1
5	ROJO	1097 ± 1	1179 ± 1	1256 ± 1	1334 ± 1	1414 ± 1	1488 ± 1

**Tabla Nº 53: Lecturas Mosfet 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 6MV**

Dosímetros Mosfet		Lectura Inicial (mv)	Lectura 1 (L1) (mv)	Lectura 2 (L2) (mv)	Lectura 3 (L3) (mv)	Lectura 4 (L4) (mv)	Lectura 5 (L5) (mv)
CANAL	COLOR						
1	AZUL	2145 ± 1	2345 ± 1	2550 ± 1	2752 ± 1	2951 ± 1	3150 ± 1
2	VERDE	2130 ± 1	2329 ± 1	2531 ± 1	2736 ± 1	2946 ± 1	3155 ± 1
3	AMARILLO	2017 ± 1	2142 ± 1	2275 ± 1	2404 ± 1	2531 ± 1	2661 ± 1
4	MORADO	2120 ± 1	2320 ± 1	2513 ± 1	2710 ± 1	2908 ± 1	3106 ± 1
5	ROJO	1488 ± 1	1543 ± 1	1596 ± 1	1655 ± 1	1712 ± 1	1770 ± 1

**Tabla Nº 54: Lecturas Mosfet 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN 6MV**

Dosímetros Mosfet		Lectura Inicial (mv)	Lectura 1 (L1) (mv)	Lectura 2 (L2) (mv)	Lectura 3 (L3) (mv)	Lectura 4 (L4) (mv)	Lectura 5 (L5) (mv)
CANAL	COLOR						
1	AZUL	3150 ± 1	3351 ± 1	3550 ± 1	3754 ± 1	3955 ± 1	4157 ± 1
2	VERDE	3155 ± 1	3353 ± 1	3562 ± 1	3766 ± 1	3972 ± 1	4177 ± 1
3	AMARILLO	2661 ± 1	2796 ± 1	2923 ± 1	3057 ± 1	3184 ± 1	3316 ± 1
4	MORADO	3106 ± 1	3296 ± 1	3494 ± 1	3688 ± 1	3883 ± 1	4075 ± 1
5	ROJO	1770 ± 1	1826 ± 1	1885 ± 1	1940 ± 1	1998 ± 1	2056 ± 1

Posteriormente de tomar las lecturas de los mosfet luego de cada irradiación se procedió a restar las lecturas y determinar el promedio de éstas, seguidamente se dividió entre el factor de calibración de cada dosímetro para contabilizar la dosis que se recibió en cada uno de los planes de tratamiento con potencial de aceleración de 6MV

Tabla Nº 55: Promedios Lecturas PLAN INICIAL 6MV

Dosímetros Mosfet		Restas de Lecturas (mv)				
CANAL	COLOR	1	2	3	4	5
1	AZUL	207 ± 1	209 ± 1	209 ± 1	204 ± 1	209 ± 1
2	VERDE	215 ± 1	207 ± 1	204 ± 1	214 ± 1	215 ± 1
3	AMARILLO	189 ± 1	179 ± 1	188 ± 1	184 ± 1	186 ± 1
4	MORADO	207 ± 1	207 ± 1	205 ± 1	210 ± 1	205 ± 1
5	ROJO	82 ± 1	77 ± 1	78 ± 1	80 ± 1	74 ± 1

Tabla Nº 56: Promedios Lecturas 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 6MV

Dosímetros Mosfet		Restas de Lecturas (mv)				
CANAL	COLOR	1	2	3	4	5
1	AZUL	200 ± 1	205 ± 1	202 ± 1	199 ± 1	199 ± 1
2	VERDE	199 ± 1	202 ± 1	205 ± 1	210 ± 1	209 ± 1
3	AMARILLO	125 ± 1	133 ± 1	129 ± 1	127 ± 1	130 ± 1
4	MORADO	200 ± 1	193 ± 1	197 ± 1	198 ± 1	198 ± 1
5	ROJO	55 ± 1	53 ± 1	59 ± 1	57 ± 1	58 ± 1

Tabla Nº 57: Promedios Lecturas 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN 6MV

Dosímetros Mosfet		Restas de Lecturas (mv)				
CANAL	COLOR	1	2	3	4	5
1	AZUL	201 ± 1	199 ± 1	204 ± 1	201 ± 1	202 ± 1
2	VERDE	198 ± 1	209 ± 1	204 ± 1	206 ± 1	205 ± 1
3	AMARILLO	135 ± 1	127 ± 1	134 ± 1	127 ± 1	132 ± 1
4	MORADO	190 ± 1	198 ± 1	194 ± 1	195 ± 1	192 ± 1
5	ROJO	56 ± 1	59 ± 1	55 ± 1	58 ± 1	58 ± 1



**Tabla N° 58: Lecturas Mosfet PLAN INICIAL 23MV**

Dosímetros Mosfet		Lectura Inicial (mv)	Lectura 1 (L1) (mv)	Lectura 2 (L2) (mv)	Lectura 3 (L3) (mv)	Lectura 4 (L4) (mv)	Lectura 5 (L5) (mv)
CANAL	COLOR						
1	AZUL	4157 ± 1	4365 ± 1	4572 ± 1	4785 ± 1	4490 ± 1	5207 ± 1
2	VERDE	4177 ± 1	4387 ± 1	4595 ± 1	4802 ± 1	5012 ± 1	5217 ± 1
3	AMARILLO	3316 ± 1	3496 ± 1	3679 ± 1	3860 ± 1	4043 ± 1	4227 ± 1
4	MORADO	4075 ± 1	4273 ± 1	4476 ± 1	4680 ± 1	4886 ± 1	5097 ± 1
5	ROJO	2056 ± 1	2131 ± 1	2206 ± 1	2281 ± 1	2352 ± 1	2432 ± 1

**Tabla N° 59: Lecturas Mosfet 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 23MV**

Dosímetros Mosfet		Lectura Inicial (mv)	Lectura 1 (L1) (mv)	Lectura 2 (L2) (mv)	Lectura 3 (L3) (mv)	Lectura 4 (L4) (mv)	Lectura 5 (L5) (mv)
CANAL	COLOR						
1	AZUL	5207 ± 1	5397 ± 1	5593 ± 1	5788 ± 1	5984 ± 1	6178 ± 1
2	VERDE	5217 ± 1	5405 ± 1	5590 ± 1	5782 ± 1	5974 ± 1	6170 ± 1
3	AMARILLO	4227 ± 1	4349 ± 1	4470 ± 1	4591 ± 1	4715 ± 1	4839 ± 1
4	MORADO	5097 ± 1	5282 ± 1	5467 ± 1	5654 ± 1	5843 ± 1	6033 ± 1
5	ROJO	2432 ± 1	2479 ± 1	2528 ± 1	2572 ± 1	2622 ± 1	2670 ± 1

**Tabla N° 60: Lecturas Mosfet 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN 23MV**

Dosímetros Mosfet		Lectura Inicial (mv)	Lectura 1 (L1) (mv)	Lectura 2 (L2) (mv)	Lectura 3 (L3) (mv)	Lectura 4 (L4) (mv)	Lectura 5 (L5) (mv)
CANAL	COLOR						
1	AZUL	6178 ± 1	6381 ± 1	6582 ± 1	6787 ± 1	6988 ± 1	7193 ± 1
2	VERDE	6170 ± 1	6375 ± 1	6572 ± 1	6775 ± 1	6978 ± 1	7176 ± 1
3	AMARILLO	4839 ± 1	4970 ± 1	5098 ± 1	5227 ± 1	5354 ± 1	5483 ± 1
4	MORADO	6033 ± 1	6219 ± 1	6400 ± 1	6591 ± 1	6779 ± 1	6965 ± 1
5	ROJO	2670 ± 1	2719 ± 1	2766 ± 1	2818 ± 1	2868 ± 1	2919 ± 1

Posteriormente de tomar las lecturas de los mosfet luego de cada irradiación se procedió a restar las lecturas y determinar el promedio de éstas, seguidamente se dividió entre el factor de calibración de cada dosímetro para contabilizar la dosis que recibió en cada uno de los planes de tratamiento con potencial de aceleración de 23MV

**Tabla Nº 61: Promedios Lecturas PLAN INICIAL 23MV**

Dosímetros Mosfet		Restas de Lecturas (mv)				
CANAL	COLOR	1	2	3	4	5
1	AZUL	208 ± 1	207 ± 1	213 ± 1	205 ± 1	217 ± 1
2	VERDE	210 ± 1	208 ± 1	207 ± 1	210 ± 1	205 ± 1
3	AMARILLO	180 ± 1	183 ± 1	181 ± 1	183 ± 1	184 ± 1
4	MORADO	198 ± 1	203 ± 1	204 ± 1	206 ± 1	211 ± 1
5	ROJO	75 ± 1	75 ± 1	75 ± 1	71 ± 1	80 ± 1

**Tabla Nº 62: Promedios Lecturas 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 23MV**

Dosímetros Mosfet		Restas de Lecturas (mv)				
CANAL	COLOR	1	2	3	4	5
1	AZUL	190 ± 1	196 ± 1	195 ± 1	196 ± 1	194 ± 1
2	VERDE	188 ± 1	185 ± 1	192 ± 1	192 ± 1	196 ± 1
3	AMARILLO	122 ± 1	121 ± 1	121 ± 1	124 ± 1	124 ± 1
4	MORADO	185 ± 1	185 ± 1	187 ± 1	189 ± 1	190 ± 1
5	ROJO	47 ± 1	49 ± 1	44 ± 1	50 ± 1	48 ± 1

Tabla Nº 63: Promedios Lecturas 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN 23MV

Dosímetros Mosfet		Restas de Lecturas (mv)				
CANAL	COLOR	1	2	3	4	5
1	AZUL	203 ± 1	201 ± 1	205 ± 1	201 ± 1	205 ± 1
2	VERDE	205 ± 1	197 ± 1	203 ± 1	203 ± 1	198 ± 1
3	AMARILLO	131 ± 1	128 ± 1	129 ± 1	127 ± 1	129 ± 1
4	MORADO	186 ± 1	181 ± 1	191 ± 1	188 ± 1	186 ± 1
5	ROJO	49 ± 1	47 ± 1	52 ± 1	50 ± 1	51 ± 1

#### 4.6.- Comparación entre las Dosis Medidas

Tabla Nº 64: Dosis Mosfet PLAN INICIAL 6MV

Dosímetros Mosfet		Factor	Dosis Obtenida (cGy)					Dosis Total
CANAL	COLOR	Calibración (mv/Gy)	1	2	3	4	5	
1	AZUL	1.0835	191.04	192.89	192.89	188.27	192.89	957.98
2	VERDE	1.0671	201.48	193.98	191.17	200.54	201.48	988.65
3	AMARILLO	1.0966	172.35	163.23	171.43	167.79	169.61	844.41
4	MORADO	1.0868	190.46	190.46	188.62	193.22	188.62	951.38
5	ROJO	1.0835	75.68	71.06	71.98	73.83	68.29	360.84

Tabla Nº 65: Dosis Mosfet 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 6MV

Dosímetros Mosfet		Factor	Dosis Obtenida (cGy)					Dosis Total
CANAL	COLOR	Calibración (mv/Gy)	1	2	3	4	5	
1	AZUL	1.0835	184.58	189.20	186.43	183.66	183.66	927,53
2	VERDE	1.0671	186.48	189.29	192.10	196.79	195.85	960,51
3	AMARILLO	1.0966	113.98	121.28	117.63	115.81	118.54	587,24
4	MORADO	1.0868	184.02	177.58	181.26	182.18	182.18	907,22
5	ROJO	1.0835	50.76	48.91	54.45	52.60	53.53	260,25

**Tabla Nº 66: Dosis Mosfet 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN 6MV**

Dosímetros Mosfet		Factor Calibración (mv/Gy)	Dosis Obtenida (cGy)					Dosis Total
CANAL	COLOR		1	2	3	4	5	
1	AZUL	1.0835	185.50	183.66	188.27	185.50	186.43	926,23
2	VERDE	1.0671	185.54	195.85	191.17	193.04	192.10	957,70
3	AMARILLO	1.0966	123.10	115.81	122.19	115.81	120.37	597,28
4	MORADO	1.0868	174.82	182.18	178.50	179.42	176.66	891,58
5	ROJO	1.0835	51.68	54.45	50.76	53.53	53.53	263,95

**Tabla Nº 67: Dosis Mosfet PLAN INICIAL 23MV**

Dosímetros Mosfet		Factor Calibración (mv/Gy)	Dosis Obtenida (cGy)					Dosis Total
CANAL	COLOR		1	2	3	4	5	
1	AZUL	1.0339	201.17	200.21	206.01	198.27	209.88	1015,54
2	VERDE	1.0142	207.05	205.08	204.10	207.05	202.12	1025,4
3	AMARILLO	1.0274	175.19	178.11	176.17	178.11	179.09	886,67
4	MORADO	1.0208	193.96	198.86	199.84	201.80	206.70	1001,16
5	ROJO	1.0339	72.54	72.54	72.54	68.67	77.37	363,66

**Tabla Nº 68: Dosis Mosfet 1<sup>ERA</sup> REDUCCIÓN 23MV**

Dosímetros Mosfet		Factor Calibración (mv/Gy)	Dosis Obtenida (cGy)					Dosis Total
CANAL	COLOR		1	2	3	4	5	
1	AZUL	1.0339	183.77	189.57	188.60	189.57	187.63	939.14
2	VERDE	1.0142	185.36	182.40	189.31	189.31	193.25	939.63
3	AMARILLO	1.0274	118.74	117.77	117.77	120.69	120.69	595.66
4	MORADO	1.0208	181.23	181.23	183.18	185.14	186.12	916.90
5	ROJO	1.0339	45.45	47.39	42.55	48.36	46.42	230.17

**Tabla N° 69: Dosis Mosfet 2<sup>DA</sup> REDUCCIÓN 23MV**

Dosímetros Mosfet		Factor	Dosis Obtenida (cGy)					Dosis Total
CANAL	COLOR	Calibración (mv/Gy)	1	2	3	4	5	
1	AZUL	1.0339	196.34	194.40	198.27	194.40	198.27	981,68
2	VERDE	1.0142	202.12	194.24	200.15	200.15	195.22	991,88
3	AMARILLO	1.0274	127.50	124.58	125.55	123.61	125.55	626,79
4	MORADO	1.0208	182.21	177.31	187.10	184.16	182.21	912,99
5	ROJO	1.0339	47.39	45.45	50.29	48.36	49.32	240,86

#### **4.7.- Diseño del Protocolo**

Para ampliar la eficiencia de los tratamientos radioterapéuticos, se plantean con el transcurrir de los años mayores avances en la planificación y en las diversas técnicas de tratamiento, con el fin de proporcionarles a los pacientes la posibilidad de una cura para esta terrible enfermedad y de ofrecerle una mejor calidad de vida.

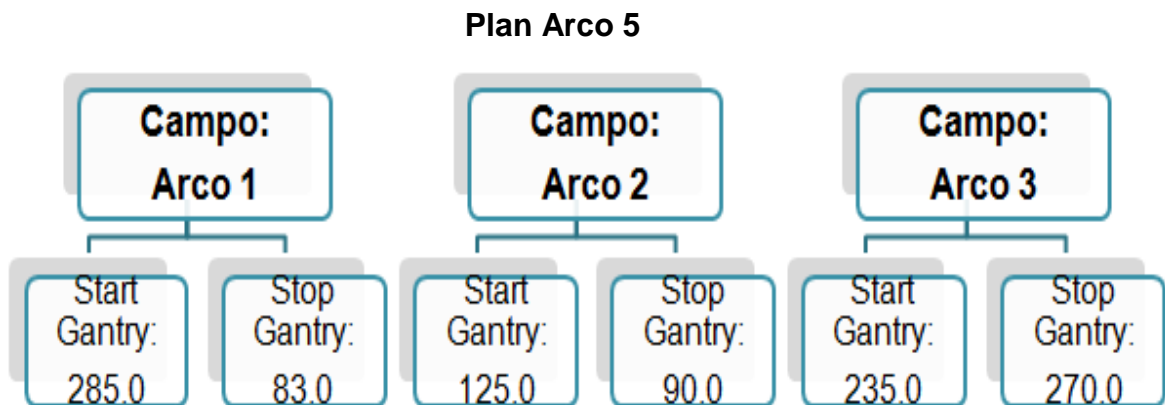
Es por esto que nos planteamos en este trabajo un nuevo “Protocolo de Tratamiento” para los pacientes con cáncer de próstata luego de una prostatectomía radical; haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos.

El protocolo propuesto es darle al paciente un tratamiento con la técnica de terapia rotacional, en la cual se plantea realizar un plan de tratamiento con tres (3) campos de arcos, los cuales se entregarían durante todo el tratamiento, es decir, en la fase inicial, la 1<sup>era</sup> y 2<sup>da</sup> reducción. Esta nueva propuesta nos permite lograr una mejor conformación y homogeneidad de la dosis.

Esta nueva propuesta también le ofrece al paciente una ventaja, ya que a la hora que se está impartiendo el tratamiento con esta técnica de arcos dinámicos el paciente tarda en maquina menos tiempo, comparado con un paciente que está sometido a un tratamiento conformado.

De acuerdo con los resultados obtenidos el plan Arco 5 es el que proporciona una mejor distribución de dosis y es el escogido para la implementación del protocolo.

Tabla N° 70: Esquema del Plan de Tratamiento



## **Capítulo V**

### **Análisis y Discusión de Resultados**

#### **5.- Análisis y Discusión de Resultados.**

En este capítulo analizamos los resultados derivados de la estadística de dosis entregadas en pacientes con prostatectomía radical (Radioterapia Conformada) y la estadística de dosis planificada en pacientes haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos, así como también se estableció una comparación órgano a órgano de la dosis planificada para cada uno de los planes de arcos dinámicos y la dosis entregadas en pacientes con prostatectomía radical.

Posteriormente se analizó tanto la comparación entre las medidas obtenidas en maniquí pélvico haciendo uso de la técnica de tratamiento de radioterapia conformada y la planificación realizada, así como la comparación entre las medidas obtenidas en maniquí pélvico haciendo uso de la técnica de tratamiento de arcos dinámicos y la planificación realizada.

#### **5.1.- Comparación entre las dosis entregadas bajo la técnica de tratamiento conformado y las planificadas bajo la técnica de arcos dinámicos.**

Por medio de las dosis obtenidas con el plan conformado y con los arcos dinámicos se puede establecer la siguiente comparación:

**Tabla Nº 71: Comparación de Dosis obtenidas en los planes conformado y arcos dinámicos (Plan Inicial)**

<b>TRATAMIENTO</b>		
<b>Plan Conformado</b>	<b>Plan Arco Dinámico</b>	<b>Conclusión</b>
Plan Inicial	Plan Arco 0	Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es muy parecida o inferior a la conformada, sin embargo para los OAR se observan varias situaciones que puede originar mayor probabilidad de complicaciones en alguno de estos órganos, es decir, para la <i>vejiga</i> las dosis es superior en el plan de arcos para los distintos volúmenes tomados, para el <i>recto</i> la dosis se incrementa en el 50% del volumen y continua aumentando para todos su volumen, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis aumenta en el 30% y 50% del volumen, el resto se encuentra a valores cercanos o muy por debajo del conformado. Las <i>asas intestinales</i> y la <i>vesícula seminal</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada. Por todo lo antes expuesto se concluye que este plan ofrece una buena conformación al volumen blanco, sin embargo no ofrece lo mismo para algunos tejidos sanos vecinos.
Plan Inicial	Plan Arco 1	Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es inferior a la conformada, sin embargo para los OAR se observan varias situaciones que puede originar mayor probabilidad de complicaciones en alguno de estos órganos, es decir, para la <i>vejiga</i> la dosis es inferior para el 30% del volumen, pero se incrementa en el 50% y continua aumentando para todos su volumen, para el <i>recto</i> la dosis es muy parecida para el 30% del volumen, pero se incrementa en el 50% y continua aumentando para todos su volumen, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis aumenta en el 30% y 50% del volumen, el resto se encuentra a valores cercanos o muy por debajo del conformado. Las <i>asas intestinales</i> y la <i>vesícula seminal</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada. Por todo lo antes



		expuesto se concluye que este plan ofrece una buena conformación al volumen blanco, sin embargo no ofrece lo mismo para algunos tejidos sanos vecinos.
Plan Inicial	Plan Arco 2	Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es superior para el 30% del volumen, para el 50% es muy parecida a la dosis conformada y para el resto de los volúmenes estudiados esta es inferior a la conformada, sin embargo para los OAR se observan varias situaciones que puede originar mayor probabilidad de complicaciones en alguno de estos órganos, es decir, para la <i>vejiga</i> las dosis es superiores en el plan de arcos para los distintos volúmenes tomados, para el <i>recto</i> la dosis es inferior en el 30% del volumen, pero se incrementa en el 50% y continua aumentando para todo su volumen, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis aumenta en el 30% y 50% del volumen, el resto se encuentra a valores cercanos o muy por debajo del conformado. Las <i>asas intestinales</i> y la <i>vesícula seminal</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada. Por todo lo antes expuesto se concluye que este plan ofrece una buena conformación al volumen blanco, sin embargo no ofrece lo mismo para algunos tejidos sanos vecinos.
Plan Inicial	Plan Arco 3	Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es inferior a la conformada en todo momento, sin embargo para los OAR se observan varias situaciones que puede originar mayor probabilidad de complicaciones en alguno de estos órganos, es decir, para la <i>vejiga</i> la dosis es inferior para el 30% del volumen, para el 50% de mantiene muy cercana a la conformada, pero para los volúmenes siguientes aumenta, para el <i>recto</i> la dosis es inferior en el 30% del volumen, pero se incrementa en el 50% y 70%, manteniendo para 100% una dosis parecida a la conformada, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis aumenta en el 30% y 50% del volumen, el resto se encuentra a valores muy por debajo del conformado. Las <i>asas intestinales</i> y la <i>vesícula seminal</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada. Por todo lo antes expuesto se concluye que

		este plan ofrece una buena conformación al volumen blanco, sin embargo no ofrece lo mismo para algunos tejidos sanos vecinos.
Plan Inicial	Plan Arco 4	Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es inferior a la conformada en todo momento, sin embargo para los OAR se observan varias situaciones que puede originar mayor probabilidad de complicaciones en alguno de estos órganos, es decir, para la <i>vejiga</i> la dosis es inferior para el 30% del volumen, para el 50% de mantiene muy cercana a la conformada, pero para los volúmenes siguientes aumenta, para el <i>recto</i> la dosis es inferior en el 30% del volumen, pero se incrementa en el 50% y continua aumentando para todo su volumen, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis aumenta en el 30% y 50% del volumen, el resto se encuentra a valores muy por debajo del conformado. Las <i>asas intestinales</i> y la <i>vesícula seminal</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada. Por todo lo antes expuesto se concluye que este plan ofrece una buena conformación al volumen blanco, sin embargo no ofrece lo mismo para algunos tejidos sanos vecinos.
Plan Inicial	Plan Arco 5	Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es inferior a la conformada en todo momento, sin embargo para los OAR se observan varias situaciones que puede originar mayor probabilidad de complicaciones en alguno de estos órganos, es decir, para la <i>vejiga</i> la dosis es inferior para el 30% y 50% del volúmenes, manteniéndose muy parecida en el 70%, se notó un aumento cuando tomamos la dosis para el 100% del volumen, para el <i>recto</i> la dosis es inferior en el 30% del volumen, y para el resto se mantiene muy parecida a los valores obtenidos para la radioterapia conformada, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis aumenta en el 30% y 50% del volumen, el resto se encuentra a valores muy por debajo del conformado. Las <i>asas intestinales</i> y la <i>vesícula seminal</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada. <b>Por todo lo antes expuesto se concluye que este plan ofrece una buena conformación al volumen blanco y lo mismo para algunos tejidos sanos vecinos.</b>

Plan	Plan	<p>Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es inferior a la conformada en todo momento, sin embargo para los OAR se observan varias situaciones que puede originar mayor probabilidad de complicaciones en alguno de estos órganos, es decir, para la <i>vejiga</i> la dosis es superior a la conformada en todo momento, para el <i>recto</i> la dosis es superior a la conformada en todo momento salvo para el 100% que se mantiene muy parecida a la conformada, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis aumenta en el 30% y 50% del volumen, el resto se encuentra a valores muy por debajo del conformado. Las <i>asas intestinales</i> y la <i>vesícula seminal</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada. Por todo lo antes expuesto se concluye que este plan ofrece una buena conformación al volumen blanco, sin embargo no ofrece lo mismo para algunos tejidos sanos vecinos.</p>
Inicial	Arco 6	
Plan	Plan	<p>Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es inferior a la conformada en todo momento, sin embargo para los OAR se observan varias situaciones que puede originar mayor probabilidad de complicaciones en alguno de estos órganos, es decir, para la <i>vejiga</i> la dosis es superior a la conformada en todo momento, para el <i>recto</i> la dosis es superior a la conformada en todo momento, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis aumenta en el 30% y 50% del volumen, manteniéndose muy parecida en el 50% del volumen y disminuyendo para el 100%. Las <i>asas intestinales</i> y la <i>vesícula seminal</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada. Por todo lo antes expuesto se concluye que este plan ofrece una buena conformación al volumen blanco, sin embargo no ofrece lo mismo para algunos tejidos sanos vecinos.</p>
Inicial	Arco 7	
Plan	Plan	<p>Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es inferior a la conformada en todo momento, sin embargo para los OAR se observan varias situaciones que puede originar mayor probabilidad de complicaciones en alguno de estos órganos, es decir, para la <i>vejiga</i> la dosis es superior a la conformada del 50% del volumen en adelante manteniéndose muy baja para los volúmenes</p>
Inicial	Arco 8	

		<p>anteriores, para el <i>recto</i> la dosis es muy parecida en el 30% del volumen, pero superior a la conformada en todo momento, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis aumenta en el 30% y 50% del volumen, manteniéndose muy parecida en el 50% del volumen y disminuyendo para el 100%. Las <i>asas intestinales</i> y la <i>vesícula seminal</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada. Por todo lo antes expuesto se concluye que este plan ofrece una buena conformación al volumen blanco, sin embargo no ofrece lo mismo para algunos tejidos sanos vecinos.</p>
Plan Inicial	Plan Arco 9	<p>Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es inferior a la conformada en todo momento, sin embargo para los OAR se observan varias situaciones que puede originar mayor probabilidad de complicaciones en alguno de estos órganos, es decir, para la <i>vejiga</i> la dosis es muy parecida a la conformada, salvo para el 100% del volumen que ésta aumenta, para el <i>recto</i> la dosis es superior a la conformada en todo momento, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis aumenta en el 30% y 50% del volumen, manteniéndose inferior a la conformada en los demás volúmenes. Las <i>asas intestinales</i> permanece todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada y para la <i>vesícula seminal</i> se observa que para el 30% la dosis es muy parecida a la conformada y para el resto de los volúmenes la dosis es inferior. Por todo lo antes expuesto se concluye que este plan ofrece una buena conformación al volumen blanco, sin embargo no ofrece lo mismo para algunos tejidos sanos vecinos.</p>
Plan Inicial	Plan Arco 10	<p>Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es inferior a la conformada en todo momento, sin embargo para los OAR se observan varias situaciones que puede originar mayor probabilidad de complicaciones en alguno de estos órganos, es decir, para la <i>vejiga</i> la dosis es muy parecida a la conformada, salvo para el 100% del volumen que ésta aumenta, para el <i>recto</i> la dosis es superior a la conformada en todo momento, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis aumenta en el 30% y 50% del volumen, manteniéndose inferior</p>

		a la conformada en los demás volúmenes. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada y para la <i>vesícula seminal</i> se observa que para el 30% la dosis es muy parecida a la conformada y para el resto de los volúmenes la dosis es inferior. Por todo lo antes expuesto se concluye que este plan ofrece una buena conformación al volumen blanco, sin embargo no ofrece lo mismo para algunos tejidos sanos vecinos
--	--	--

**Tabla Nº 72: Comparación de Dosis obtenidas en los planes conformado y arcos dinámicos (1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>TRATAMIENTO</b>		
<b>Plan Conformado</b>	<b>Plan Arco Dinámico</b>	<b>Conclusión</b>
1 <sup>era</sup> reducción	Plan Arco 0	Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es muy parecida o inferior a la conformada, para la <i>vejiga</i> la dosis en el 30% y 100% del volumen es superior a la conformada mientras que para el 50% y el 70% se mantuvo muy parecida a la conformada, para el <i>recto</i> la dosis es superior a la conformada en el 30% y 50%, manteniéndose la dosis en el resto del volumen muy por debajo de la conformada, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis en el 30% se aproxima a la dosis conformada y para el resto de los volúmenes la dosis es inferior a la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada y para la <i>vesícula seminal</i> se observa que para el 30% y 50% la dosis es inferior a la conformada y para el resto de los volúmenes la dosis se aproxima a los valores obtenidos en el tratamiento conformado.
1 <sup>era</sup> reducción	Plan Arco 1	Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es muy parecida o inferior a la conformada, para la <i>vejiga</i> la dosis en el 30% y 50% del volumen es inferior a la conformada, para el 70% se aproxima a la conformada pero para todo el

		<p>volumen la dosis aumenta; para el <i>recto</i> la dosis es parecida en el 30% sin embargo esta se incrementa para el 50%, luego se obtuvo una disminución manteniéndose la dosis en el resto del volumen muy por debajo de la conformada, con respecto al <i>bulbo</i> la dosis en el 30% se aproxima a la dosis conformada y para el resto de los volúmenes la dosis es inferior a la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada y para la <i>vesícula seminal</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es muy parecida o inferior a la conformada.</p>
<p>1<sup>era</sup> reducción</p>	<p>Plan Arco 2</p>	<p>Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es muy parecida o inferior a la conformada, para la <i>vejiga</i> la dosis en el 30% y 50% del volumen es inferior a la conformada, para el resto del volumen la dosis aumenta en comparación de la conformada; para el <i>recto</i> la dosis es superior en el 30% y 50% sin embargo esta se aproxima a la dosis conformada en el 70% y luego continua decreciendo llegando a tener en el 100% una que está muy por debajo de la conformada, con respecto al <i>bulbo</i> y las <i>vesícula seminal</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es muy parecida o inferior a la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada</p>
<p>1<sup>era</sup> reducción</p>	<p>Plan Arco 3</p>	<p>Con respecto a la <i>próstata</i>, al <i>bulbo</i>, la <i>vesícula seminal</i> y el <i>recto</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es muy parecida o inferior a la obtenida para la radioterapia conformada, para la <i>vejiga</i> la dosis en el 30%, 50% y 70% del volumen es inferior o parecida a la obtenida en el tratamiento conformado, para el 100% del volumen la dosis aumenta en comparación de la conformada; Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada</p>
<p>1<sup>era</sup> reducción</p>	<p>Plan Arco 4</p>	<p>Con respecto a la <i>próstata</i>, al <i>bulbo</i>, la <i>vesícula seminal</i> y el <i>recto</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es muy parecida o inferior a la obtenida para la radioterapia conformada, para la <i>vejiga</i> la dosis en el 30%, 50% y 70% del volumen es inferior o parecida a</p>

		la obtenida en el tratamiento conformado, para el 100% del volumen la dosis aumenta en comparación de la conformada; Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
1 <sup>era</sup> reducción	Plan Arco 5	Con respecto a la <i>próstata</i> , al <i>bulbo</i> , la <i>vesícula seminal</i> y el <i>recto</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es muy parecida o inferior a la obtenida para la radioterapia conformada, para la <i>vejiga</i> la dosis en el 30%, 50% y 70% del volumen es inferior o parecida a la obtenida en el tratamiento conformado, para el 100% del volumen la dosis aumenta en comparación de la conformada; Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
1 <sup>era</sup> reducción	Plan Arco 6	Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es totalmente inferior a la conformada, para la <i>vejiga</i> y el <i>bulbo</i> la dosis es muy parecida o inferior a la obtenida para la radioterapia conformada; para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 30% y 50%, sin embargo para el 70% y 100% la dosis estaba muy por debajo de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada y para la <i>vesícula seminal</i> se observa que la dosis es muy parecida o inferior a la conformada en ciertos volúmenes (30%, 50%, 100%) mientras que para un cierto volumen (70%) la dosis aumento considerablemente.
1 <sup>era</sup> reducción	Plan Arco 7	Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es totalmente inferior a la conformada, para el <i>bulbo</i> la dosis es muy parecida o inferior a la obtenida para la radioterapia conformada; para la <i>vejiga</i> la dosis se mantiene inferior o parecida a la conformada para todo el volumen salvo para el 100% que se obtuvo un incremento en la dosis, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 30% y 50%, sin embargo para el 70% y 100% la dosis estaba muy por debajo de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada y

		para la <i>vesícula seminal</i> se observa que la dosis es muy parecida o inferior a la conformada en ciertos volúmenes (30%, 50%, 100%) mientras que para un cierto volumen (70%) la dosis aumento considerablemente.
1 <sup>era</sup> reducción	Plan Arco 8	Con respecto a la <i>próstata</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es totalmente inferior a la conformada, para la <i>vesícula seminal</i> y el <i>bulbo</i> se observa que la dosis es inferior o parecida a la conformada, para la <i>vejiga</i> la dosis se mantienes inferior o parecida a la conformada para todo el volumen salvo para el 100% que se obtuvo un incremento en la dosis, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 30% y 50%, sin embargo para el 70% y 100% la dosis estaba muy por debajo de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
1 <sup>era</sup> reducción	Plan Arco 9	Con respecto a la <i>próstata</i> y el <i>bulbo</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es totalmente inferior a la conformada, para la <i>vesícula seminal</i> se observa que la dosis es muy parecida o inferior a la conformada en ciertos volúmenes (30%, 50%, 100%) mientras que para un cierto volumen (70%) la dosis aumento considerablemente, para la <i>vejiga</i> la dosis se mantienes inferior o parecida a la conformada para todo el volumen salvo para el 100% que se obtuvo un incremento en la dosis, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 30% y 50%, sin embargo para el 70% y 100% la dosis estaba muy por debajo de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
1 <sup>era</sup> reducción	Plan Arco 10	Con respecto a la <i>próstata</i> y el <i>bulbo</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es totalmente inferior a la conformada, para la <i>vesícula seminal</i> se observa que la dosis es muy parecida o inferior a la conformada en ciertos volúmenes (30%, 50%, 70%) mientras que para un cierto volumen (100%) la dosis aumento considerablemente, para la <i>vejiga</i> la dosis se mantienes inferior o



		parecida a la conformada en el 30% y 50% del volumen, observándose un incremento en la dosis para los siguientes volúmenes, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 30% y 50%, sin embargo para el 70% y 100% la dosis es inferior o parecida a la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
--	--	--

**Tabla Nº 73: Comparación de Dosis obtenidas en los planes conformado y arcos dinámicos (2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>TRATAMIENTO</b>		
<b>Plan Conformado</b>	<b>Plan Arco Dinámico</b>	<b>Conclusión</b>
2 <sup>da</sup> reducción	Plan Arco 0	Con respecto a la <i>próstata</i> , la <i>vesícula seminal</i> , el <i>bulbo</i> y la <i>vejiga</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es parecida o inferior a la conformada, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 30% sin embargo para el resto del volumen la dosis fue parecida o inferior de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
2 <sup>da</sup> reducción	Plan Arco 1	Con respecto a la <i>próstata</i> , la <i>vesícula seminal</i> , el <i>bulbo</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es parecida o inferior a la conformada, para la <i>vejiga</i> la dosis se mantuvo inferior para todo el volumen salvo para el 100% en el cual aumento, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 30% y 100% sin embargo para el resto del volumen la dosis fue parecida o inferior de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
2 <sup>da</sup> reducción	Plan Arco 2	Con respecto a la <i>próstata</i> , la <i>vesícula seminal</i> y la <i>vejiga</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es parecida o inferior a la conformada, para el <i>bulbo</i> la dosis presenta un incremento en el 50% del volumen, para el resto del volumen la dosis es parecida o

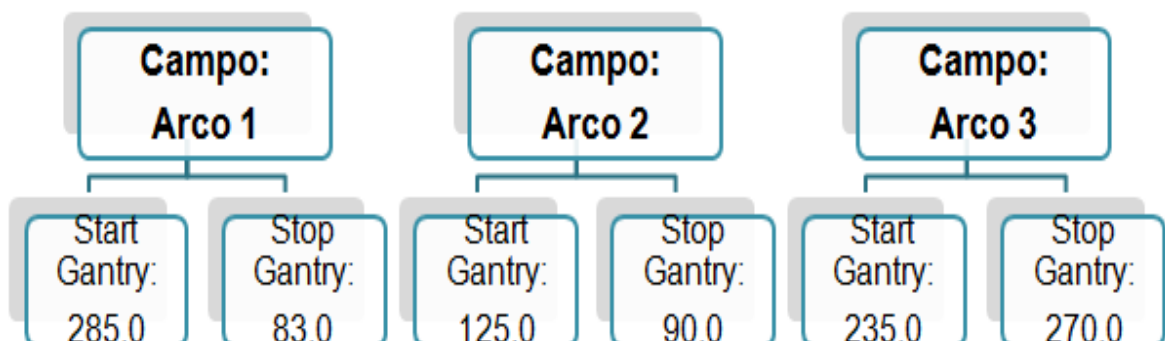
		inferior de la conformada, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 30% sin embargo para el resto del volumen la dosis fue parecida o inferior de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
2 <sup>da</sup> reducción	Plan Arco 3	Con respecto a la <i>próstata</i> , la <i>vesícula seminal</i> , el <i>bulbo</i> y la <i>vejiga</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es parecida o inferior a la conformada, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 30% sin embargo para el resto del volumen la dosis fue parecida o inferior de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
2 <sup>da</sup> reducción	Plan Arco 4	Con respecto a la <i>próstata</i> , la <i>vesícula seminal</i> , el <i>bulbo</i> y la <i>vejiga</i> se observa que para el plan de arcos la dosis es parecida o inferior a la conformada, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 30% sin embargo para el resto del volumen la dosis fue parecida o inferior de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
2 <sup>da</sup> reducción	<b>Plan</b> <b>Arco 5</b>	Con respecto a la <i>próstata</i> y la <i>vejiga</i> la dosis es totalmente inferior a la dosis obtenida en el tratamiento conformado, para la <i>vesícula seminal</i> y el <i>recto</i> se observaron dosis parecidas o inferior a la conformada, para el <i>bulbo</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 50% del volumen sin embargo para el resto del volumen la dosis fue parecida o inferior de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
2 <sup>da</sup> reducción	Plan Arco 6	Con respecto a la <i>próstata</i> y la <i>vejiga</i> la dosis es totalmente inferior a la dosis obtenida en el tratamiento conformado, para la <i>vesícula seminal</i> se observó una dosis parecidas o inferior a la conformada, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor en el 30% manteniéndose para el resto de los volúmenes la dosis parecida o inferior que la obtenida en el tratamiento conformado, para el <i>bulbo</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 50% del volumen sin embargo

		para el resto del volumen la dosis fue parecida o inferior de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
2 <sup>da</sup> reducción	Plan Arco 7	Con respecto a la <i>próstata</i> la dosis es totalmente inferior a la dosis obtenida en el tratamiento conformado, para la <i>vejiga</i> la dosis es inferior a la dosis obtenida en el tratamiento conformado salvo para el 100% que aumento la dosis, para la <i>vesícula seminal</i> se observo una dosis parecidas o inferior a la conformada, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor en el 30% manteniéndose para el resto de los volúmenes la dosis parecida o inferior que la obtenida en el tratamiento conformado, para el <i>bulbo</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 50% del volumen sin embargo para el resto del volumen la dosis fue parecida o inferior de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
2 <sup>da</sup> reducción	Plan Arco 8	Con respecto a la <i>próstata</i> y la <i>vejiga</i> la dosis es totalmente inferior a la dosis obtenida en el tratamiento conformado, para la <i>vesícula seminal</i> se observo una dosis parecidas o inferior a la conformada, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor en el 30% manteniéndose para el resto de los volúmenes la dosis parecida o inferior que la obtenida en el tratamiento conformado, para el <i>bulbo</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 50% del volumen sin embargo para el resto del volumen la dosis fue parecida o inferior de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
2 <sup>da</sup> reducción	Plan Arco 9	Con respecto a la <i>próstata</i> la dosis es totalmente inferior a la dosis obtenida en el tratamiento conformado, para la <i>vesícula seminal</i> y la <i>vejiga</i> se observo una dosis parecidas o inferior a la conformada, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor en el 30% manteniéndose para el resto de los volúmenes la dosis parecida o inferior que la obtenida en el tratamiento conformado, para el <i>bulbo</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 50% del volumen sin embargo

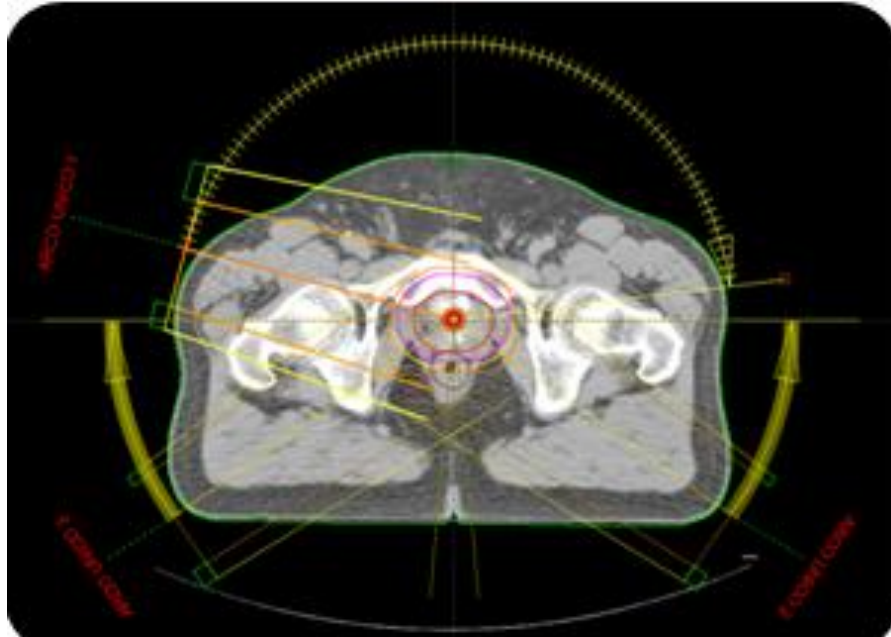
		para el resto del volumen la dosis fue parecida o inferior de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.
2 <sup>da</sup> reducción	Plan Arco 10	Con respecto a la <i>próstata</i> , la <i>vesícula seminal</i> y la <i>vejiga</i> la dosis es parecidas o inferior a la dosis obtenida en el tratamiento conformado, para el <i>recto</i> se obtuvo una dosis mayor en el 30% manteniéndose para el resto de los volúmenes la dosis parecida o inferior que la obtenida en el tratamiento conformado, para el <i>bulbo</i> se obtuvo una dosis mayor a la conformada en el 50% del volumen sin embargo para el resto del volumen la dosis fue parecida o inferior de la conformada. Las <i>asas intestinales</i> permanecen todo el tiempo en este plan de arcos inferiores a los valores obtenidos para la radioterapia conformada.

Por todo lo antes expuesto es que se escoge como plan de tratamiento haciendo uso de la técnica de arcos dinámicos el plan ARCO 5, para la realización del tratamiento inicial, la 1<sup>era</sup> y 2<sup>da</sup> reducción; ya que nos permiten lograr una mejor conformación y homogeneidad de la dosis; las características del plan son:

Tabla N° 74: Esquema del Plan de Tratamiento “ARCO 5”



**Figura N° 94: Plan de Tratamiento “ARCO 5”**



Recordando las medidas obtenidas para el plan conformado (Tablas N° 9, N° 10, N° 11) y el plan Arco 5 (Tablas N° 17, N° 28, N° 39), se pueden establecer las siguientes tablas comparativas:

**Tabla N° 75: Comparación entre dosis Plan Conformado y Arco 5 (Plan Inicial)**

<b>ÓRGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.351 ± 0.001	0.241 ± 0.001	0.175 ± 0.001	0.062 ± 0.001
RECTO	37.347 ± 0.001	28.844 ± 0.001	18.219 ± 0.001	1.617 ± 0.001
VEJIGA	33.763 ± 0.001	19.147 ± 0.001	11.187 ± 0.001	2.862 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	45.743 ± 0.001	45.562 ± 0.001	45.390 ± 0.001	44.020 ± 0.001
PROSTATA	45.368 ± 0.001	45.190 ± 0.001	44.895 ± 0.001	42.163 ± 0.001
BULBO	20.362 ± 0.001	15.351 ± 0.001	11.457 ± 0.001	6.208 ± 0.001

**Tabla N° 76: Comparación entre dosis Plan Conformado y Arco 5 (1<sup>ERA</sup> Reducción)**

<b>ÓRGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.067 ± 0.001	0.042 ± 0.001	0.029 ± 0.001	0.007 ± 0.001
RECTO	5.464 ± 0.001	2.139 ± 0.001	0.630 ± 0.001	0.126 ± 0.001
VEJIGA	5.108 ± 0.001	2.672 ± 0.001	1.516 ± 0.001	0.244 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	11.311 ± 0.001	9.741 ± 0.001	7.693 ± 0.001	2.422 ± 0.001
PROSTATA	13.768 ± 0.001	13.664 ± 0.001	13.555 ± 0.001	12.801 ± 0.001
BULBO	6.295 ± 0.001	4.749 ± 0.001	3.450 ± 0.001	1.669 ± 0.001

**Tabla N° 77: Comparación entre dosis Plan Conformado y Arco 5 (2<sup>DA</sup> Reducción)**

<b>ÓRGANO</b>	<b>30% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>50% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>70% VOLUMEN (Gy)</b>	<b>100% VOLUMEN (Gy)</b>
ASAS INTESTINALES	0.021 ± 0.001	0.013 ± 0.001	0.009 ± 0.001	0.002 ± 0.001
RECTO	1.963 ± 0.001	0.665 ± 0.001	0.172 ± 0.001	0.043 ± 0.001
VEJIGA	1.413 ± 0.001	0.618 ± 0.001	0.282 ± 0.001	0.058 ± 0.001
VESICULAS SEMINALES	4.241 ± 0.001	3.225 ± 0.001	2.090 ± 0.001	0.483 ± 0.001
PROSTATA	5.846 ± 0.001	5.792 ± 0.001	5.723 ± 0.001	5.373 ± 0.001
BULBO	2.904 ± 0.001	2.234 ± 0.001	1.587 ± 0.001	0.697 ± 0.001

Representando en color amarilla cuando las dosis obtenida en el Arco 5 es mayor que la dosis obtenida con los planes conformados, y representamos en color turquesa cuando las dosis obtenida del arco es similar a la dosis obtenida con los planes conformados, manteniendo sin color los valores obtenidos, para los cuales la dosis del plan arco 5 es inferior a la dosis obtenida con los planes conformados.

## **5.2.- Comparación entre las dosis obtenidas en el maniquí pélvico haciendo uso de la técnica de tratamiento de Arcos Dinámicos con potencial de aceleración de 6MV y 23MV.**

Para los potenciales de aceleración de 6MV y 23MV, se realizó un plan de tratamiento que incluía 5 sesiones en la fase inicial, 5 sesiones en

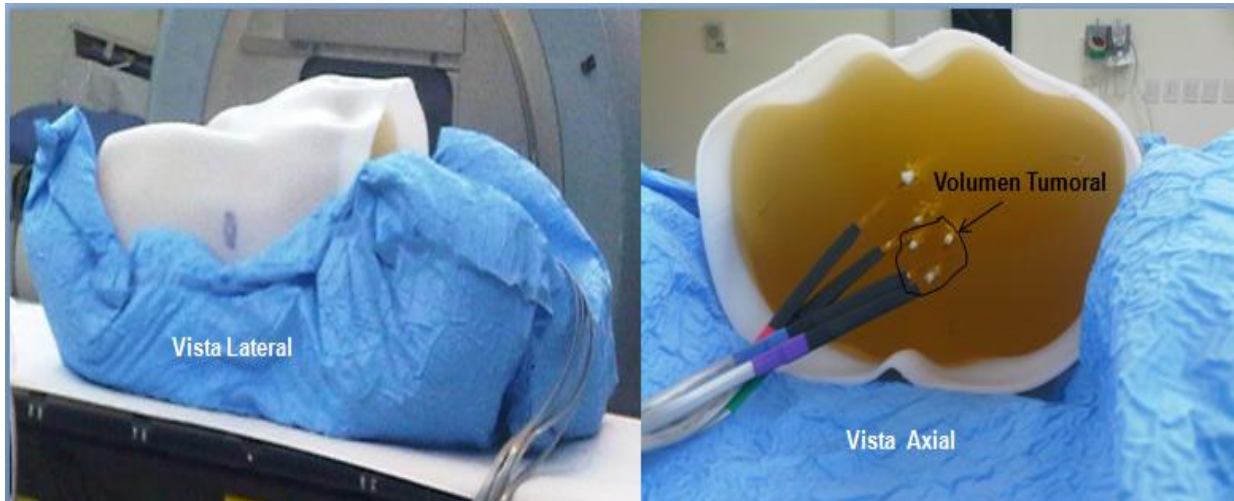
1<sup>era</sup> Reducción y 5 sesiones en 2<sup>da</sup> Reducción, con una dosis diaria de 200cGy y para un total de 15 sesiones de tratamiento y de 1000cGy por fase del plan, para un total 3000cGy por plan para cada potencial, es decir una dosis de 6000cGy entre los dos planes.

En la siguiente tabla se expresa la dosis que recibió cada mosfet, para los potenciales de aceleración de 6MV y 23MV, para cada plan y en cada sesión de tratamiento.

**Tabla Nº 78: Comparación de Dosis**

<b>Energia</b>	<b>Mosfet</b>	<b>Plan Inicial (cGy)</b>	<b>1<sup>era</sup> Reducción (cGy)</b>	<b>2<sup>da</sup> Reducción (cGy)</b>
6 MV	Azul	957.98	927,53	926,23
23 MV		1015,54	939.14	981,68
6 MV	Verde	988.65	960,51	957,70
23 MV		1025,4	939.63	991,88
6 MV	Amarillo	844.41	587,24	597,28
23 MV		886,67	595.66	626,79
6 MV	Morado	951.38	907,22	891,58
23 MV		1001,16	916.90	912,99
6 MV	Rojo	360.84	260,25	263,95
23 MV		363,66	230.17	240,86

Comparando los resultados obtenidos en las dosis de cada detector se puede concluir que 3 de los mosfet (azul, verde y morado) están ubicados dentro del volumen delimitado como próstata, otro de los mosfet (amarillo) se encuentra en la periferia de la próstata y en lo que fue delimitado como vejiga y finalmente el ultimo mosfet (rojo) se encuentra bastante distante de los volúmenes delimitados.



**Figura Nº 95: Ubicación de los Mosfet**

Podemos concluir que la diferencia obtenida entre la dosis planificada y la dosis obtenida en cada mosfet, está dentro del margen de tolerancia, lo cual demuestra la importancia de un plan isocentrico y un correcto posicionamiento del maniquí, permitiendo irradiar la zona que se planifico y lograr así una efectiva reproducibilidad del tratamiento planificado.

También se pudo comprobar que esta técnica de tratamiento nos brinda una excelente conformación y homogeneidad de la dosis.

Asimismo nos permitió comprobar que el tiempo que tarda en ejecutarse el tratamiento bajo la técnica de arcos dinámicos es muy corto, ofreciéndole al paciente una posibilidad de estar menos tiempo en la máquina y al servicio de radioterapia la posibilidad de tratar mayor cantidad de pacientes; ofreciendo tratamientos de calidad.



# Capítulo VI

## Conclusiones Y Recomendaciones

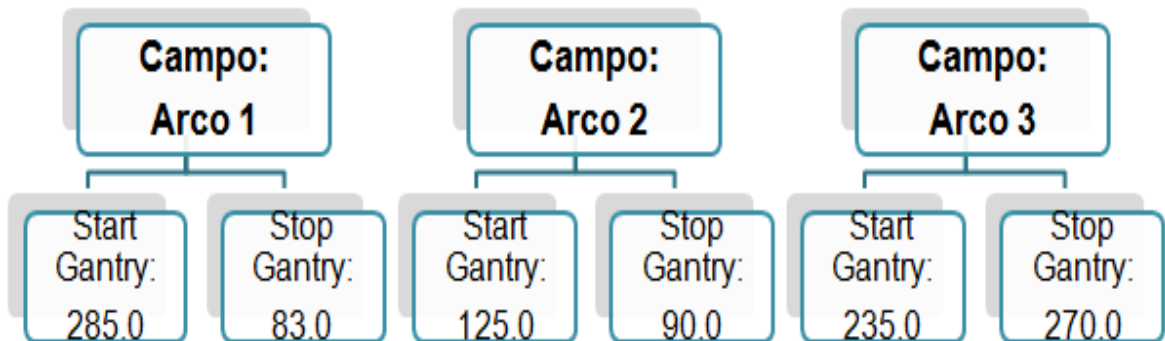
### 6.1.- CONCLUSIONES

De acuerdo a todo lo expuesto en el presente trabajo se pueden plantear las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- ◆ Para la implementación de un tratamiento de radioterapia se debe considerar el diagnóstico, la localización del tumor y la estrategia de tratamiento planteada por el médico oncólogo.
- ◆ Al construir un maniquí de alguna estructura anatómica del cuerpo, se debe comprobar antes de utilizarlo, la densidad de dicha estructura; este procedimiento se realiza a través de una tomografía computarizada (CT) midiendo las unidades de Hounsfield en el maniquí.
- ◆ La utilización de los Dosímetros Mosfet nos permiten, gracias a su pequeño tamaño, comprobar las dosis obtenidas en el sistema de planificación tanto en dosimetría in vitro como en dosimetría in vivo.

- ◆ Se debe realizar en el momento de utilizar los Dosímetros Mosfet una preirradiación para estabilizarlos y una calibración de manera de encontrar el factor por el cual la lectura pasa a dosis.
  
- ◆ Se debe comprobar, antes de poner en práctica una nueva estrategia de tratamiento radioterapéutico en pacientes, la efectividad del mismo, tal como se realizó en este trabajo con el maniquí pélvico y los Detectores Mosfet.
  
- ◆ La técnica de dosimetría in vitro y los dosímetros mosfet, permiten realizar de forma rápida y precisa, una comprobación de la dosis de radiación planificada.
  
- ◆ La técnica de terapia rotacional nos permite exponer al paciente por menor tiempo a la radiación.
  
- ◆ Las medidas obtenidas con los dosímetros mosfet en el maniquí construido con gelatina sin sabor y agua, nos revela la similitud con la dosis planificada; esto se debe, a que la gelatina es un producto obtenido por la hidrólisis parcial de colágeno derivado de la piel, huesos y tejido conectivo blanco de los animales y el agua como sabemos es el principal compuesto de nuestro organismo.
  
- ◆ Las medidas obtenidas en el montaje realizado con el maniquí nos permitió comprobar la efectividad de la técnica de arcos dinámicos escogida como protocolo de tratamiento para pacientes con cáncer de próstata.

- ◆ Los cálculos para la planificación de Radioterapia Conformada en 3D, se realizan en 2 minutos aproximadamente, sin embargo los cálculos de la planificación con arcos dinámicos pueden tardar hasta 30 minutos; a pesar de esta marcada diferencia, en el momento que se está impartiendo el tratamiento tarda menos tiempo en máquina el paciente que está sometido a un tratamiento con arcos dinámicos que el que está frente a un tratamiento conformado.
- ◆ Por todo lo antes expuesto es que se concluye que el plan de arcos dinámicos que brinda una mejor conformación y homogeneidad de la dosis para pacientes con ADC de Próstata y Prostatectomía Radical, es el plan ARCO 5; ejecutándolo en el tratamiento inicial, la 1<sup>era</sup> y 2<sup>da</sup> reducción; las características de dicho plan son:



## 6.2.- RECOMENDACIONES

De acuerdo a todo lo expuesto en el presente trabajo se pueden plantear las siguientes recomendaciones:

- ◆ Utilizar los sistemas de inmovilización recomendados para cada patología, con la finalidad de garantizar la efectividad de la reproducibilidad de la radioterapia y así el éxito del tratamiento.
  
- ◆ Cuando se desean comparar planes de Tratamiento, es recomendable la utilización de los HDV, ya que nos permite visualizar con mayor claridad los aspectos involucrados en la planificación (dosis volume blanco y OAR)
  
- ◆ Cuando el haz de radiación incide sobre un paciente o en un maniquí, la dosis que éste absorbe puede variar dependiendo de la profundidad, pero generalmente cuando el potencial de acelera es alto, la dosis en profundidad es mayor mientras que en la superficie es menor.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Aguirre, J y De Almeida, C. (2001). *“Efecto Dosimétrico del Diseño de los Colimadores Multilaminas sobre el Volumen Blanco de Planificación”*. 1. Laboratorio de Radiológicas/DBB/IBRAG, Universidade do Estado de Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – Brasil. 2. Programa de Maestria Regional – IVIC Caracas/Venezuela.
- (2) Attix, H. (1986). *“Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry”*. New York: John Wiley & Sons.
- (3) Bentel, G. (1992). *“Radiation therapy Planning”*. 2da Edition. Maryland, USA: McGraw-Hill. pp. 56-77, 87-114, 120-139.
- (4) Boyer, A; Biggs, P; Galvin, J; Klein, E; LoSasso, T; Low, D; Mah, K y Yu, C. (2001). *“Basic Applications of Multileaf Collimators”*. American Association of Physics and Medicine (AAPM): report N° 72, Report of Task Group No. 50. Radiation Therapy Comité.
- (5) Bonford, C y Kunkler, I. (2003). *“Walter and Miller’s, Textbook of Radiotherapy”*. Radiation Physics, Therapy and Oncology. Sixth Edition. Editorial Churchill Livingstone. pp. 494-500.
- (6) Castro, E. (1993). *“Tratamiento Integral del Cáncer de Próstata”*. Unidad de Urología. Clínica La Luz. Cuadernos de Urología; 10(3):3-12. Madrid. España.

- (7) Comisión Internacional para la Protección Radiológica (CIPR). (1984). "Nonstochastic effects of ionizing radiation". Ann ICRP 14(3):1-33.
- (8) Comisión Internacional para la Protección Radiológica (CIPR). (1991). "*Recomendaciones de la Comisión Internacional para la Protección Radiológica*". Ann ICRP - 21:1-3.
- (9) Dox, I; Melloni, J; Eisner, G y Melloni, J. (2006). "*Diccionario Médico Ilustrado. Harper Collins de Bolsillo*". MARVAN LIBROS. Madrid España.
- (10) Hall, E. (1994). "*Radiobiology for the Radiologist. The Physics and Chemistry of Radiation Absorption*". Lippincott Company. Philadelphia. pp. 1994, 8-10.
- (11) International Commission on Radiation Units and Measurements "ICRU" Report 60. "*Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation*". Diciembre 1998.
- (12) International Commission on Radiation Units and Measurements "ICRU" Report 48. "*Phantoms and Computational Models in Therapy, Diagnosis and Protection*". USA 1992.
- (13) Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group (2001). "*Intensity-Modulated Radiotherapy: Current Status and Issues of Interest*". Radiation Oncology Biology, Physics. Vol 51. pp. 880-914.
- (14) Khan, F. (2003). "*The Physicist of Radiation Therapy*". Third Edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

- (15) Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). (2005). *“Determinación de la dosis absorbida en radioterapia con haces externos”*. Colección de Informes Técnicos N° 398. VIENA.
- (16) Organismo Internacional de Energía Atómica. (2000). IAEA-TECDOC-1151. *“Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia: Protocolo de control de calidad”*. pp. 9 – 14.
- (17) Organismo Internacional de Energía Atómica. (2000). IAEA. *“Absorbed dose; an international code of practice Technical Report 398”*. Vienna.
- (18) Podgorsak, E. (2005). *“Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students”*. Technical Editor. International Atomic Energy Agency. Vienna - Australia.
- (19) Podgorsak, E. (2006). *“Radiation Physics for Medical Physicists”*. Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering. McGill University Health Center, Department of Medical Physics. Montreal - Quebec, Canada.
- (20) Revista Venezolana de Oncología (RVO) (2006). ISSN 0798-0582. *Venezuela Oncológica*. Volumen 18. N° 4 Caracas. Venezuela.
- (21) Robert, N y Cherry, Jr. (2009). *“Radiaciones ionizantes, Riesgos Generales”*. Sumario 48. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. España

- (22) Sánchez, P. (2001). *“Introducción a la física de la radioterapia”*, Unidad de Radiofísica. Hospital Central de Asturias-Oviedo. España.
- (23) Thomson & Nielsen Electronics Ltd. *“Mosfet 20 and Tabula™ Dose Reporter Software Operator’s Manuals”*. 25B Northside Road Ottawa, Ontario K2H 8S1, Canada.
- (24) Urdaneta, N; Vera, A; Peschel, R y Wilson, L. *“Radioterapia Oncologica”*. Enfoque Multidisciplinario. pp: 157-221, 249-270, 325-338, 879-903.
- (25) Vassallo, J y Barrios, E. (2003). *“Cáncer de Próstata”*. Actualización Ponderada de los Factores de Riesgo del Cáncer. Montevideo: Comisión Honoraria de Lucha contra el Cáncer.

**PAGINAS WEB:**

- (26) Instituto Nacional del Cáncer (National Cancer Institute, NCI, en inglés). Institutos Nacionales de la Salud Estados Unidos. (<http://www.cancer.gov/espanol>).

**TESIS:**

- (27) André, M y De Miranda, V. (2005). *“Simulación en monte carlo de un acelerador de intensidad modulada 600c y colimadores mMLC para radiocirugía”*. IVIC. pp. 84-108.
- (28) Romero, M. (2008). *“Mediciones de Mosfet en maniquí pélvico para tratamiento de próstata con braquiterapia de alta tasa de dosis (<sup>192</sup>Ir), comprobación de dosis y análisis del índice de conformación”*. Facultad de Ciencias, Escuela de Física. Biblioteca “Alonso Gamero” UCV.



## GLOSARIO

- ◆ **Calibración:** Conjunto de operaciones realizadas por laboratorios y personal calificado; mediante las cuales se pueden establecer las relaciones entre los valores indicados por un sistema de medida y los valores reales.
- ◆ **Campos Oblicuos:** Los campos oblicuos se emplean para el tratamiento de los tumores superficiales cuando se desee disminuir o evitar la irradiación de los tejidos situados en profundidad. Por lo general, se emplean dos campos angulados, los cuales se rotan alrededor del isocentro con un ángulo entre ambos campos (ángulo de separación) menor de 180°. La distribución de la dosis en el volumen del tratamiento se hace más homogénea empleando filtros en cuña. En forma aproximada la selección del ángulo más apropiado de la cuña se puede hacer por medio de la siguiente relación:  $\text{Ángulo de la cuña} = 90 - (\text{ángulo de separación}/2)$
- ◆ **Cáncer:** Termino utilizado para hacer referencia a cualquier tipo de tumor maligno.
- ◆ **Cáncer recurrente:** Termino utilizado para hacer referencia cuando el cáncer reaparece.
- ◆ **Célula:** Unidad menor de materia viva capaz, capaz de funcionar de manera independiente, constituida por protoplasma y rodeada por una membrana plasmática.
- ◆ **Colchón al vacío:** Son moldes utilizados como inmovilizadores, son de uretano relleno de pequeñas esferas de poliestireno, las cuales se adaptan al paciente cuando se les extrae el aire, creando un vacío por lo que este dispositivo permanece firme como un molde

- ◆ **Curva de Isodosis:** son líneas que pasan a través de puntos de igual dosis y son expresadas como porcentaje de dosis en un punto de referencia ( $Z_{máx}$ ) en el eje central del haz.
- ◆ **Efectos Biológicos:** Es el cambios que se producen en los seres vivos como consecuencia de la absorción de energía al interactuar con algún tipo de radiación ionizante; estos efectos pueden ser: de *Acción Directa* produciendo daño sobre el núcleo celular y los de *Acción Indirecta* la cual rompe moléculas de agua y grasa en la célula.
- ◆ **Ganglio linfático:** Termino utilizado para hacer referencia a una masa redondeada de tejido linfático rodeada por una cápsula de tejido conjuntivo. Los ganglios linfáticos filtran la linfa (líquido linfático) y almacenan linfocitos (un tipo de glóbulo blanco). Forman parte del sistema linfático, se encuentran a lo largo del cuerpo; son parte importante del sistema inmunitario, ayudando al cuerpo a reconocer y combatir gérmenes, infecciones y otras sustancias extrañas.
- ◆ **Histograma Dosis Volumen (HDV):** se define como un grafico en donde se visualiza que dosis o porcentaje de dosis total recibe una determina fracción de un volumen previamente delimitado. Esta es una de las herramientas utilizadas para evaluar un plan de tratamiento. A través del HDV, se pueden definir la dosis mínima, la dosis máxima, la homogeneidad de la dosis y otras características referentes a la dosis-volumen para los volúmenes blanco.
- ◆ **Isocentro:** es el punto en el espacio donde se cruzan el eje de giro del brazo, con el eje de giro del colimador y el eje de giro de la mesa.
- ◆ **Kpt:** Es el factor que corrige la respuesta de una cámara de ionización por el efecto de la diferencia que pueda existir entre la temperatura y la presión de referencia especificada por el laboratorio de calibración y

la temperatura y la presión de la cámara en la instalación del usuario en condiciones ambientales diferentes.

- ◆ **Metástasis:** Es la aparición de un tumor canceroso a distancia del original en otros tejidos que se ha diseminado a través del torrente sanguíneo o del sistema linfático.
- ◆ **Patología:** Rama de la medicina que se ocupa del estudio (naturaleza, causa, consecuencias) de las enfermedades.
- ◆ **PMMA:** Polimetilmetacrilato. Polímero transparente que se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo.
- ◆ **Recidiva:** reaparición de una enfermedad, síntoma o patrón de comportamiento.
- ◆ **Recurrencia:** Retorno de los síntomas que se produce como el curso natural de algunas enfermedades.
- ◆ **Unidades Monitor (UM):** tiempo que tarda en darse una dosis prescrita determinada.
- ◆ **Volumen Blanco Clínico (CTV):** Este volumen incluye la diseminación microscópica de la enfermedad, frecuentemente no es posible determinarlo en base a los estudios de imágenes.
- ◆ **Volumen de Planificación de Tratamiento (PTV):** Este volumen incluye el CTV mas un margen que generalmente depende de la inmovilización del paciente y del tamaño y forma del volumen tumoral
- ◆ **Volumen Tumoral Macroscópico (GTV):** Es el volumen tumoral palpable o visible. Volumen tumoral macroscópico

# APÉNDICE

**Apéndice A**

**Protocolo de Dosimetría en Tratamiento Conformado de Próstata**

<b>Órgano</b>	<b>Volumen Irradiado (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Plan Inicial</b>	<b>1<sup>era</sup> Reducción</b>	<b>2<sup>da</sup> Reducción</b>
<b>RECTO</b>	30			
	50			
	70			
	100			
<b>VEJIGA</b>	30			
	50			
	70			
	100			
<b>VESÍCULAS SEMINALES</b>	30			
	50			
	70			
	100			
<b>PRÓSTATA</b>	30			
	50			
	70			
	100			
<b>BULBO</b>	30			
	50			
	70			
	100			
<b>ASAS INTESTINALES</b>	30			
	50			
	70			
	100			



**Apéndice C**

**Protocolo de Dosimetría en Tratamiento de Próstata con Arcos Dinámicos “Plan Inicial”**

ORGANO	VOLUMEN (%)	Arco 0	Arco 1	Arco 2	Arco 3	Arco 4	Arco 5	Arco 6	Arco 7	Arco 8	Arco 9	Arco 10
RECTO	100											
	70											
	50											
	30											
VEJIGA	100											
	70											
	50											
	30											
PROSTATA	100											
	70											
	50											
	30											
ASAS INTESTINALES	100											
	70											
	50											
	30											
BULBO DEL PENE	100											
	70											
	50											
	30											
VESICULA SEMINAL	100											
	70											
	50											
	30											

**Apéndice D**

**Protocolo de Dosimetría en Tratamiento de Próstata con Arcos Dinámicos “1era Reducción”**

ORGANO	VOLUMEN (%)	Arco 0	Arco 1	Arco 2	Arco 3	Arco 4	Arco 5	Arco 6	Arco 7	Arco 8	Arco 9	Arco 10
RECTO	100											
	70											
	50											
	30											
VEJIGA	100											
	70											
	50											
	30											
PROSTATA	100											
	70											
	50											
	30											
ASAS INTESTINALES	100											
	70											
	50											
	30											
BULBO DEL PENE	100											
	70											
	50											
	30											
VESICULA SEMINAL	100											
	70											
	50											
	30											



### Apéndice E

#### Protocolo de Dosimetría en Tratamiento de Próstata con Arcos Dinámicos “2da Reducción”

ORGANO	VOLUMEN (%)	Arco 0	Arco 1	Arco 2	Arco 3	Arco 4	Arco 5	Arco 6	Arco 7	Arco 8	Arco 9	Arco 10
RECTO	100											
	70											
	50											
	30											
VEJIGA	100											
	70											
	50											
	30											
PROSTATATA	100											
	70											
	50											
	30											
ASAS INTESTINALES	100											
	70											
	50											
	30											
BULBO DEL PENE	100											
	70											
	50											
	30											
VESICULA SEMINAL	100											
	70											
	50											
	30											